

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

MINISTRY OF EDUCATION
AND SCIENCE OF UKRAINE

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

LUTSK NATIONAL
TECHNICAL UNIVERSITY

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ
В МАШИНОБУДУВАННІ
ТА ТРАНСПОРТІ**

**ADVANCES
IN
MECHANICAL ENGINEERING
AND TRANSPORT**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC JOURNAL

ISSN 2313-5425

№2 (17)

2021

ЛУЦЬК LUTSK

Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: Луцький НТУ, 2021.– №2(17).– 175 с.

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

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

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

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

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

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

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

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

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

Друкується за рішенням вченої ради
Луцького національного технічного університету
(Протокол №3 від 30.11.2021р.)

ЗМІСТ		CONTENT	
Богатчук М. Витрати палива на роботу навісного обладнання парогенераторних установок технологічного транспорту	5	M. Bogatchuk Fuel consumption for the attachments of steam generator installations of technological transport.....	5
Кайдалов Р, Омельченко В, Подригало М. Аналіз існуючих конструкцій автопоїздів з активними причіпними ланками	11	R. Kaidalov, V. Omelchenko, M. Podryhalo. Analysis of existing constructions of road trains with active trailers	11
Корнікова К., Ільченко А., Шумляківський В. Особливості розвитку громадського електротранспорту в деяких містах України.....	17	K. Kornikova, A. Ilchenko, V. Shumliakivskyi peculiarities of public electric transport development in some Ukrainian cities.....	17
С. Славінскас, Т. Мицявичюс, А. Паулюкас Дослідження змащувальної здатності дизельного та авіаційного палива на паливному насосі високого тиску	26	S. Slavinskas, T. Mackevičius, A. Pauliukas Investigation of the lubricity of diesel fuel and aviation fuel on a high-pressure fuel pump.....	26
Андрусенко С.І., Бугайчук О.С., Будниченко В.Б., Подпіснєв В.С. Використання методів управління ризиками для зменшення аварійності на транспорті	31	S. Andrusenko, O. Buhaichuk, V. Budnychenko, V. Podpisnov. Use of risk management methods to reduce transport accidents.....	31
Бодак В. І., Гандзюк М. О., Дубицький О. С., Мазилук П. В. Аналіз стану внутрішніх перевезень в Україні протягом 2017-2020 років.....	41	V. Bodak, M. Gandziuk, O. Dubitsky, P. Mazilyuk. Analysis of the state of domestic transportation in Ukraine during 2017-2020.....	41
Гандзюк М. О., Гандзюк Д. М., Шумік Б. В. Розробка методики оперативного планування роботи автомобілів на міжміських маршрутах.....	47	M. Handziuk, D. Handziuk, B. Shumik Development of methods of operational planning of vehicles on long city routes.....	47
Годованюк П. Д. Математична модель прогнозування попиту на автосервісні послуги	62	P. Godovanyuk Mathematical model of forecasting services for car services	62
Гришук О. К., Тімков О. М., Гладченко В. С. Пошук параметрів силової установки переобладнаного автомобіля	71	O. Gryshchuk, O. Timkov, V. Hladchenko Search for parameters of the power plant of the re-equipped vehicles	71
Кириченко Г. І., Бердніченко Ю. А., Стрелко О. Г. Вдосконалення технології розрахунку показників експлуатаційної роботи з використанням автоматизованої системи	81	H. Kyrychenko, Yu. Berdnychenko, O. Strelko. Advances in technology for calculating operational work indicators using an automated system.....	81
Криштопа С. І., Криштопа Л. І., Микитій І. М., Гнип М. М., Козак Ф. В. Експериментальні дослідження зниження втрат енергії в агрегатах трансмісії підйомних установок для ремонту свердловин	89	S. Kryshstopa, L. Kryshstopa, I. Myktyi, M. Hnyp, F. Kozak. Experimental researches of reduction of energy losses in transmission units lifting installations for well repair	89
Марчук В. Є., Костюченко Л. В., Гармаш О. М., Передерій Н. М., Градиський Ю. О. Ключові елементи логістичного управління закупівлями для оборонної сфери	104	V. Marchuk, L. Kostyuchenko, O. Garmash, N. Perederiy, Y. Gradysky. Key elements of logistic procurement management for the defense sphere.....	104
Мельнікова Ю. І., Клименко І. Ю., Весела М. А. Проблеми розвитку транспортної логістики України в умовах пандемії	110	Y. Melnikova, I. Klymenko, M. Vesela. Problems of the development of transport logistics of Ukraine in terms of pandemic	110

Попович Д. П., Петриків А. Р., Чепесюк Л. В., Шевчук О. С., Фалович Н. М., Маяк М. М., Петринюк Н. А. Вимірювання комфорту в громадському транспорті...	117	D. Popovych, A. Petrykiv, L. Chepesyuk, O. Shevchuk, N. Falovych, M. Maiak, N. Petrinuk. Research of comfort in public transport of Ternopil.	117
Пустюльга С. І., Придюк В. М., Самостян В. Р., Самчук В. П. Розрахунок оптимального плану використання різних моделей тролейбусів на маршрутах міської транспортної мережі	127	S. Pustiulha, V. Prydiuk, V. Samostian, V. Samchuk A calculation of optimal plan of the use of different models of trolleybuses is on routes of a municipal transport network.....	127
Пуць В. С., Мелесь П. П. Дослідження техніко – економічних показників навантажувачів	139	V. Puts, P. Meles. Research of technical and economic indicators of loaders.....	139
Розум Р. І., Буряк М. В., Захарчук О. П. Використання автомобільного транспорту в сільськогосподарському виробництві.....	146	I. Rozum, M. Buriak, O. Zakharchuk Use of road transport in agricultural production.....	146
Сахно В. П., Шарай С. М., Мурований І. С., Човча І. В. До розробки математичної моделі автопоїзда з причепом категорії О ₁ у поперечній площині.....	151	V. Sakhno, S. Sharai, I. Murovanyi, I. Chovcha. To the development of a mathematical model of a road train with a category O ₁ trailer in the transverse plane	151
Хаврук В. О., Пархоменко О. О. Методика розрахунку ефективності експлуатації вантажних автомобілів.....	161	V. Khavruk, O. Parkhomenko. Method of calculating the efficiency of operation trucks.....	161
Перелік рецензентів	173	List reviewers	173

Mykhailo Bogatchuk
*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk,
 Ukraine*

FUEL CONSUMPTION FOR THE ATTACHMENTS OF STEAM GENERATOR INSTALLATIONS OF TECHNOLOGICAL TRANSPORT

The article is devoted to the analysis and specification of fuel consumption for the operation of the attachment of steam-generating installations of the PPUA type, which actuate the steam boiler that produces the steam-water mixture. It is performed the analysis of information sources on fuel consumption for the operation of the heat generator and unreasonable overspending. There were described disadvantages in calculating fuel consumption per hour of operation of the steam-generating installation. Based on the analysis of normative data on fuel consumption accounting per hour of operation, a calculation model was proposed to calculate the actual fuel consumption for the work performed on the preparation of the steam- water mixture in different modes of operation of the installation. During the calculation, it was proposed to calculate the power losses of the internal combustion engine to drive the attachment during their operation in different modes of preparation of the steam-water mixture.

The main purpose is to determine the power loss of the internal combustion engine for each device that ensures the operation of the heat generator and the total power lost, find the amount of fuel to perform the steam-water mixture in the selected mode of operation. Knowing the total power loss and specific fuel consumption for a given engine, it is possible to determine the actual fuel consumption in the selected mode of operation of the steam generator.

The proposed will allow operators to get rid of unreasonable fuel costs to obtain a steam-water mixture with the necessary parameters for performance, pressure and temperature.

Keywords: steam generator, attachments, fuel consumption, internal combustion engine (ICE), power losses, steam-water mixture.

INTRODUCTION

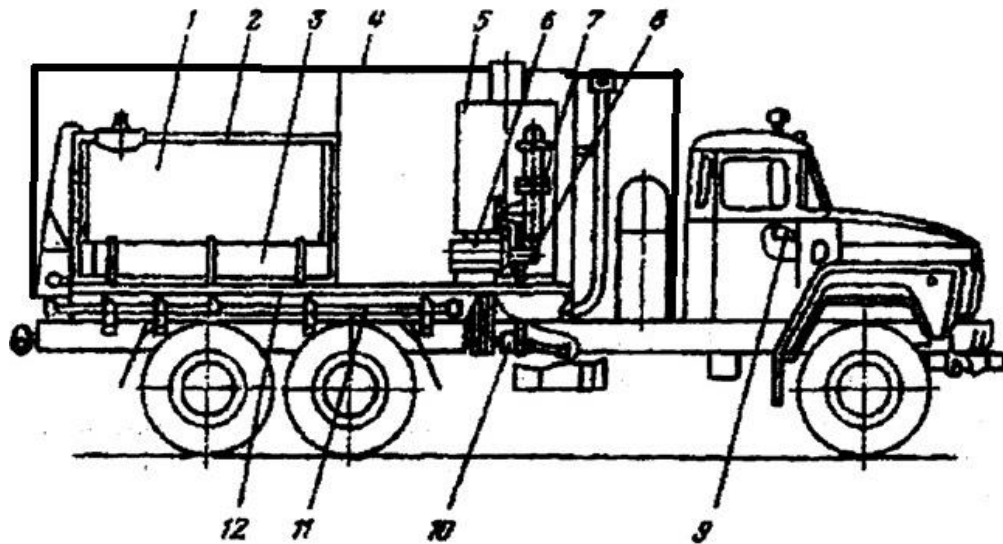
Nowadays, the use of fuel and energy resources is one of the most important economic problems. Dozens of steam generating units are used in the state oil and gas sector: ППУА (PPUA)-1200/100, ППУА (PPUA)-1600/100, ППУА-1800/100, which are installed on the chassis of cars: КрАЗ, Урал, КамАЗ (KrAZ, UrAL, KAMAZ) and others. The steam generator is driven by attachments, which are connected to the internal combustion engine (ICE) of the vehicle through the power take-off. Technologically and structurally, steam generators have not undergone significant changes for decades. [1-3].

ANALYSIS OF LITERATURE DATA AND PROBLEM STATEMENT

It should be noted that at the same time, the manufacturers of steam generating units, planned the fuel consumption for their operation at the nominal capacity, which was given in the operating instructions of the units. Initially, ППУА (PPUA) industrial steam mobile units were intended for dewaxing wells, later they began to be used for heating underground and ground oil and gas equipment, as well as for steaming and cleaning pipelines, tanks and other household needs.

According to the ППУА (PPUA) operating instructions, fuel consumption was given per hour of steam generator operation with initial data for stage I - ($Q - 110 \text{ kg / h}$, $P - 9,81 \text{ MPa}$ and $t - 310 \text{ oC}$) and stage II - ($Q - 35 \text{ kg / h}$, $P - 0.78 \text{ MPa}$ and $t - 175 \text{ oC}$) and separately for devices (attachments), which is driven by the car engine [4]. Regulatory data on fuel consumption Q , for the operation of the steam generator unit in other modes (temperature and pressure of the steam-water mixture) are not provided by the operating instructions. Due to the fact that the loss of power of the internal combustion engine to drive the attachments (pumps and fan) at lower modes will be less than at maximum modes, for which there are regulatory data on fuel consumption per hour of operation of the installation, therefore, it will be less fuel consumed per hour of equipment operation than provided by the regulatory document at the nominal (maximum) mode of operation. The lack of standards for calculating fuel consumption during the operation of the steam generator at lower modes, does not allow operators to calculate the actual fuel consumption for the work performed to obtain a steam-water mixture, which creates certain conditions in unreasonable fuel consumption.

Picture 1 shows a schematic diagram of a mobile steam generator ППУА (PPUA), which is a mobile mini-boiler on the chassis of the car.



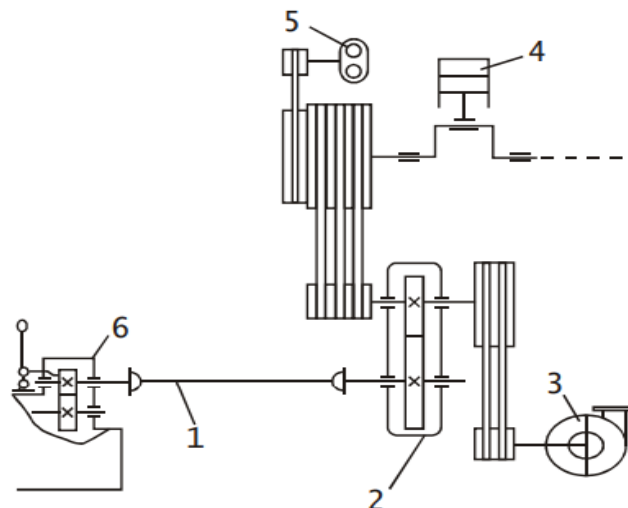
Picture 1 - Schematic diagram of the unit ППІУА (PPUA) 1600/100

According to the design, the unit consists of: water tanks 1, tank shelters 2, fuel tanks 3, body (kung- {body - van}) 4, a steam generator 5, a water pump to power 6 the steam generator 5; a high pressure fan 7 for supplying air to the boiler of the steam generator 5; gear pumps 8 for supplying fuel to the injectors of the boiler of the steam generator 5; electrical equipment, control and measuring devices with automatic control of the technological process 9, the mechanical drive 10 of the pumps 6, 8 and the fan 10; main pipelines 11, mounting frame 12.

The operation of the steam generator is carried out from a set of auxiliary equipment shown in **Picture 2**, which is driven by the internal combustion engine of the vehicle on which the steam generator unit is installed.

PURPOSE AND OBJECTIVES OF THE RESEARCH

Fuel consumption accounting during the operation of the units is carried out separately for the steam generator (boiler) and attachments, which serves to ensure the operation of the steam generator and is actuated through the power take-off from the traction engine of the car.



Picture 2-Kinematic diagram of the attachment of the ППІУА (PPUA) unit

1- cardan shaft, 2- reducer, 3- fan, 4- pump (pump), 5- gear pump, 6- box power take-off.

Regarding information on fuel consumption, in the operation of ППІУА (PPUA) in different modes of operation of the steam generator, it should be noted that currently, the author has no information on specific standards on this issue, and operators use their industry standards, which in some way do not correspond to

reality, as they calculate the cost per hour of operation of the steam generator, rather than the work performed.

RESEARCH RESULTS

In industry standards [5,6,7] fuel consumption rates differ in some way from each other, for example, according to the industry document [5] for the operation of the boiler of the steam generator per hour consumes 56 liters (stage I, mode: Q - 110 kg / h, P-9.81 MPa and t-310 °C table 1) and 30.6 liters (stage II, mode Q - 35 kg / h, P-0.78 MPa and t-175 °C table 1), for the same hour of work according to the document [6] 69,1 liters (degree not specified) and according to the document [7] 133,3 liters (degree I) and 42,4 liters (degree II). According to this information [5], 8 liters are consumed for the operation of the internal combustion engine from which the attachment is actuated (Picture 2), which is defined for the operation of the steam generator (supply to the coil of the boiler water, supply to the furnace of the boiler fuel, supply to the furnace of the boiler air needed to burn fuel, consumption for electricity extracted from the ICE generator). In addition, consumption is restored here for the operation of navigation equipment, which ensures the operation of the internal combustion engine (fan, compressor, generator, etc.)

In the factory standards for ПІІІА (PPUA) [4,8,9] for the production of steam at nominal (maximum) power consumed fuel (stage I): Q - 110 kg per hour at (P-9.81 MPa and t-310 °C) and (degree II): Q - 35 kg / h, at (P-0.78 MPa and t-175 °C).

As can be seen from the above, in different industry and factory standards there is a big difference in fuel consumption, which indicates an incorrect accounting and calculation of fuel consumption to obtain an equivalent amount of steam-water mixture at the same output parameters (temperature and pressure).

In all the above standards there is no data on fuel consumption at lower modes, which can run the steam generator. **Table 1** presents the possible modes of operation of the steam generator, recommended in the operating instructions PPUA [4,10].

Table 1 - Recommended modes of operation of the steam generator [4,10]

Absolute vapor pressure, P, MPa, (kgf / cm ²)	Saturation temperature, t _s , °C	Absolute vapor pressure, P, MPa, (kgf / cm ²)	Saturation temperature, t _s , °C	Absolute vapor pressure, P, MPa, (kgf / cm ²)	Saturation temperature, t _s , °C
Stage I				Stage II	
1,96 (20)	213,85	5,39 (55)	269,84	0,098 (1)	119,62
2,06 (21)	216,23	5,88 (60)	275,36	0,196 (2)	132,88
2,16 (22)	218,53	6,37 (65)	280,55	0,29 (3)	142,92
2,25 (23)	220,75	6,86 (70)	285,44	0,39 (4)	151,11
2,35 (24)	222,9	7,35 (75)	290,08	0,49 (5)	158,08
2,45 (25)	224,99	7,84 (80)	294,48	0,59 (6)	164,17
2,94 (30)	234,57	8,33 (85)	298,69	0,69 (7)	169,61
2,43 (35)	243,04	8,82 (90)	302,71	0,79 (9)	174,53
3,92 (40)	250,64	9,31 (95)	306,56		
4,41 (45)	257,56	9,81 (100)	310,26		
4,90 (50)	263,93				

The values [11] of fuel consumption in the modes presented in Table 1, which is consumed by the steam boiler in each of the modes are calculated in this work [11]. It should be noted that these fuel consumption is much lower than when operating at nominal modes, which are calculated by operators. That is, operators, due to the lack of recommendations, calculate fuel consumption for all modes per hour of operation, both for stage I with maximum power and parameters (Q - 110 kg / h, P-9.81 MPa and t-310 °C) and for stage II with maximum power with parameters (Q - 35 kg / h, P-0.78 MPa and t-175 °C).

Analyzed indicates an incorrect determination of fuel consumption in the manufacture of steam-water mixture with lower initial parameters than (stage I - P-9.8 MPa and t-310 °C) and (stage II -P-0.78 MPa and t-175 °C).

The obtained difference in fuel consumption in different modes between really burned and accounting, shows the unreasonableness of accounting for fuel consumption per hour of operation of the steam generator

in their accounting. As for the attachments of the steam generator (pumps for supplying water to the boiler coil, pumps for supplying fuel to the furnace of the boiler, fan for supplying air to the boiler, etc.), according to industry standards, fuel consumption rates also differ between operators.

According to [5], for the operation of the internal combustion engine, which works to ensure the operation of the steam generator (together with the consumption for the operation of the internal combustion engine) it is consumed $Q_n - 8 \text{ kg / h}$ regardless of $P - \text{MPa}$ and $t - ^\circ\text{C}$ in any technological mode referred to in Table 1. In the characteristics on ППУА (PPUA) 1600/100 [8], it is stated that the fuel consumption in the operating mode is 10 kg / h . As you can see, these data vary up to 2 kg / h .

In the technical characteristics on ППУА (PPUA) 1600/100 [9] it is specified that the maximum power which is taken away from traction internal combustion engine of the car on work of the hinged equipment (attachments) of the steam generator makes 40 kW . Knowing the power loss and specific fuel consumption for a diesel engine, you can find the fuel consumption. In this case, it is about 10 kg / h , which is approximately correlated with the above figures.

However, it should be noted that steam generators installed on different brands of cars, which are equipped with different technical characteristics of the internal combustion engine, will have different specific fuel consumption g / kWh and different fuel consumption for the same work performed to prepare the steam mixture.

Taking into account the fact that the operation of the steam generator uses different pressures and flow rates of liquids (power supply of the steam generator) and the air used to burn fuel, you can determine the power consumed by the internal combustion engine to drive pumps and fans. Let's call the above system hydropneumatic.

The hydropneumatic system of the ППУА (PPUA) steam generator (Picture 2) is equipped with two hydraulic pumps: a plunger for water supply to the coil and a gear for supplying fuel to the nozzles of the heat generator boiler.

Pumps

As can be seen from Table 1, ППУА (PPUA) steam generators operate in different modes, which correspond to constant pressures $P - \text{MPa}$ and saturation temperature $t - ^\circ\text{C}$. In the end, the power that the pump consumes at constant pressure and constant performance is determined by the known formula [12,13]:

$$N_H = P \cdot Q, \text{ kW}, \quad (1)$$

where P is the pressure, MPa ;

Q - productivity (consumption), l / s .

Knowing the power of the pumps, you can determine the power consumed by the internal combustion engine to drive the pumps by the formula [12,14]:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_H}{\eta_H \cdot \eta_{n_H}}, \text{ kW}, \quad (2)$$

where η_H – coefficient of the pumps efficiency;

η_{n_H} – coefficient of the drive efficiency.

Fan

To supply air to the furnace of the steam boiler in the hydropneumatic system of the unit, a high pressure fan is installed (Figure 2), which provides efficient (complete) combustion of fuel in the furnace of the boiler of the steam generator.

During operation, the fan consumes the following power [12]:

$$N_B = Q_6 \cdot P_6, \text{ kW}, \quad (3)$$

where Q_6 - fan capacity, m^3 / s ;

P_6 – full pressure of the fan, Pa .

Having the power of the fan, you can determine the power consumed by the internal combustion engine to drive the fan by the formula [12,14]:

$$N_{\text{ДБ}} = \frac{N_B}{\eta_e \cdot \eta_{n_e}}, \text{ kW}, \quad (4)$$

де η_e – coefficient of the fan efficiency;

η_{n_e} – coefficient of the fan drive efficiency.

Electrical equipment

For the operation of the steam generator unit according to the instructions for technical operation, the power, that is consumed by electrical equipment and the burner, is not more than 220 W, with short-term operation of the igniter (20-sec) - not more than 500 W [4]. The method of determining the power consumption of internal combustion engines on the drives of automotive generators, that produce the current to power electrical equipment, that provides the operation of the steam generator is described in works [12,14]. Due to the small values of power consumption, the calculation is impractical and the power consumption of the internal combustion engine to drive the generator is taken according to the operating instructions [4].

Knowing the power consumption of the internal combustion engine to drive the above units, as well as the specific fuel consumption for this engine, you can determine the hourly fuel consumption for the operation of auxiliary equipment of the steam generator in the selected mode.

$$G_T = \sum (N_{\text{ДБ}}^{\text{II}} + N_{\text{ДБ}}^{\text{III}} + N_{\text{ДБ}}^{\text{B}} + 0,22) \cdot q_e, \text{ kg/h}, \quad (5)$$

where $N_{\text{ДБ}}^{\text{II}}$ - power consumption of the internal combustion engine to drive the plunger pump for water supply to the boiler coil of the heat generator, kW

$N_{\text{ДБ}}^{\text{III}}$ - power consumption of the internal combustion engine to drive a gear pump for fuel supply to the nozzles of the furnace of the heat generator boiler, kW;

$N_{\text{ДБ}}^{\text{B}}$ - power consumption of the internal combustion engine for the fan drive, kW;

0,22 - power consumption of the internal combustion engine to drive the generator, we accept according to [4], kW;

q_e - estimated specific fuel consumption at a given engine crankshaft speed, g / (kWh).

DISCUSSION OF RESEARCH RESULTS

Preliminary calculations of fuel consumption for the operation of attachments due to power consumption show that lower modes will consume less fuel, as far as energetically, the attachments at lower modes will consume less power, and at the same time the internal combustion engine will burn less fuel. Operators do not take this moment into account, but accept the normative value, which is determined for the nominal (maximum) power of the heat generator.

From the above, we can conclude that the current fuel consumption rates are imperfect, as they do not reflect the fuel consumption required for the operation of the steam generator.

CONCLUSIONS

For more accurate control of fuel consumption, various types of information technologies, computer equipments, meters, FMS and SCRT systems and more are currently used. However, for their implementation it is necessary to have a developed method of calculating fuel consumption at different stages and modes of operation of the steam generator.

REFERENCES

1. Baybakov N.K. Thermointensification of oil production / Baybakov N.K., Bragin V.A., Garushev A.R. -M: Nedra 1971 - 280 p.
2. Oilfield equipment: Handbook / Edited by. E.I. Bukhalenko. 2nd edition., Revisions and additional. M.: Nedra, 1990. 559p.
3. Boyko V.S. Development and operation of oil fields. Textbook. K.: ISDO, 1995.- 496 p.
4. Installation of field steam mobile PPUA-1600/100. Operation manual (TU 26-02-987-85). JSC "Nalchik machine-building plant" Nalchik, KBR - 2005.- 73 p.
5. Temporary linear fuel consumption rates for mobile steam generators. OJSC Ukrnafta: Center for Regulatory and Economic Research. Approved by: Chairman of the Board June 2, 2009 Kyiv-2009. P. 10.

- 1.SOU 60.2-30019775-008: 2004. Norms of expenses of fuels and lubricants for work of motor vehicles of SC "Ukrgezvydobuvannya". [Valid from 26.05. 2004. Order №288 SC "Ukrgezvydobuvannya"]]: Kharkiv: Ukrainian Research Institute of Natural Gases "Ukrndigaz". 2004.- 97p.
- 2.NVR 320. 30019801.008.63-2004. Temporary individual fuel consumption rate № 63. NJSC "Naftogaz of Ukraine" SC "Ukrtransgaz": Regulatory and Analytical Center. Approved by: First Deputy General Director of Ukrtransgaz 16.03.2004.-Kyiv.-P.1.
- 3.Installation industrial steam mobile PPUA-1600/100. Technical characteristics. Access mode: <http://pkpm.com.ua/uk/production/parogeneratornyie-ustanovki-ppua-1600-100-2/>
- 4.Steam production unit PPUA 1600/100 UZST 6890-01 based on KamAZ-43118 chassis. Technical characteristics. Access mode: <https://agat-group.com/catalog-spec/kamaz/paropromyslovaya-ustanovka-ppua-1600-100-uzst-6890-01-na-baze-shassi-kamaz-43118/>
- 5.Mobile steam generating unit UPP-1600/100 MH. Operation manual UPP.00.00.00.000 RE.- PJSC "Kharkov plant of transport equipment (KhZTO)" - 2013. -61p
- 6.F.V Kozak, B.D Protsyuk, M.I Bogatchuk, L.O Bogatchuk. Method of determining fuel consumption by steam-generating installations of oil and gas technological transport for different modes of operation. Development and operation of oil and gas fields. ISSN 1993 - 9965. Scientific Bulletin IFNTUNG. 2010. № 3 (25) P.36 45.
- 7.M.E Sergienko, M.I Pastushchina, O.V Kosarev. Determining the power consumption of the car's internal combustion engine to drive attachments. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Automobile and tractor construction / Nat. tech. University "Kharkiv. Polytechnic Inst. Kharkiv: NTU "KhPI", 2020. № 1'2020. Pp. 45-51 p. DOI: 10.20998 / 2078-6840.2020.1.06 / I SSN 2 078-6840
- 8.Method of determining fuel consumption of aggregate installations of oil and gas technological transport. Bogatchuk I.M, Melnyk V.M, Bogatchuk M.I, Dykun T.V. Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, vul. Karpatska, 15 trans@nuing.edu.ua
- 9.Nemiy S.V Energy structure of motor vehicle / S.V Nemiy // Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Dynamics, strength and design of machines and devices. - 2015. - № 820. - P. 90-96. - Access mode: <http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPDM>.

Богатчук М.І. Витрати палива на роботу навісного обладнання парогенераторних установок технологічного транспорту

Стаття присвячена аналізу і уточненню витрат палива на роботу навісного обладнання парогенераторних установок типу ППУА, які приводять в дію паровий котел, що виробляє пароводяну суміш. Виконано аналіз інформаційних джерел з витрат палива на приведення в дію теплогенератора і необґрунтованих перевитратах. Охарактеризовано недоліки з підрахунку витрат палива за годину роботи установки. На основі аналізу нормативних даних з обліку витрат палива за годину роботи запропоновано розрахункову модель для обчислення дійсної витрати палива за виконану роботу з підготовки пароводяної сумі на різних режимах експлуатації установки. При розрахунку запропоновано обчислення вести за втратами потужності двигуна внутрішнього згоряння на привід навісного обладнання при їх роботі на різних режимах підготовки пароводяної суміші.

Основна суть полягає в тому, що визначають втрати потужності ДВЗ для кожного пристрою, який забезпечує функціонування теплогенератора і по сумарній втраченій потужності, знаходять кількість палива на виконання пароводяної суміші на вибраному режимі експлуатації установки. Знаючи сумарні втрати потужності і питому витрату палива для даного двигуна визначають дійсну витрату палива на вибраному режимі експлуатації парогенератора. Запропоноване дозволить експлуатаційникам позбутися необґрунтованих витрат палива на отримання пароводяної суміші з необхідними параметрами по продуктивності, тиску і температурі.

Ключові слова: парогенератор, навісне обладнання, витрати палива, двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ), втрати потужності, пароводяна суміш.

БОГАТЧУК Михайло Іванович, аспірант Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. e-mail: bobo1983@meta.ua.

BOGATCHUK Mykhailo Ivanovych, PhD student, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. e-mail: bobo1983@meta.ua.

DOI 10.36910/automash.v2i17.628

Ruslan Kaidalov, Vasyl Omelchenko, Mykhailo Podryhalo
National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ANALYSIS OF EXISTING CONSTRUCTIONS OF ROAD TRAINS WITH ACTIVE TRAILERS

The role of road transport in logistics transportation is determined and peculiarity of logistics transportation which performs by military formations is shown, namely a wider range of changes in operating conditions. Attention is drawn to the fact that both single trucks and road trains are mostly used for road transportation. The advantages of using road trains in comparison with single automobiles during performing transportations are noted. It is shown that in the modern automotive industry the field connected with the use of multi-axle heavy-duty road trains and articulated self-propelled platforms actively develops. Widespread and further improvement of these vehicles is due to a large number of objective factors.

Contradictions between the existing constructions of road trains and the requirements for the efficiency of automobile transportations especially military have been established. One of the field of efficiency increase of automobile transportations using road trains with active trailer links is specified. The existing constructions of road trains with active trailer links are analyzed. Features of a construction, advantages and disadvantages of active links of road trains of various types of energy transfer are defined. The efficiency of various drive system transmissions of active axles of trailer links, namely: mechanical, hydrostatic and electrical to achieve maximum passability and dynamism in a wide range of operating conditions of road trains.

It is substantiated that the most promising is the use of electrical (or electromechanical) drive on the wheels of trailer links of the road train which will simplify the construction of the transmission and further increase the passability and dynamism of the road train by separate control of individual wheels.

Keywords: road train, active trailer, transmission, trailer link, passability.

INTRODUCTION

Road transport is one of the main types of transport which is used to perform tasks of logistics transportation by both military formations and civilian organizations. Both single trucks and road trains are mostly used for road transportation.

In the modern automotive industry, the field connected with the use of multi-axle heavy-duty road trains and articulated self-propelled platforms is actively developing. Widespread and further improvement of these means of transport is due to a number of objective factors: the need for transportation of heavy bulk cargo with the exception of the processes of separate transportation and further assembly of components; the need to increase load capacity at the same time ensuring high passability when driving on dirt roads and off-road; the need to provide low pressure on the supporting surface in order to reduce the destructive impact on the soil, etc. [1].

The use of road trains in industrial and agricultural areas with a developed road network has great prospects. But the need to use road trains in a wide range of road operating conditions, namely, in off-road conditions, which is typical for military wheeled vehicles, becomes especially relevant. However, the existing constructions of the drive wheels of road trains do not fully provide high passability and dynamism, which is important in terms of ensuring their survivability in military operation [1].

ANALYSIS OF LITERATURE SOURCES AND PROBLEM STATEMENT

Analysis [2-5] showed that the support and coupling properties of road trains are much lower than those of single automobiles. Various constructive solutions are known to increase the traction and dynamic properties of road trains. The desire to increase the passability of road trains has led to the creation of so-called active road trains. Road trains with a drive on the wheels of a trailer or semi-trailer are called active trailer links. Their main difference is the distribution of engine power not only on the wheels of the tractor, but also on the wheels of the trailers [6]. To increase the passability of road trains (especially large capacity) the drive wheels of trailers and semi-trailers use [5].

Thus, the activation of the wheels of the trailer (semi-trailer) not only improves the passability and dynamism of the road train compared to a single automobile but even surpasses them and at the same time ensure the transportation of greater mass goods. In scientific papers [2-5] the classification of road trains, their layout schemes, and constructive features that are characteristic of passive trailer links are given. But the issues of construction of road trains with active trailer links and features of torque transmission to the driving wheels of the trailer (semi-trailer) are not considered.

The drive of active towing links can be constant and periodic action. Drives of constant action have rather small distribution and are applied mainly on heavy-duty multilink road trains. On two-link road trains,

drives of periodic action (booster type) are usually used. According to the transmission type of the drive system of the active axles trailer links are divided into mechanical, hydrostatic and electrical [6]. Features of construction, advantages and disadvantages of these active links of different types road trains of energy transfer need to be researched.

THE AIM AND OBJECTIVES OF THE STUDY

The purpose of the study is to determine the options of rational use of different types of energy transfer to the driving wheels of a trailer or semi-trailer on the basis of a comparative analysis of the constructions of active road trains.

To achieve this aim it is necessary to solve the following objectives:

- to carry out the comparative analysis of active links schemes of road trains with the drive of driving wheels of the trailer or the semi-trailer;
- to determine the most effective type of wheel drive system of a trailer link of road trains.

RESULTS OF THE STUDY

The experience of creating active trains shows that in domestic practice they are developed mostly with semi-trailers and foreign experts prefer trailers. But two constructive schemes of a mechanical drive of wheels of the trailer (semi-trailer) of a road train are possible: with transfer of a twisting moment by usual cardan transfer and through a pin of the truck-coupling device. A significant disadvantage of the first scheme is the limitation of the folding angle between the tractor and the semi-trailer by the maximum allowable angles of the cardan joints (up to 45°) which significantly impairs the maneuverability.

For the improvement of the maneuverability of road trains with the transfer of torque to the cardan drive, the British company Multidrive uses a coupling device with a double articulation mechanism [7]. To eliminate the need of cardan transmission work on critical angles the rotary table of a back cart of the semi-trailer is entered. This coupling device provides increased angles of longitudinal (up to $\pm 15^\circ$), transverse (up to $\pm 10^\circ$) and horizontal (up to $\pm 100^\circ$) flexibility. As the experience of Multidrive shows, this type of drive is the most rational for road trains with 8×8 wheel formula. The disadvantage of this scheme is the vulnerability of the drive elements of the trailer link during driving on cross-country, as well as the complexity of the operations of coupling and uncoupling. The layout of the active road train with the wheel formula 8×8 with a mechanical drive is presented in Fig. 1.

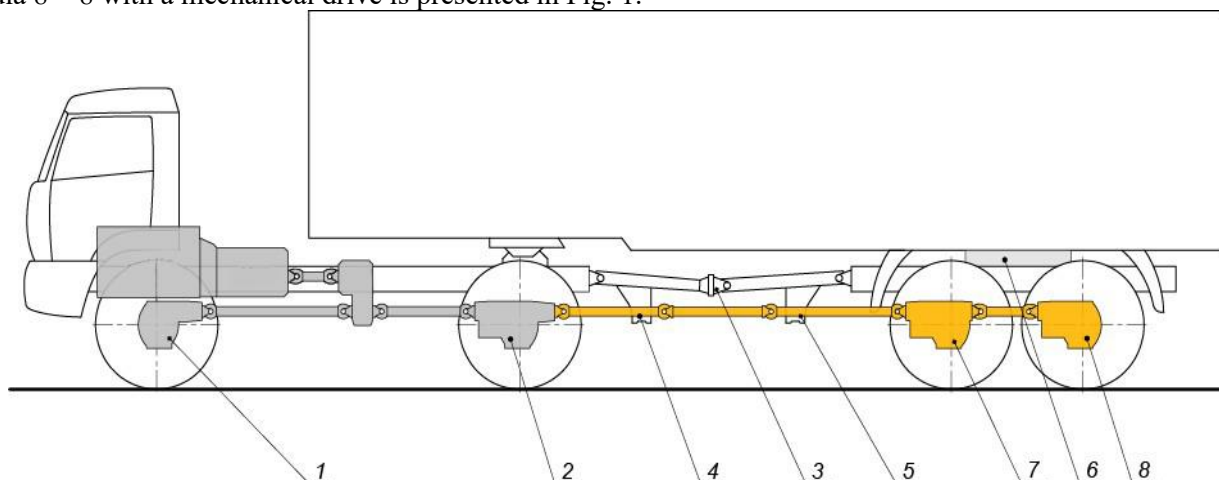


Fig. 1 - Layout of drive units of the "Multidrive" type: 1, 2, - driving axles of the tractor; 3 - the mechanism of articulation; 4, 5, - intermediate supports; 6 - rotary mechanism; 7, 8 - leading axles of the semi-trailer

The basis of most existing constructions of road trains was the mechanical drive of the drive wheels of semi-trailers from the transmission of tractors that towed them [4]. After testing a number of experimental constructions, road trains with a 10×10 wheel formula, consisting of three-axle all-wheel drive tractors and active two-axle semi-trailers with all driving single-slope wheels were recognized as the most effective. The layout of the active road train (wheel formula 10×10) with a mechanical drive is presented in Fig. 2.

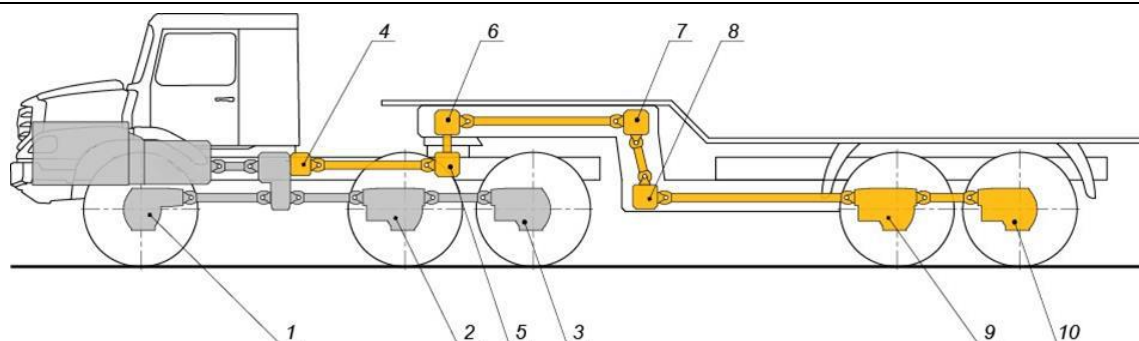


Fig. 2 - Layout of mechanical drive units of the semi-trailer: 1, 2, 3 - leading axles of the tractor; 4 - power take-off box; 5, 6, 7, 8 - angular reducers; 9, 10 - leading axles of the semi-trailer.

This type of drive has the following disadvantages:

- the use of a non-standard support-coupling device, which does not provide the possibility of uncoupling the links of the road train and replacing the trailer;
- a significant number of angular reducers and cardan shafts that increase the weight of the drive;
- kinematic discrepancies in the rotation of the wheels of the tractor and trailer and the problem of optimal redistribution of the required traction and braking forces on each wheel of the road train.

Recently a hydrostatic drive has been widely used to activate the wheels of trailers in the domestic and foreign automotive industry. For active road trains hydrostatic drive has the following advantages over mechanical [2, 5]:

- stability of work at low speeds and big loadings;
- convenience of arrangement of units of the drive;
- ease of obtaining a fast (≈ 0.12 s) and symmetrical in moments and kinematic parameters of the reverse drive, which allows to perform vigorous "rocking" of a stuck automobile, which is typical for operation in difficult road conditions;
- freedom of transmission units layout;
- rigid kinematic and power characteristics of the hydrostatic transmission, which is close to the characteristics of the mechanical continuously variable transmission and low inertia of the drive which makes it possible to control the gear ratio of the drive with high accuracy according to any given law;
- energy efficiency of the automobile with hydrostatic transmission during increase in number of its leading axles decreases less intensively than in automobiles with mechanical transmission;
- reliable protection against overloads (by means of safety valves and pressure limiters).

According to Sisu firm, a road train equipped with hydrostatic transmission develops traction 25% higher and overcomes the ascent 1.5 times steeper than without it [5].

Schemes of hydrostatic drives of active wheels of trailer links are divided into two main types: "hydraulic shaft" and "hydraulic motor-wheel". In such constructions, the hydrostatic drive performs the functions of cardan shafts, providing torque to the drive axles of the trailer link. The layout of the units of the drive type "hydraulic" is presented in Fig. 3

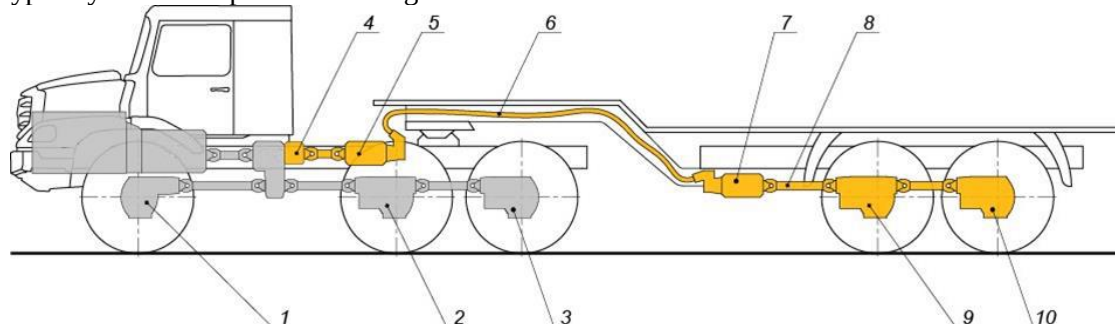


Fig. 3 - layout of units of the hydrostatic drive of the semi-trailer of the "hydraulic shaft" type: 1, 2, 3 - leading axles of the tractor; 4 - power take-off box; 5 - pump; 6 - flexible hoses; 7 - hydraulic motor; 8 - semi-trailer drive shaft; 9, 10 - leading axles of the semi-trailer.

The layout of the units of the hydrostatic drive of the semi-trailer of the "hydraulic motor-wheel" type is presented in Fig. 4.

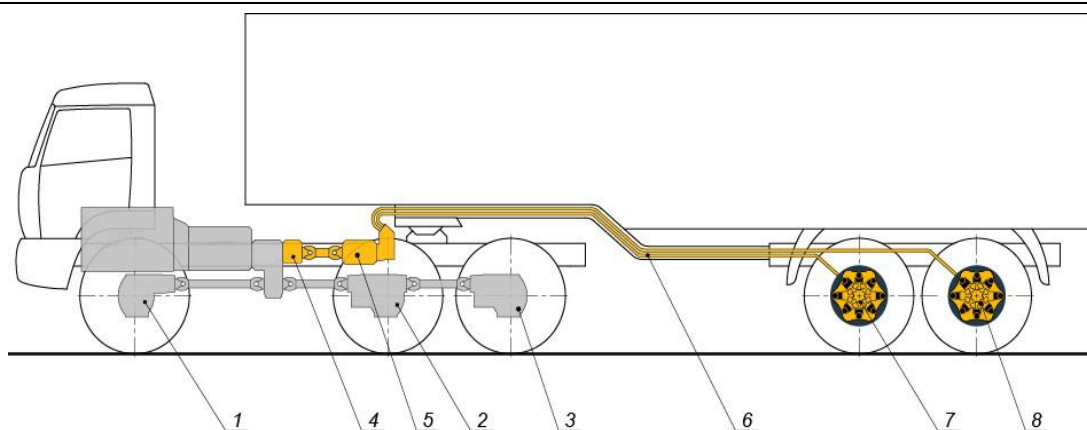


Fig. 4 - Layout of units of the hydrostatic drive of the semi-trailer of the type "hydromotor-wheel": 1, 2, 3 - leading axles of the tractor; 4 - power take-off box; 5 - pump; 6 - flexible hoses; 7, 8 - hydraulic motor.

A feature of this drive is the widespread use of standard units. However due to the small number of hydraulic units (one pump and one motor), a significant part of the drive is accounted for by mechanical units (main gears, differentials, cardan gears). In this layout, the possibility of blocking the wheel differentials in the axles of the trailer link of the road train should be realized to increase the passability [5].

At the present stage of technical development, the realization of the hydrostatic drive occurs according to the scheme of the type "hydraulic motor-wheel". In this case, the hydrostatic motor is built into each of the engines. The advantage of radial-piston hydraulic motors is the ability to transmit high torques and stable operation under load at low speeds ($7 \dots 10 \text{ min}^{-1}$) which simplifies the construction of the motor-wheel, as it eliminates the need for a wheel reducer. Axial-piston hydraulic motors have a smaller diameter than radial-piston, so they are used with a small diameter of the wheel hub. Under load the minimum stable speeds of such a hydraulic motor are in the range of $100 \dots 150 \text{ min}^{-1}$, so the installation of a reduction gear is needed.

The peculiarity of the hydrostatic transmission is that it operates in a rather narrow range of speeds of the machine which is explained by the working processes of volumetric hydraulic machines [8].

The use of hydraulic drive is limited for the following reasons:

- efficiency is less than that of a mechanical drive (due to double energy conversion);
- the complexity of operation in low temperatures (to maintain efficiency it is necessary to constantly pump the working fluid, which leads to large bubbling losses);
- high cost compared to a mechanical drive; limited use in long-distance road trains (due to large losses in pipelines).

When creating multi-wheel drive automobiles (which include active road trains) the most rational is the use of electrical (electromechanical) transmission [9-14]. Electrical is a transmission in which the conversion of power flow factors of the drive motor of the machine in the entire control range is carried out by an electric torque transformer. The simplest transformer consists of two electric machines, one of which operates in generator mode and the other in electric motor mode. If in such transfer step (friction-gear) reducers or other mechanical distributing mechanisms are established it is called electromechanical. The main advantages of electromechanical transmission:

- the characteristic of the traction electrical motor provides realization of stepless transfer of power on wheels and a possibility of movement at "creeping speeds";
- significantly reduces the number of mechanical elements of the transmission (there is no gearbox and transfer case, reduces the number of cardan shafts, etc.);
- ease of reversal;
- there is a possibility of individual distribution of power on wheeled engines according to external conditions in which they are.

To activate the wheels of a trailer or semi-trailer of a road train with a tractor that has a serial drive, an electric drive of periodic action is used, which is applied when driving in lower gears of the tractor gearbox. To reduce driving losses in higher gears, it is necessary to "break" the kinematic connection between the wheel and the links of the gearbox with the traction motor [7].

Electric transmissions with a permanent drive are used on all-wheel drive trains with a large number of drive axles. When driving in difficult road conditions or at full load all electric motor wheels realize the power transmitted from the power flow of the drive motor of the automobile and the generator, and the coupling properties of the train are fully used [7].

The layout of the units of the electrical drive of the semi-trailer is presented in Fig. 5 [7].

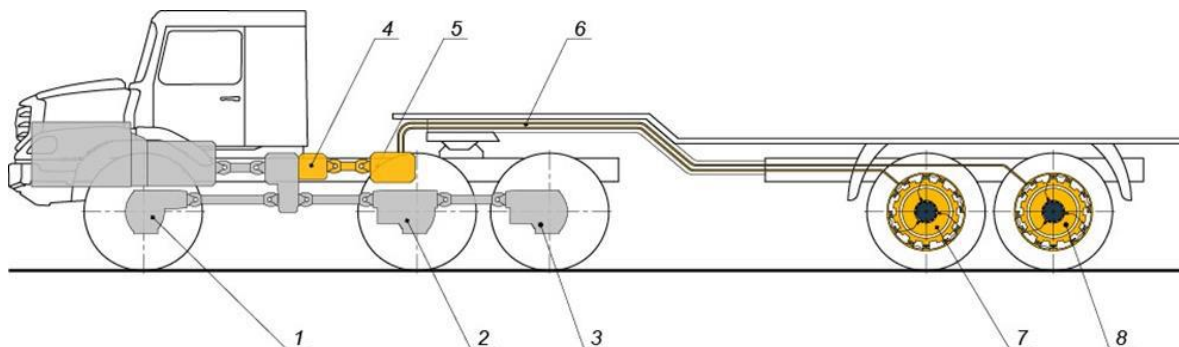


Fig. 5 Layout of electrical drive units of the semi-trailer: 1, 2, 3 - leading axles of the tractor; 4 - power take-off box; 5 - generator; 6 - power wires; 7, 8 - electrical motor-wheel.

During the movement of such road trains on roads with the improved covering and with incomplete loading the necessary force of traction of the automobile considerably decreases. In these conditions it is expedient to disconnect a part of the electrical motor wheels. Taking into account the modern development of science and technology, semi-trailers with electrical drive of semi-trailer wheels should be created for truck tractors with electromechanical transmission as the car already has a powerful generator and it is possible to use common (general) control algorithms for electromechanical transmission.

DISCUSSION OF RESULTS

The analysis shows that the further development and use of the mechanical drive of the leading wheels of the trailers is not effective because it leads to a significant complication of the train construction and increase energy costs (fuel consumption) for the movement of the automobile.

Hydrostatic type of drive is most often used in the construction of tractors and tractor trains. In construction of automobiles it received limited use.

Therefore, in our opinion, the use of electrical drive (or electromechanical) on the wheels of the trailer links of the road train is promising which simplifies the construction of the transmission and in the future to increase the passability and dynamism of this automobile through separate control of individual wheels.

CONCLUSION

1. As a result of the study it was determined that the most promising is the use of electrical drive of the leading wheels of the trailer link of the road train.

2. The use of an electrical drive of a trailer or semi-trailer allows in the future to increase the passability and dynamism of the road train due to the separate control of individual wheels of the trailer link.

REFERENCES

1. Kaidalov R., Omelchenko V. (2021) Ways to increase the efficiency of logistics transportation by road trains with active trailers. *Reports of the All-Ukrainian Scientific-Practical Conference, Ukraine*, 157-158.
2. Kashkanov A., Rebedailo V. Specialized rolling stock of automobile transport: construction – 2002, p. 164.
3. Dziura V., Tsion O., Vovk Ya. (2016) Specialized rolling stock: lecture notes for students, 140 p.
4. Sakhno V., Poliakov V., Kostenko A. (2014) Performance properties of vehicles. In 3 parts Part 2. Smoothness and passability of vehicles, 354 p.
5. Belousov B. N., (2006) Wheeled vehicles with a particularly large load capacity, Moscow, 728 p.
6. Gorelov V. (2012) *Scientific methods of increase of safety and energy efficiency of movement of multiaxial wheel transport complexes. PhD Dissertation*, 336 p.
7. Horelov V., Chudakov O. (2016) Analysis of constructive schemes of drive of wheels of trailer links of active road trains. *Izvestiya "MAMI"*, 16–24.
8. Shukhman S., Soloviov V., Prochko E. Theory of power drive of wheels of off-road cars, Moscow, 336 p.
9. Kaidalov R.O. (2016) Research of kinematics and dynamics of hybrid electromechanical drive of the driving wheel of the car. *Visnyk of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"* vol. 23 (1195). 59 - 64.
10. Kaidalov R.O., (2016) Research of the possibility of reducing energy losses of the car when using a hybrid electromechanical drive of driving wheels. *Information processing systems*. Kharkiv: KhNUPS, issue. № 9, 13 - 17.

1.Kaidalov R.O., (2017) Estimation of energy efficiency of electrical transmission of a wheeled machine. *Visnyk of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"*, Kharkiv: NTU "KhPI", issue. № 25 (1247). 86 - 89.

2.Podryhalo M., Kaidalov R., Zhovtonog O. (2017) Estimation of dynamic properties and energy efficiency of cars with stepless automatic transmission. *Scientific notes*. Lutsk: LNTU., issue 57, 152 - 160.

3.M Podrigalo. Synthesis of energyefficient acceleration control law of automobile / M. Podrigalo, R. Kaidalov, D. Klets, N. Podrigalo, A. Makovetskyi, V. Hatsko, D. Abramov, Yu. Tarasov, D. Lytovchenko, O. Lytvynov // *Eastern-european journal of enterprise technologies*. – Kh. : Eastern-european journal of enterprise technologies, 2018. – 1/7(91). – PP. 62 – 70.

4. M. Podrigalo. Energy efficiency of vehicles with combined electromechanical drive of driving wheels / M. Podrigalo, V. Bogomolov, V. Kholodov, O. Koryk, A. Turenko, R. Kaidalov, V. Verbitskiy, A. Nikorchuk, M. Volodarets, S. Kudimov, S. Khodyriev // *SAE international*. 2020. – 1(2260). – PP. 1 – 7.

Кайдалов Р, Омельченко В, Подригало М. Аналіз існуючих конструкцій автопоїздів з активними причіпними ланками

Визначена роль автомобільного транспорту з виконання логістичних перевезень та показана їх особливості при здійсненні військовими формуваннями, а саме, більш широкий діапазон змін умов експлуатації. Звернуто увагу на те, що здебільшого для автомобільних перевезень залучаються як одиночні вантажні автомобілі так і автомобільні поїзди. Зазначено переваги використання автопоїздів у порівнянні з одиночними автомобілями при виконанні перевезень. Показано, що у сучасному автомобілебудуванні активно розвивається напрямок, пов'язаний із застосуванням багатовісних великовантажних автопоїздів та зчленованих самохідних платформ. Широке поширення і подальше вдосконалення зазначених транспортних засобів обумовлено великою кількістю об'єктивних чинників.

Встановлено протиріччя між існуючими конструкціями автопоїздів та вимогами щодо ефективності автомобільних перевезень, особливо військових. Вказано на один із напрямків підвищення ефективності автомобільних перевезень за рахунок використання автопоїздів з активними причіпними ланками. Проаналізовано існуючі конструкції автопоїздів з активними причіпними ланками. Визначено особливості конструкції, переваги та недоліки активних ланок автопоїздів різних типів передачі енергії. Виявлено, ефективність різних трансмісій системи приводу активних осей причіпних ланок, а саме: механічних, гідрооб'ємних та електричних для досягнення максимальної прохідності та динамічності у широкому діапазоні умов експлуатації автопоїздів.

Обґрунтовано, що найбільш перспективним є використання електричного (чи електромеханічного) приводу на колеса причіпних ланок автопоїзда, що дозволить спростити конструкцію трансмісії, а в перспективі підвищити прохідність та динамічність автопоїзда за рахунок роздільного керування окремими колесами.

Ключові слова: автопоїзд, активний причіп, трансмісія, причіпна ланка, прохідність.

КАЙДАЛОВ Руслан Олегович, доктор технічних наук, професор, полковник, начальник кафедри оперативного та логістичного забезпечення, Національна академія Національної гвардії України, e-mail: kaidalov.76@ukr.net, ORCID-0000-0002-5131-6246

ОМЕЛЬЧЕНКО Василь Іванович, начальник відділу міжнародних зв'язків, інформації та комунікації, підполковник, Національна Академія Національної гвардії України, e-mail: omel85@ukr.net, ORCID - 0000-0001-6713-7026

ПОДРИГАЛО Михайло Абович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування та ремонту машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: pmikhab@gmail.com, ORCID-0000-0002-1624-5219

Ruslan Kaidalov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Colonel, Head of the Department of Operational and Logistical Support, National Academy of the National Guard of Ukraine, e-mail: kaidalov.76@ukr.net, ORCID-0000-0002-5131-6246

Vasyl Omelchenko, Head of the Department of International Relations, Information and Communication, Lieutenant Colonel, National Academy of the National Guard of Ukraine, e-mail: omel85@ukr.net, ORCID - 0000-0001-6713-7026

Mykhailo Podryhalo, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering and Machine Repair Technology, Kharkiv National Automobile and Road University, e-mail: pmikhab@gmail.com, ORCID-0000-0002-1624-5219

DOI 10.36910/automash.v2i17.629

Kornikova K.M., Ilchenko A.V., Shumliakivskyi V.P.
*Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine***PECULIARITIES OF PUBLIC ELECTRIC TRANSPORT DEVELOPMENT IN SOME UKRAINIAN CITIES**

Analysis of the development of trolleybus transport in Ukrainian regional centers (Zhytomyr, Rivne, Ternopil, Chernihiv, the largest city in terms of population of Kyiv region - Bila Tserkva) was conducted. A comparison of these cities in terms of their area, population, population density in cities, the number of bus and trolleybus routes, the length of the catenary and the number of trolleybuses was carried out. The characteristic features of trolleybus routes of cities are analyzed and noted and the strategy of their further improvement and renewal of rolling stock is revealed. The peculiarity of the route network in Zhytomyr is noted, which consists in the presence of a ring route, which allows to connect the areas far from the city center.

It is shown that the peculiarity of the contact network of Rivne is its exit from the geographical boundaries of the city, which is justified by the large flow of passengers on working days of the week, who move to the Rivne plant of high-voltage equipment. It is noted that the AKSM 43303A double-decker bus and 12 Dnipro T203 trolleybuses with autonomous running were put into operation.

From the analysis of schemes, features of trolleybus routes, the existing fleet of trolleybuses and their service life in these cities, it is concluded that in the cities of Ukraine with these characteristics are dominated by trolleybus networks of radial location with the ability to combine suburbs. The best solution for choosing a trolleybus contact network in such cities is to choose radial routes from the center to the peripheral areas of the city in combination with circular routes connecting the main streets. The fleet of trolleybuses is outdated, they have been in operation for 20-40 years, so it needs more active renewal. The best in terms of age composition of trolleybus parks of the cities analyzed, as of 01.01.2020, is the park of Chernihiv, the worst - the city of Rivne.

Key words: urban passenger transportation, electric transport, trolleybus, route network, contact network, environment

INTRODUCTION

There are many cities in Ukraine that have very similar characteristics in population, area, geographic parameters, etc. There are many factors that influence the environmental conditions, especially in the settlements. It is known that one of the main negative impact factors on the environment is transport. The greatest amount of toxic substances in the air, in the ground, in wastewater and water can be observed in cities with a high concentration of transport.

One of the best ways to solve the problem of transport pollution in Ukrainian cities and other countries of the world is to eliminate transport with internal combustion engines (especially diesel engines) and the transition to electric transport. This also requires the development of alternative environmental-friendly transport.

ANALYSIS OF LITERATURE DATA AND FORMULATION OF THE PROBLEM

The authors [1] argue that to date there is no universal approach to assessing the efficiency of urban public transport, including electric transport. To assess the costs of public transport operation and the quality of passenger service, they propose a target function that makes it possible to estimate the costs of the carrier and passengers and find a balance between the interests of these parties in the transportation process. This function enables to improve methods of public transport organization in cities and to raise the quality of transport services for city population. The new approach is developed on the basis of the analysis of economic and social factors that affect the efficiency of urban public transport.

In [2], the authors considered the transport network of Odessa. Specific geographical location of the city made it possible to form criteria for estimation of planning schemes of the street and road network. Investigations and comparisons with the normative values of the street and road network density and Odessa non-straightness coefficient were made. In connection with the increase of the density of the traffic flows the problems of the urban passenger transport movement arise, which should be immediately solved, which testifies to the urgency of the given works.

Passenger transportation has a significant influence on the social, ecological and production spheres of the City functioning which determines the conditions of competition for the carriers of various forms of ownership. Among the list of problems of development and functioning of cities, it is especially important to develop a system to ensure an appropriate level of safety and quality of passenger transportation [3].

Taking into account all the interests of urban passenger transportation market participants is impossible without solving the following tasks: achieving a balance of interests of participants in the

transportation process (accessibility, environmental safety and comfort, the carrier profit, creating conditions for attracting investment to improve the economic efficiency of the passenger transportation process) [4].

Electric transport significantly reduces environmental risks in the process of urban passenger transportation. But its development in different cities of Ukraine requires analysis and search for areas of improvement.

It should also be noted that the study of this issue should be carried out in cities with similar infrastructure, geographical location of the population, similar rolling stock of electric transport, etc.

PURPOSE AND OBJECTIVES OF THE STUDY

The purpose of this study is to analyse the specifics of the trolleybus urban transport development process in some regional centers of Ukraine (Zhytomyr, Rivne, Ternopil, Chernihiv, Bila Tserkva) to identify areas for further improvement.

RESULTS OF THE STUDY

The regional centers (Zhytomyr, Rivne, Ternopil, Chernihiv) and the city of Bila Tserkva were chosen to analyze and compare the development processes and current state of trolleybus transport in Ukrainian cities. The city of Bila Tserkva has the largest population number in the Kyiv region. The authors consider abovementioned cities to be the most typical for Ukraine due to the following characteristics: radial location of the streets, with area of 60 to 80 sq. km, population from 209 to 287 thousand people, trolleybus transport availability (Table 1). In connection with this we can expect the same approach to the development of public electric transport in them, as well as the advantages and disadvantages in the further development of electric transport in analogous cities of Ukraine.

Table 1. Basic characteristics of the cities that are being portrayed as of 01.01.2020 [5-13]

City	Area, km ²	Population, num. of inhabitants	Population density, inhabitants /km ²	Number of bus routes	Number of trolleybus routes	Length, km	Number of trolleybuses
Zhytomyr	61	264 318	4 333	30	14	100,2	122
Rivne	64	246 003	3 844	26	9	60,8	88
Ternopil	72	223 462	3 104	33	10	86,3	61
Chernihiv	79	286 899	3 632	31	11	110,5	103
Bila Tserkva	67,84	209 238	3 084	18	7	44	25

The main streets of Zhytomyr are located radially in six directions, and in the center of the city they are in most cases perpendicular to one another (Fig.1). The location of the city is compact, which makes it possible to create both pendulum routes and loop routes. The trolleybus network has been developing here since the early 1960s. During those years, a lot of changes took place, routes were changed and lines were installed/dismantled. Contact network was located radially through the main streets of the city: Velyka Berdychivska St., Lekha Kachynskoho St., Chudnivska St., Peremohy St., Pokrovska St., Kyivska St., Vitruka St., Korolova St., Serhiia Paradzhanova St., Vokzalna St., Seletska St., Ivana Honty St., Kosmonavtiv St., Shevchenka St., Dmytra Dontsova St., Feshchenka-Chopivskoho St., Mikhaïla Hrushevskoho St., Mala Berdychivska St., Skhidna St., Nezalezhnosti Avenue. This location allows one to connect the outskirts of the city with the center. The routes are designed in such a way so that it is easy to reach the most distant areas of the city, which creates convenience for the use of this type of transport. For transportation of passengers from the stations to the Smolianka district and the city center until 30.08.21 there were ring routes №1A " Vokzal - Center - Smolianka - Vokzal " and №1B " Vokzal - Smolianka - Center - Vokzal ". Ring routes with opposite directions reduced travel time from one area of the city to another, as it was possible to travel only the necessary short part of the route. These routes connected the central busy parts of the city, places of arrival (departure) of passengers: bus station, railway station, shopping malls, food and clothing markets, etc. From 30.08.21 both routes were combined into one №1 " Vokzal - Center - Kosmonavtiv St ". Instead, they created circular routes with branching to the Korbutivka area to the hydropark similar to routes №2 and №3: №15 "Hydropark - Smolianka - Vokzal" and №15a "Hydropark – Vokzal - Smolianka ”

Recently the trolleybus fleet in Zhytomyr has been actively renewed, 50 new trolleybuses, AKSM-321, manufactured in Belarus, were purchased and put into operation with the support of the European Bank for Reconstruction and Development. As of 02.09.21, there are plans to build a trolleybus contact line on Heroiv Pozhezhnykh St. and respective quotation documents for the construction of trolleybus line on the Kiivske Highway to the industrial park and international airport are being prepared. This will allow a better connection between the remote district of “Malovanka” and the adjacent villages Hlybochytisia using environmentally friendly transport within the infrastructure of the city.

Before the active introduction and development of trolleybus transport in the city sufficient attention was given to the city streetcar. There were 5 lines in the city: Berdychivka, Kyivska, Chudnivska, Vilska and Moskovska. As of today, there is only one line "Tsenter-Lonokombinat" left. Such changes are explained by the more active development of trolleybus transport in the city, which gradually overtook the streetcar transport.

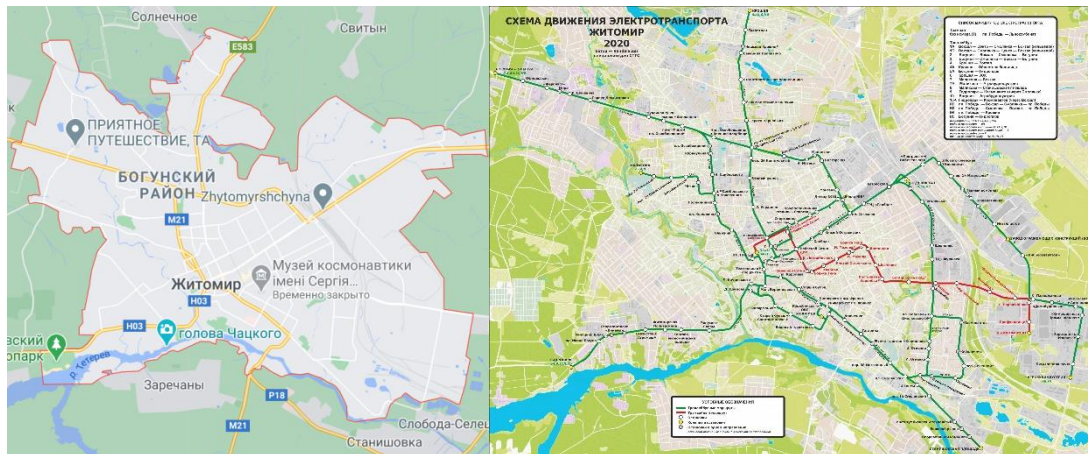


Fig.1. Map of the city Zhytomyr and the scheme of its trolleybus routes [14, 15]

In the city of Rivne since 1974 there has been a steady development of trolleybuses. Since 1974 there has been a constant growth of trolleybus transportation, the number of lines and trolleybus rolling stock is perpetually increasing. The city has also adopted a radial layout of trolleybus routes on the streets, trolleybuses run in seven directions. But analysis of the city map and scheme of trolleybus routes shows that the main streets are not occupied: Viacheslava Chornovola St., Rivnenska St., Kyivska St. (to the zoo), Kniazia Volodymyra St., Dubenska St. (to the airport), Romana Shukhevycha St. (Fig.2.). Contact network is located on the central streets Soborna, Kyivska and extended on the streets Danyla Halytskoho St., Videnska St., Akademika Hrushevskoho St., Lonokombinativska St., Henerala Bezruchka St., Haharina St., Kniahyni Olhy St., Stepana Bandery St., Nebesnoi Sotni St., Dubenska St., Kotsiubynskoho St., Ostrozkoho St., Makarova St. A special feature of the contact network of Rivne is that it goes beyond the geographical boundaries of the city. On the national motor road of state importance H22 it connects the city to the Rivne plant high-voltage equipment.

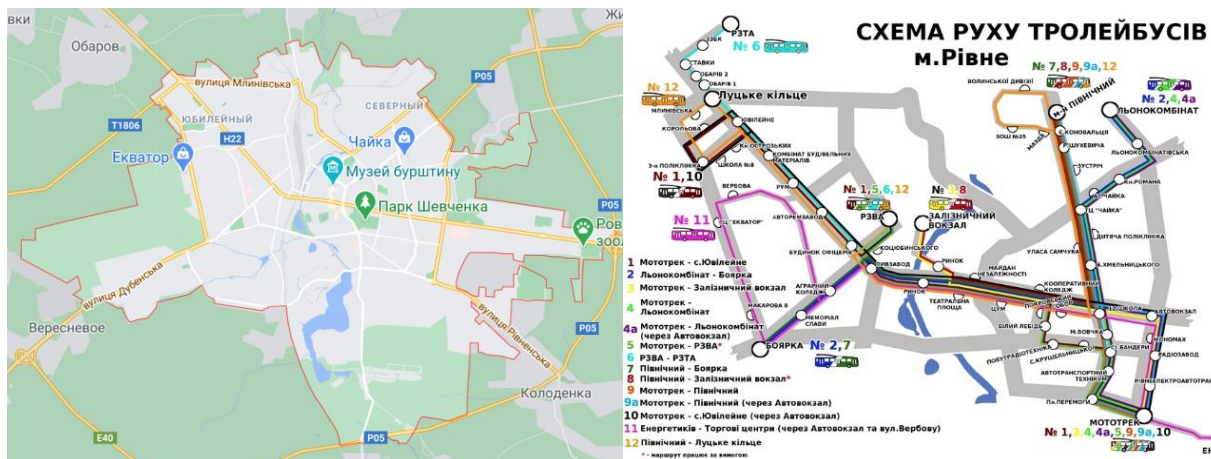


Fig.2. Map of the city Rivne and the scheme of its trolleybus routes [14, 16]

This is justified by the high volume of passengers on weekdays. There is no streetcar service in the city, but other types of electric transport are developing: in 2016, the AKSM 43303A duobus was purchased. It has autonomous drive, which is ensured by a diesel generator and an asynchronous alternating current motor. Also during the 2017-2018 years trolleybuses Dnipro T203 in number of 12 units (at 01.01.20.) were launched. In the future, there are plans to buy 3-4 new trolleybuses every year to continually renew the fleet. This year, they did not allocate funds for new trolleybuses because they want to analyze their transport network.

Ternopil trolleybus service was launched in 1975. The city has its own geographical peculiarities. A pond on the Seret River forms the districts of “Kutkivtsi” and “Proniatyn” (on the western side of the city) which are not served by trolleybuses today (Fig.3). A separate district “Klenovyi hai” is located on the east of the city on Mykulynetska St., which is served by trolleybuses. The trolleybus network of the city was located on the main streets: Mykulynetska St., Berezhanska St., Hetmana Mazepy St., Ruska St., Stepana Bandery Avenue, Zamkova St., Krushelnytska St., Protasevycha St., 15-ho kvitnia St., Brodivska St., Kniazia Ostrozkooho St., Anatoliia Zhyvova St., Luchakivskoho St., Maksyma Kryvonosa St., Lesi Ukrainky St., Slivenska St., Bohdana Khmelnytskoho St., Oleksandra Dovzhenka St., Romana Kupchynskoho St., Kyivska St., Henerala Myrona Tarnavskoho St., Vasylia Symonenka St., Volodymyra Velykoho St., Lesia Kurbasa St., Tekstylna St., Zbarazka St., Zluky Avenue.

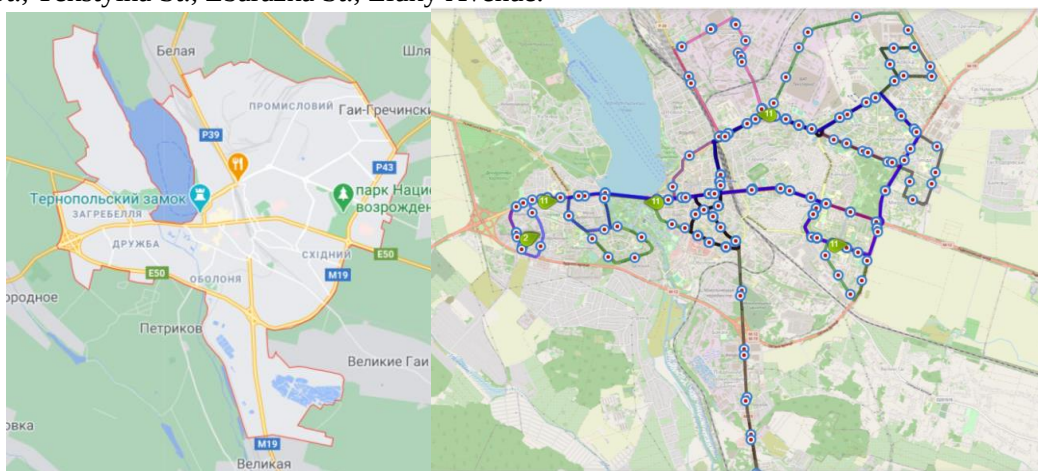


Fig.3. Map of the city Ternopil and the scheme of its trolleybus routes [14, 17, 18]

Ternopil trolleybus routes are well developed, and the trolleybus network connects to all districts of the city. At the beginning of the 2000s there were 16 trolleybus routes in the city, but as of January 01, 2020 their number decreased to 10. At the same time, the trolleybus network expanded in a radial direction focusing on neighborhoods located on the outskirts of the city. For the renewal of the rolling stock the documentation for the procurement of 30 new trolleybuses is being prepared. Also in 2020, school trolleybuses were launched on certain routes of the city.

The city of Chernihiv has nine main trolleybus routes (Fig.4). The city started trolleybus traffic in 1963 and for a long time trolleybuses have been the main type of transport.

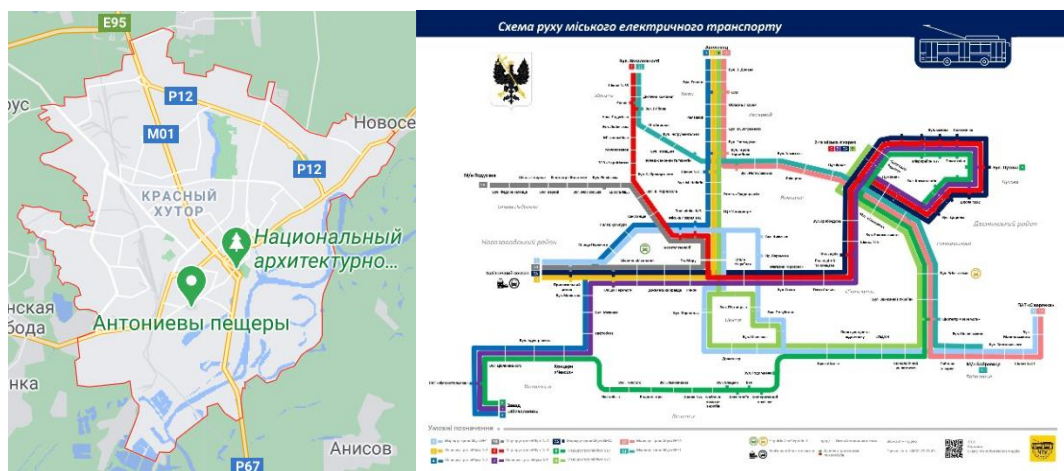


Fig.4. Map of the city Chernihiv and the scheme of its trolleybus routes [14, 19]

Despite financially insecure times, today the trolleybus network is expanding radially from the center of the city within these main streets: Ivana Mazepy St., Shevchenka St., Hetmana Polubotka St., 77-yi Hvardiiskoi Dyvizii St., Rokossovskoho St., Malynovskoho St., Tolstoho St., Liubetska St., Haharina St., Heroiv Chornobylia St., 1-ho Travnia St., Oleksandra Molodchoho St., Peremohy Avenue, Myru Avenue, etc. The municipality covers most of the city, but not the main street on the east side – Myru Avenue (from the junction with Peremohy Avenue to the Desna River on the west).

The fleet is constantly updated. Last year 5 new trolleybuses manufactured in Chernihiv were purchased, this year 4 new trolleybuses "Etalon-T121" (Barvinok) were purchased. In August 2021, a draft of a new transport model of the city was proposed to the local council, which provided for the complete abandonment of small-capacity buses and an increase in the number of trolleybuses.

Development of trolleybus transport in Bila Tserkva began in 1978 with the construction of the first trolleybus lines and depot. The city is geographically distributed in the east-west and east-north directions, with the main streets extending to the ends of the city (Fig.5). Analyzing the network of trolleybus routes, it should be noted that it is poorly developed. It, unlike the previous ones, has one main line with several extensions that pass through the main streets: Levanevskoho St., Hryboiedova St., Zaiarska St., Tarashchanska St., Selianska St., Druzhby St., Kniazia Volodymyra Avenue, Oleksandriyskyi Boulevard. It should be noted that the existing trolleybus routes are entirely replaced with route taxis. There are also important shortcomings: the contact network does not allow the trolleybuses to run near the bus and train stations, the renewal of the trolleybus fleet is in progress. The trolleybus system was planned, but due to certain circumstances it is still under revision.

From the analysis of trolleybus schemes, peculiarities of trolleybus routes, available trolleybus fleet and their operating time in the mentioned cities (Tables 2,3) we can conclude that trolleybus networks with the characteristics above prevail in Ukrainian cities with the possibility to connect the outskirts of the cities. The best solution for selecting trolleybus contact lines in these cities is to choose radial routes from the center to the peripheral areas of the city in conjunction with loop routes linking the main streets together, leading to the peripheral districts with minimal traffic in the central part of the city.

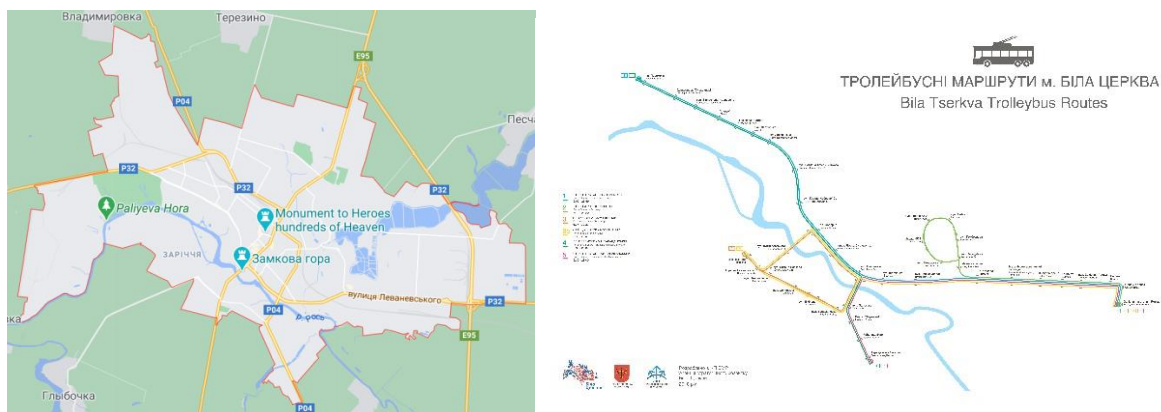


Fig.5. Map of the city Bila Tserkva and the scheme of its trolleybus routes [14,20]

The trolleybus fleet is outdated and has been in operation mainly for 20-40 years (Table 3), which requires more active renewal. The top trolleybus fleet in the cities surveyed as of 01.01.2020 was in the city of Chernihiv, while the highest number of trolleybuses was in the city of Rivne.

Table 2. Number of passenger trolleybuses by model (as of 01.01.20) [13]

№	Trolleybus brand, model	Zhytomyr	Rivne	Ternopil	Chernihiv	Bila Tserkva
1.	ЗиУ-9	74	-	-	44	9
2.	ПМЗ-Т1	5	-	1	-	-
3.	ПМЗ-Т2	5	2	-	25	3
4.	Škoda 9Tr	-	11	1	-	-
5.	ЛАЗ-52522	-	-	1	-	1
6.	Škoda 14Tr	24	49	24	-	-
7.	Škoda 15Tr	8	-	31	-	-
8.	МАЗЕТОН-103Т	-	-	-	-	6
9.	ЛАЗЕ-183Д1	6	1	3	2	-

10.	Дніпро Е-187	-	-	-	-	1
11.	АКСМ-321	-	-	-	3	-
12.	Дніпро Т203	-	12	-	-	-
13.	Дніпро Т103	-	3	-	-	1
14.	Еталон Т12110	-	-	-	29	-
15.	АКСМ 43303А	-	1	-	-	-
16.	Ikarus 280.94	-	-	-	-	4
17.	JELCZ (PR110E / PR110T / 120MT)	-	9	-	-	-
Total		122	88	61	103	25

Table 3. Number of trolleybuses put into service over the years in the cities analyzed [21]

City	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	2010-2019
Zhytomyr	-	51	57	15	-
Rivne	2	39	28	4	16
Ternopil	-	21	35	5	-
Chernihiv	-	22	28	26	32
Bila Tserkva	-	7	10	2	7
Total	2	140	138	52	55

DISCUSSION OF THT RESULTS OF THE STUDY

As a result of the research it is easy to establish that some regional centers of Ukraine in terms of organization of passenger trolleybus transportation have a lot in common. The trolleybus electric contact network of such cities was mainly formed in the 80s of the last century and took into account at that time the demand of the population for transportation between the areas of population and labor application. This was formed objectively and historically influenced the formation of networks of this type of transport. But since then there have been radical changes regarding the location of industrial, commercial enterprises, and new residential neighborhoods have been built. Obviously, this fact should be taken into account in the future development of this type of transport, in terms of the fact that not all regional centers can be geographically, by population size, development of trolleybus networks, etc. united into a single group. Important criteria for the development of joint approaches to the further development of trolleybus networks for a group of cities should be considered: geographical location of transport areas, population size, city infrastructure, the level of development of trolleybus networks, etc.

CONCLUSION

Further development of the trolleybus network in the cities requires a comprehensive solution of their energy supply problems. In the future it is necessary not only to update the fleet of trolleybuses in all the cities analyzed, but also to improve the routes by increasing their capacity further from the center in order to connect the most distant adjacent areas or near-by settlements to the city. This can be solved through the introduction of the existing trolleybus fleets of self-propelled electric transport.

SOURCES

1. Скірковський С. Дослідження факторів, що впливають на ефективність роботи міського громадського транспорту / С. Скірковський, В. Сеюкевич, В. Карпенко, С. Свічинський // Харків: РВВ ХНАДУ, №48, 2021 – с. 45-53.
2. Мироненко, С. В. Дослідження транспортної структури міста Одеси / С. В. Мироненко, А. С. Венгер // Автомобільний транспорт : сб. науч. тр. / М-во образования и науки Украины, ХНАДУ ; [редкол.: Туренко А. Н. (гл. ред.) и др.]. – Харьков, 2017. – Вып. 41. – С. 105–109.
3. Якунина Н. В. Методология повышения качества перевозок пассажиров общественным автомобильным транспортом / Н. В. Якунина. Дисс. на соиск. уч. степени докт. техн. наук.: 05.22.10. –Оренбург: Оренбургский государственный университет. – 2014. – 354 с.
4. Павлюк А. В. Ідентифікація методів державного регулювання ринку послуг автомобільного транспорту в регіоні / А. В. Павлюк // Вісник НАДУ, – 2015, №4. – С. 78 - 86.
5. Житомир. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Дата оновлення: 11.03.2021. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Житомир> (дата звернення 01.09.2021).
6. Рівне. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Дата оновлення: 23.03.2021. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Рівне> (дата звернення 01.09.2021).

7. Тернопіль. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Дата оновлення: 22.03.2021. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Тернопіль> (дата звернення 01.09.2021).
8. Чернігів. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Дата оновлення: 29.03.2021. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Чернігів> (дата звернення 01.09.2021).
9. Біла Церква. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Дата оновлення: 29.03.2021. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Біла_Церква (дата звернення 01.09.2021).
10. Чисельність наявного населення України на 1 січня 2020 року. Статистичний збірник [Електронний ресурс]. Київ : Державна служба статистики України, 2020. 82 с. Назва з тит. екрану. URL: http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ_new1/2020/zb_chuselnist%20-2019.pdf (дата звернення 01.09.2021).
11. Вибір вашого міста. Маршрути міста. Пошук маршруту. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – URL: <https://city.dozor.tech/> (дата звернення 01.09.2021).
12. Об'єкти міського електротранспорту України станом на 01.01.2020. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – URL: www.korpmet.org.ua/?page_id=67 (дата звернення 01.09.2021).
13. Інвентарний парк тролейбусів в містах України станом на 01.01.2020 р. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. URL: www.korpmet.org.ua/?page_id=67 (дата звернення 01.09.2021).
14. Карти Google. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – URL: <https://www.google.com.ua/maps/> (дата звернення 01.09.2021).
15. Житомир – Схеми трамвайного (с 1975 г.) и троллейбусных маршрутов. Схема движения электротранспорта (с 27 февраля 2020). [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Дата оновлення: 27.02.2020. URL: <https://transphoto.org/photo/1336776/?gid=1227> (дата звернення 03.09.2021).
16. Схема руху тролейбусів м. Рівне. КП «Рівнеелектроавтотранс». Офіційний сайт. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – URL: <https://troleybusrivne.pp.ua/marshruty> (дата звернення 03.09.2021).
17. Транспорт Тернополя. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. URL: <http://detransport.com.ua/> (дата звернення 02.09.2021).
18. Маршрути/Розклади руху. КП «Тернопільелектротранс» офіційний сайт. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – URL: <http://elektrotrans.te.ua/routes/> (дата звернення 03.09.2021).
19. Схема руху міського електричного транспорту. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. URL: <https://chernigiv-rada.gov.ua/storage/files/11/18/18/13/500563510b6077b4a53d9c8839aee0c3.pdf> (дата звернення 03.09.2021).
20. Схема тролейбусних маршрутів. Білоцерківська міська рада. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – URL: https://new.bc-rada.gov.ua/zhyteliam/transport/skhema_troleibusnykh_marshrutiv.html (дата звернення 03.09.2021).
21. Вік тролейбусів в містах України станом на 01.01.2020 р. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – URL: www.korpmet.org.ua/?page_id=67 (дата звернення 03.09.2021).

REFERENCES

1. Skirkovs'kij S. Doslidzhennya faktoriv, shcho vplivayut' na efektyvnist' roboti mis'kogo gromads'kogo transportu / S. Skirkovs'kij, V. Seyukevich, V. Karpenko, S. Svichins'kij // Harkiv: RVV HNADU, №48, 2021 – s. 45-53.
2. Mironenko, S. V. Doslidzhennya transportnoї strukturi mista Odesi / S. V. Mironenko, A. S. Venger // Avtomobil'nyj transport : sb. nauch. tr. / M-vo obrazovaniya i nauki Ukrainy, HNADU ; [redkol.: Turenko A. N. (gl. red.) i dr.]. – Har'kov, 2017. – Vyp. 41. – S. 105–109.
3. YAkunina N. V. Metodologiya povysheniya kachestva perevozok passazhirov obshchestvennym avtomobil'nyim transportom / N. V. YAkunina. Diss. na soisk. uch. stepeni dokt. tekhn. nauk.: 05.22.10. – Orenburg: Orenburgskij gosudarstvennyj universitet. – 2014. – 354 s.
4. Pavlyuk A. V. Identifikaciya metodiv derzhavnogo reguluvannya rinku poslug avtomobil'nogo transportu v regioni / A. V. Pavlyuk // Visnik NADU, – 2015, No4. – S. 78 - 86.
5. ZHitomir. [Elektronnij resurs] : [Veb-sajt]. – Elektronni dani. – Data onovlennya: 11.03.2021. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/ZHitomir> (data zvernennya 01.09.2021).
6. Rivne. [Elektronnij resurs] : [Veb-sajt]. – Elektronni dani. – Data onovlennya: 23.03.2021. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Rivne> (data zvernennya 01.09.2021).

7. Ternopil'. [Elektronnij resurs] : [Veb-sajt]. – Elektronni dani. – Data onovlennya: 22.03.2021. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Ternopil> (data zvernennya 01.09.2021).
8. CHernigiv. [Elektronnij resurs] : [Veb-sajt]. – Elektronni dani. – Data onovlennya: 29.03.2021. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/CHernigiv> (data zvernennya 01.09.2021).
9. Bila Cerkva. [Elektronnij resurs] : [Veb-sajt]. – Elektronni dani. – Data onovlennya: 29.03.2021. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Bila_Cerkva (data zvernennya 01.09.2021).
10. CHisel'nist' nayavnogo naselennya Ukraïni na 1 sichnya 2020 roku. Statistichnij zbirk [Elektronnij resurs]. Kiïv : Derzhavna sluzhba statistiki Ukraïni, 2020. 82 s. Nazva z tit. ekranu. URL: http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ_new1/2020/zb_chuselnist%20-2019.pdf (data zvernennya 01.09.2021).
11. Vibir vashogo mista. Marshruti mista. Poshuk marshrutu. [Elektronnij resurs] : [Veb-sajt]. – Elektronni dani. – URL: <https://city.dozor.tech/> (data zvernennya 01.09.2021).
12. Ob'ekti mis'kogo elektrotransportu Ukraïni stanom na 01.01.2020. [Elektronnij resurs] : [Veb-sajt]. – Elektronni dani. – URL: www.korpmet.org.ua/?page_id=67 (data zvernennya 01.09.2021).
13. Inventarnij park trolejbusiv v mistah Ukraïni stanom na 01.01.2020 r. [Elektronnij resurs] : [Veb-sajt]. URL: www.korpmet.org.ua/?page_id=67 (data zvernennya 01.09.2021).
14. Karti Google. [Elektronnij resurs] : [Veb-sajt]. – Elektronni dani. – URL: <https://www.google.com.ua/maps/> (data zvernennya 01.09.2021).
15. ZHitomir – Skhemy tramvajnogo (s 1975 g.) i trolejbusnyh marshrutov. Skhema dvizheniya elektrotransporta (s 27 fevralya 2020). [Elektronnij resurs] : [Veb-sajt]. – Elektronni dani. – Data onovlennya: 27.02.2020. URL: <https://transphoto.org/photo/1336776/?gid=1227> (data zvernennya 03.09.2021).
16. Skhema ruhu trolejbusiv m. Rivne. KP «Rivneelektroavtotrans». Oficijnij sayt. [Elektronnij resurs] : [Veb-sajt]. – Elektronni dani. – URL: <https://troleybusrivne.pp.ua/marshruty> (data zvernennya 03.09.2021).
17. Transport Ternopolya. [Elektronnij resurs] : [Veb-sajt]. URL: <http://detransport.com.ua/> (data zvernennya 02.09.2021).
18. Marshruti/Rozkladi ruhu. KP «Ternopil'elektrotrans» oficijnij sayt. [Elektronnij resurs] : [Veb-sajt]. – Elektronni dani. – URL: <http://elektrotrans.te.ua/routes/> (data zvernennya 03.09.2021).
19. Skhema ruhu mis'kogo elektrichnogo transportu. [Elektronnij resurs] : [Veb-sajt]. URL: <https://chernigiv-rada.gov.ua/storage/files/11/18/18/13/500563510b6077b4a53d9c8839aae0c3.pdf> (data zvernennya 03.09.2021).
20. Skhema trolejbusnih marshrutiv. Bilocerktiv'ska mis'ka rada. [Elektronnij resurs] : [Veb-sajt]. – Elektronni dani. – URL: https://new.bc-rada.gov.ua/zhyteliam/transport/skhema_troleibusnykh_marshrutiv.html (data zvernennya 03.09.2021).
21. Vik trolejbusiv v mistah Ukraïni stanom na 01.01.2020 r. [Elektronnij resurs] : [Veb-sajt]. – Elektronni dani. – URL: www.korpmet.org.ua/?page_id=67 (data zvernennya 03.09.2021).

Корнікова К., Ільченко А., Шумляківський В. Особливості розвитку громадського електротранспорту в деяких містах України

Проведено аналіз розвитку тролейбусного транспорту обласних центрів України (м. Житомир, м. Рівне, м. Тернопіль, м. Чернігів) та найбільшого міста за кількістю населення Київської області – м. Біла Церква. Зроблено порівняння вказаних міст щодо їх площі, кількості населення, щільності розташування населення в містах, кількості автобусних та тролейбусних маршрутів, довжини контактної мережі та кількості тролейбусів. Проаналізовано та відзначено характерні особливості тролейбусних маршрутів міст та розкрито стратегію їх подальшого удосконалення та оновлення рухомого складу. Відзначено особливості маршрутної мережі в м. Житомир, яка полягає в наявності кільцевого маршруту, що дозволяє зв'язати віддалені від центра міста райони між собою.

Показано, що особливістю контактної мережі м. Рівне є її вихід за географічні межі міста, що виправдано великим потоком пасажирів в робочі дні тижня, які рухаються до Рівненського заводу високовольтної апаратури. Зазначено, що в експлуатацію введено дуобус АКСМ 43303А та 12 тролейбусів Дніпро Т203 з автономним ходом.

З аналізу схем, особливостей тролейбусних маршрутів, наявного парку тролейбусів та їх термінів експлуатації у вказаних містах зроблено висновок, що в містах України з зазначеними характеристиками переважають тролейбусні мережі радіального розташування з можливістю об'єднання околиць міст. Кращим рішенням вибору тролейбусної контактної мережі в таких містах є

вибір радіальних маршрутів від центру до периферійних районів міста в поєднанні з кільцевими маршрутами з'єднання між собою головних вулиць. Парк тролейбусів застарілий, в основному вони експлуатуються вже 20-40 років, тому потребує більш активного оновлення. Найкращим за віковим складом парків тролейбусів міст, що проаналізовано, станом на 01.01.2020 року є парк м. Чернігів, найгіршим - м. Рівне.

Ключові слова: міські пасажироперевезення, електротранспорт, тролейбус, маршрутна мережа, контактна мережа, навролишне середовище.

KORNIKOVA Катерина Миколаївна, асистент кафедри «Автомобілі і транспортні технології», Державний університет «Житомирська політехніка», e-mail: kornikova7071@gmail.com.

ІЛЬЧЕНКО Андрій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автомобілі і транспортні технології», Державний університет «Житомирська політехніка», e-mail: avi_77@ukr.net.

ШУМЛЯКІВСЬКИЙ Володимир Петрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автомобілі і транспортні технології», Державний університет «Житомирська політехніка», e-mail: shumliakivskyiv@ztu.edu.ua.

Kateryna KORNIKOVA, assistant of the Department of Automobiles and Transport Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, e-mail: kornikova7071@gmail.com.

Andriy ILCHENKO, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, e-mail: avi_77@ukr.net.

Volodymyr SHUMLIKIVSKYI, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, e-mail: shumliakivskyiv@ztu.edu.ua.

DOI 10.36910/automash.v2i17.630

Slavinskas S., Mackevičius T., Pauliukas A
Vytautas Magnus university, Kaunas-Academy, Lithuania

INVESTIGATION OF THE LUBRICITY OF DIESEL FUEL AND AVIATION FUEL ON A HIGH-PRESSURE FUEL PUMP

This paper presents comparative experimental study's results of diesel fuel and aviation fuel effect on operational properties of a high-pressure fuel pump of a common rail injection system. The two identical fuel injection systems mounted on a test bed of the fuel injection pumps were prepared for the experimental durability tests. The lubricity properties of diesel fuel and aviation fuel (Jet-A1) were studied using the High-Frequency Reciprocating Rig (HFRR) method. The values of wear scar diameter (WSD) obtained with Jet-A1 fuels were compared to the respective values measured with the reference diesel fuel. The microscopic photographs of the wear scar diameters obtained on above mentioned fuels are presented in the paper. The test results showed that long-term (about 300 hours) using aviation fuels produced a negative effect on the durability of the high-pressure fuel pump. Due to the wear of plunger-barrel units the decrease in the fuel delivery rate occurred of about 6.7 % operating with aviation fuel. The average friction coefficients of Jet-A1 fuels were higher than that of the normal diesel fuel.

Keywords: diesel fuel, aviation Jet-A1 fuel, lubricity, plunger-barrel units, wear scar diameter.

INTRODUCTION

Diesel fuel is currently the most popular types among others motor fuels. Consumption of the diesel fuel has been growing steadily over the last two decades. The Jet fuel is a special-purpose blended fuel extracted during the distillation of crude oil. Kerosene distilled from mineral oil or shale oil is the main component in many Jet fuels. The fuel Jet-A1 is actually a kerosene type turbine aviation fuel used for powering of turbine engines in ground-aerial machines [1].

In 1988, the North Atlantic Treaty Organization (NATO) countries decided to simplify the delivery of petroleum products to the combat zone and improve the interoperability of aircraft and land equipment with JP-8 (F-34) military kerosene. In order to put this decision into practice, the NATO Pipeline Committee (NPC) adopted the Single Fuel Policy (SFP) in 2004. The US legislation on the "One Fuel Delivery Policy" stipulates that US military ground vehicles used must be able to work with aviation fuel (JP-8) [11]. JP-8 petroleum-based fuel is very similar in specification to the commercially available Jet A-1 fuel. Jet A1 fuel is a light distillate of complex hydrocarbons such as 50-65% paraffin's, 10-20% aromatics and 20-30% naphthenic [2]. Jet (JP-8) fuel is a military kerosene turbine fuel made from civilian (Jet A-1) fuel and widely used by the United States Air Force and Europe [3]. Aviation turbine fuel is extracted almost exclusively from the kerosene fraction of crude oil, the distillation points of which are between the gasoline fraction and the diesel fraction.

Specific properties of the fuel such as density, viscosity, calorific value, cetane number, freezing point, etc. change when using alternative fuels. The physical properties related features affect the fuel delivery and injection characteristics and thus the quality of the combustible mixture, which in turn affects the performance and the ecological parameters of the diesel engine. The cetane number of a fuel is one of the most important factors affecting the autoignition quality in diesel engines. It was found that the JP-8 and ULSD with similar CN have highly comparable combustion characteristics in a DI compression ignition engine and CN is the paramount characteristic in comparing these fuels. Authors investigated the combustion and ignition characteristics of varying blend ratios of JP-8 and a coal to liquid Fischer-Tropsch Jet fuel. The specific challenges facing the JP-8 fuel is the lack of specified combustion affecting properties including ignition quality, high temperature viscosity, and density. This parameter affecting combustion was explored by evaluating a low ignition grade synthesized jet fuel mixed in volumetric proportions of 25% with JP-8 to effectively cover a cetane number range of 25 to 45 in an engine. Authors used single cylinder diesel engine operating at various light, medium and high load operating conditions. The low ignition quality fuel was a Fischer-Tropsch Synthesized, coal-to-liquid (CTL) paraffinic kerosene (FT-SPK) which exhibited low temperature chemistry behavior at light load operating conditions including unstable combustion at lower engine speeds. The experiments were conducted to explore the impact of the cylinder charge density on the ignition delay of the CTL FT-SPK covering average charge densities of 19, 25 and 30 kg/m³ and a temperature range of 750 K to 950 K. Such experiments revealed an excessive ignition delay peninsula with an average ignition pressure of less than 55 bar and an average ignition temperature of less than 800 K, which represented unstable operating at lower loads. Blending CTL FT-SPK with JP-8 increased activity at

low temperatures and ensured stable combustion at lower, light-load engine speeds. In particular, a mixing ratio of 50-50 reduced any ignition problems of CTL FT-SPK under the test conditions specified in this experiment, and a mixing ratio of 25-75 (JP-8 / CTL FT-SPK) eliminated most of these problem concerns for ignition under full, medium and certain low load operating conditions [11].

Authors conducted test with kerosene on High Frequency Reciprocating Rig. They found that it causes unacceptable wear due to the poor lubricity of aviation fuel. Authors carried out investigation with ten mono-carboxylic acid esters to improve the lubricity of kerosene. Tribological results showed that all esters tested, were suitable for increasing the kerosene lubricity to a satisfactory level. Among the esters of the same molecular type, those having the ester group around the middle of the molecule appear to have better lubrication performance [3].

Special experiments were conducted on 3.8 kW Petter AV1-LAB diesel engine with neat JP-5 fuel and its various mixtures with animal fat derived biodiesel and diesel fuel [4]. Using of JP-5 fuel led to the large wear scar diameter, however adding of biodiesel to JP-5 fuel, lubricity properties of which are excellent, improved situation. The compatibility tests showed that biodiesel with short chain esters would be better alternative for mixing it with Jet A-1 fuel rather than long chain polyunsaturates [5]. It should be noted that biodiesel provides excellent lubricity to the fuel injection system that can reduce excessive wear of precision nozzle-needle-valve parts, which may cause a long-term use of a lighter aviation turbine fuel. In addition, a new important factor comes into action since mixing of RME with jet fuel provides fuel-oxygen, which helps to complete combustion of the fuel-rich mixture.

The experimental test results have demonstrated the potential operation of the diesel engine with aviation turbine-type Jet A-1 fuel without significant changes in engine performance and efficiency [6; 7]. However, the long-term impact on the fuel injection system components of Jet A-1 fuel having lower density, viscosity and poorer lubricity properties compared to conventional diesel fuel still remains unexplored to a greater extent and thus requires specific experimental tests.

MATERIALS AND METHODS OF THE RESEARCH

Diesel fuel (DF) and aviation fuel (Jet-A1) have been used for the experimental tests. The main properties of the tested fuels are listed in Table 1

Table 1. Properties of the tested aviation fuel (Jet-A1) and diesel fuel (DF)

Property parameters	JP-A1	DF
Density at 15°C, kg/m ³	797.2	830.5
Kinematic viscosity at 40 °C, mm ² /s	4.0	2.07
Cetane number	42,3	51.5
Oxygen content, max wt. %	–	0.4
Carbon-to-hydrogen ratio (C/H)	6.13	6.9
Net heating value, MJ/kg	43.30	42.95
Stoichiometric air/fuel ratio, kg/kg	14.84	14.45

The common rail injection system has been used for the experimental tests. The principal arrangement of the test stand, equipment and apparatus are shown in in another research paper [10].

The two Bosch-type high-pressure fuel pumps were connected by the same belt driven in the same mode at speed of 1000 rpm. The electric delivery pump (2) mounted in the fuel tank (1) supplied the fuel through the fine-porous fuel filter (3) to the high-pressure fuel pump (4). The two Bosch-type CR/CP1S3/R65/10 high-pressure fuel pumps were connected by the same belt driven in the same mode. Moreover, both fuel pumps maintained the changeable pre-set pressure values of 20, 40, 70, 90, and the 110 MPa depending on the on-going time of every 30 minutes. Powered by an electrical motor, the high-pressure fuel pumps operated continuously to build up the needed injection pressure, which was retained in the volume of the fuel accumulator (7). The pressure was adjusted via a pressure regulator (5) connected to the control unit (8). The sensor installed in the pressure accumulator transferred the resulting signals to the control unit to evaluate the present fuel pressure.

Diesel fuel (DD) and aviation fuel (JET A1) have been used for the experimental research. During the reliability tests of the fuel pumps the fuel-flow was cooled in order its temperature do not exceed the 35 °C. The changes in the fuel delivery rates determined for the various pressure values built up by both fuel pumps at the very beginning (0 hours) of the experiments are illustrated by the columns in Fig. 1a.

Analysis of lubricating properties of the fuel was performed on the basis of the wear data obtained by using High Frequency Reciprocating Rig (HFFR) apparatus. Lubricity of the fuel was determined on the basis of the wear traces formed on the swinging ball due to the contact with the stationary plate immersed

into the tested fuel. The testing procedures were performed according to the international standard ISO 12156 requirements [8;9]. During the lubricity tests the fuel temperature was maintained to be of a constant value of about 30° C. The intensity of the balls' surface wear images was evaluated by using Nikon Elipse MA100 optical microscope.

RESULTS AND DISCUSSION

The changes in the fuel delivery rates determined for the various pressure values built up by both fuel pumps at the beginning (0 hours) of the experiments are illustrated by the columns in Fig. 1.

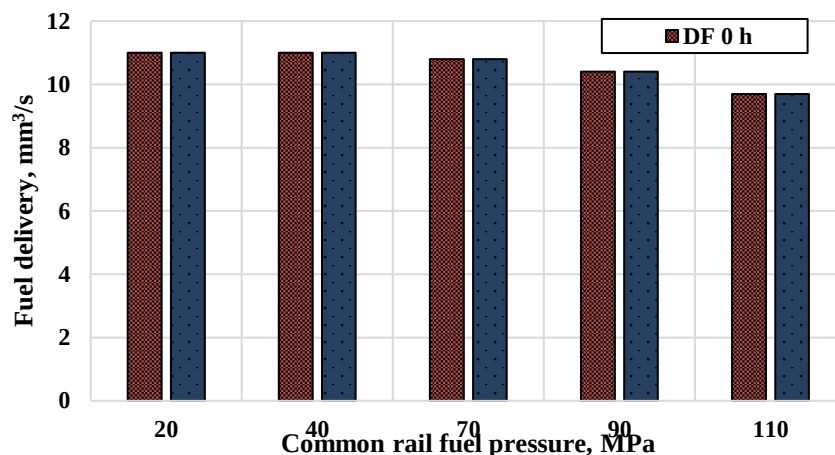


Fig. 1. Dependency of the fuel delivery rate on the fuel injection pressure built up by the fuel pump at the beginning of the reliability tests

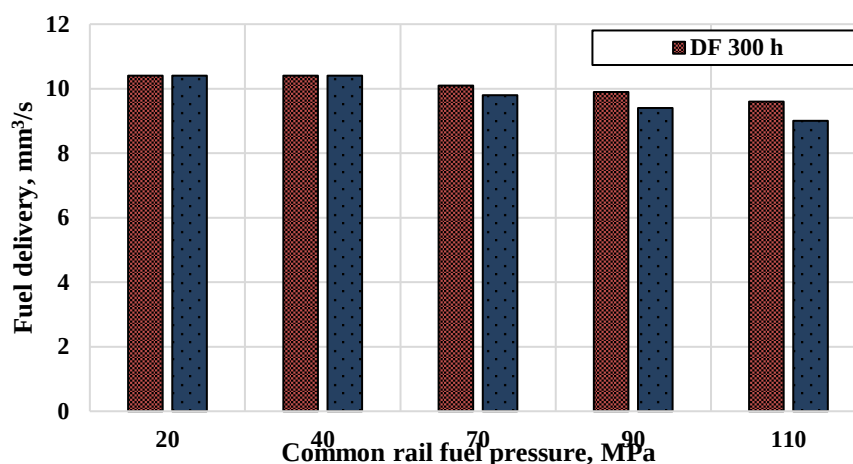


Fig. 2. Dependency of the fuel delivery rate on the fuel injection pressure built up by the fuel pump at the end of the reliability tests

The primary purpose of the fuel-injection system is to supply the fuel to the cylinder of a diesel engine. The fuel-injection pump builds up the fuel pressure needed for injection and then at the required rate delivers the fuel to the engine. The plunger-barrel unit is one of the most overloaded components of the fuel system. It can be assumed that this element is one of the most friction-sensitive units operating in the heaviest friction conditions in the diesel engine and therefore it can be chosen to evaluate the effects done by the relatively worse lubricating properties of Jet A-1 fuel.

The columns in Fig. 2 illustrate the changing trends in fuel delivery rate determined for various pressure values built up by the both fuel pumps at the end (after 300 h) of the experimental tests. Analysis of the obtained results shows that the resulting decrease in the fuel delivery rate was about 3.1 % higher with Jet A-1 fuel at the injection pressure of 70 MPa, while the relative decrease was equal to 6.7 % at a higher pressure of 110 MPa. From the observation of the test results, it can be assumed that the wear intensity of the plunger-barrel units was significantly greater when using Jet A-1 fuel that is especially a case at the injection pressure of 110 MPa.

The columns in Fig.3 show how the average wear scar diameter (WSD) of the test ball changed when using the normal diesel fuel and aviation Jet A-1 fuel.

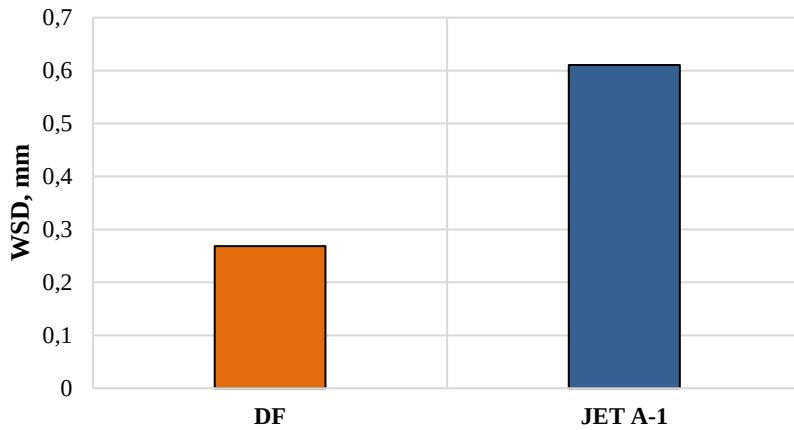


Fig. 3. The dependency of the average wear scar caused by the diesel fuel, neat (100%) aviation Jet A-1 fuel

The test results demonstrate that according to maximum decrease in the diameter of 0.6 mm the biggest scar wear was obtained when using neat (100 %) aviation Jet A-1 fuel. The minimum wear scar diameter of 0.28 mm was recorded with the normal diesel fuel.

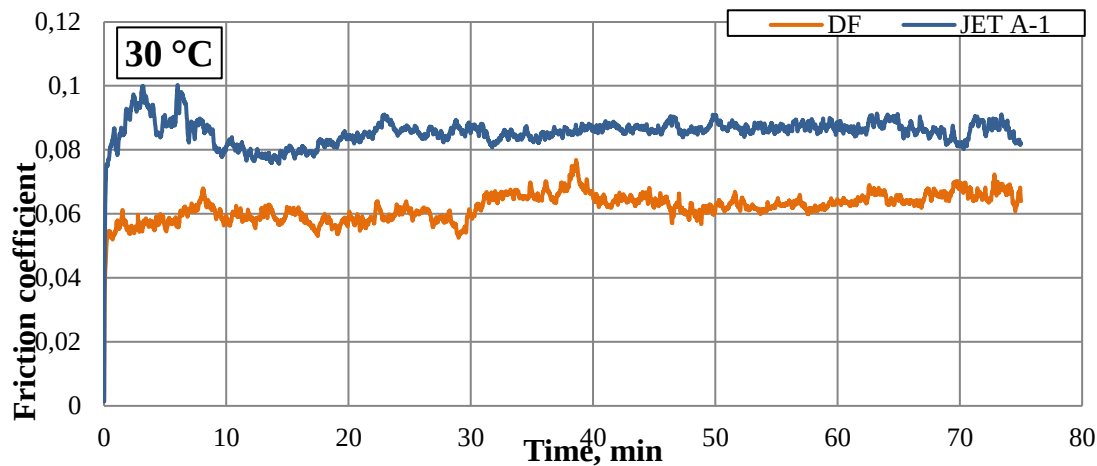


Fig. 4. Variation of friction coefficient for aviation fuel Jet A-1 and the diesel fuel as a function of time

The changing trends in variation of the friction coefficients are illustrated by the diagrams presented in Fig. 4. As can be seen in the diagrams, the friction coefficient was relatively lower and its variation was more stable when using normal diesel fuel.

Fig. 5 shows the images of the worn steel ball surface. The obvious difference in the worn surface area can be seen by comparing the friction pairs lubricated with the different fuels.

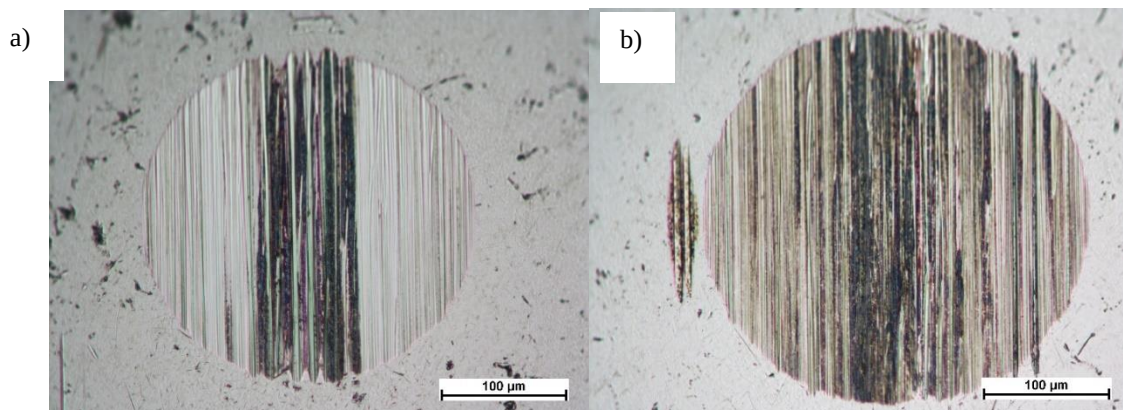


Fig. 5. The images of the worn out surfaces: a) for diesel fuel; b) for aviation Jet A-1 fuel

The images show that using of the diesel fuel resulted in a relatively lower the worn surface area if compared to that caused by aviation fuel.

CONCLUSIONS

1. The capacity (fuel delivery rate) of a high-pressure fuel injection pump decreased by 6.7 % after the 300 hours of operation with aviation fuel Jet A-1 under close to real operating conditions.
2. Maximum mean diameter of the wear scar was equal to 0.6 mm when using aviation Jet A-1 fuel and the minimum value of the wear scar was measured when running with the normal diesel fuel.
3. Maximum averaged frictional coefficient was measured when using aviation fuel.
4. Analysis of the experimental data shows that the resulting area of a ball surface wear scar was relatively lower when using diesel fuel due to its better lubricating properties.

REFERENCES

1. Anastopoulos, G., Lois, E., Zannikos, F., Kalligeros, S., & Teas, C. (2002). HFRR lubricity response of an additized aviation kerosene for use in CI engines. *Tribology International*, 35(9), 599-604.
2. Labeckas, Gvidonas; Slavinskas, Stasys; Vilitienė, Valentina. The effect of aviation fuel JP-8 and diesel fuel blends on engine performance and exhaust emissions. *Journal of KONES*, 2015, 22.
3. Lacey, P. I., & Lestz, S. J. (1991). Fuel-lubricity requirements for diesel-injection systems. Interim report, Sep 90-Feb 91 (No. AD-A-235972/7/XAB; BFLRF-270). Southwest Research Inst., San Antonio, TX (United States). Belvoir Fuels and Lubricants Research Facility.
4. Korres DM, Karonis D, Lois E, Linck MB, Gupta AK. Aviation fuel JP-5 and biodiesel on a diesel engine. *Fuel* 2008;87(1):70–8.
5. Chuck CJ, Donnelly J. The compatibility of potential bioderived fuels with Jet A-1 aviation kerosene. *Appl Energy* 2014;118:83–91. 1 April.
6. Labeckas, G., & Slavinskas, S. (2015). Combustion phenomenon, performance and emissions of a diesel engine with aviation turbine JP-8 fuel and rapeseed biodiesel blends. *Energy Conversion and Management*, 105, 216-229.
7. Chong, C. T., & Hochgreb, S. (2014). Spray flame structure of rapeseed biodiesel and Jet-A1 fuel. *Fuel*, 115, 551-558.
8. Kuszewski, H., Jaworski, A., & Ustrzycki, A. (2017). Lubricity of ethanol–diesel blends–Study with the HFRR method. *Fuel*, 208, 491-498.
9. Matzke, M., Litzow, U., Jess, A., Caprotti, R., & Balfour, G. (2009). Diesel lubricity requirements of future fuel injection equipment. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 2(1), 273-286.
10. Mickevičius, T., Slavinskas, S., & Kreivaitis, R. (2016). Effect of ethanol on performance and durability of a diesel common rail high pressure fuel pump. *Transport*, 31(3), 305-311.
11. Schihl, P., Gingrich, E., & Decker, L. (2015). The Combustion and Ignition Characteristics of Varying Blend Ratios of JP-8 and a Coal to Liquid Fischer-Tropsch Jet Fuel in a Military Relevant Single Cylinder Diesel Engine. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 8(2), 501-514.

СЛАВИНСКАС Стасис, доктор технических наук, профессор, кафедры машиностроения, энергетики и биотехнологии, Университет им. Витаутаса Великого, e-mail: stasys.slavinskas@vdu.lt;

МИЦКЯВИЧЮС Томас, доктор технических наук, Преподаватель кафедры машиностроения, энергетики и биотехнологии, Университет им. Витаутаса Великого, e-mail: t.mickevicius@yahoo.com;

ПАУЛЮКАС Арвидас, доктор технических наук, Преподаватель кафедры машиностроения, энергетики и биотехнологии, Университет им. Витаутаса Великого, e-mail: arvydas.pauliukas@vdu.lt;

Stasys SLAVINSKAS, Ph.D. in Engineering, Professor of Department of Mechanical, Energy and Biotechnology Engineering, Vytautas Magnus University, e-mail: stasys.slavinskas@vdu.lt;

Tomas MICKEVICIUS, Ph.D. in Engineering, Lecturer of Department of Mechanical, Energy and Biotechnology Engineering, Vytautas Magnus University, e-mail: tomas.mickevicius1@vdu.lt;

Arvydas PAULIUKAS, Ph.D. in Engineering, Lecturer of Department of Mechanical, Energy and Biotechnology Engineering, Vytautas Magnus University, e-mail: arvydas.pauliukas@vdu.lt;

DOI 10.36910/automash.v2i17.631

Андрусенко С.І., Бугайчук О.С., Будниченко В.Б., Подпіснєв В.С.
Національний транспортний університет, Київ, Україна

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ АВАРІЙНОСТІ НА ТРАНСПОРТІ

У статті наведений аналіз нормативних документів, наукових та навчально-практичних робіт, присвячених питанням зменшення аварійності на транспорті та застосуванню методів управління ризиками для досягнення цієї мети.

Показано, що організація повинна визначити ризики та можливості, які потрібно врахувати, щоб забезпечити впевненість у тому, що підприємство може досягти запланованого результату, збільшити кількість бажаних ефектів, запобігти небажаним ефектам або зменшити їхню кількість, досягти поліпшення.

Організація має планувати та інтегрувати в процеси управління дії стосовно цих ризиків і можливостей. Необхідно оцінювати результативність таких дій.

Ризики мають бути ідентифіковані та започаткований процес аналізу ризиків. Пропонується контрольними точками процесу визнати такі: невідповідність технічного стану рухомого складу вимогам, які визначають його безпечну експлуатацію (точка 1); невідповідність дій водія вимогам правил дорожнього руху, настанов щодо експлуатації транспортного засобу, інструкцій водія (точка 2). Складається реєстр ризиків. Проводиться кількісний аналіз ризиків, де підраховується значення індикатора ризику, наприклад, відповідно до документу ГKN 00.005.009–2002. Надаються рекомендації щодо зменшення ризику шляхом ухилення від ризику (припинення діяльності, що веде до ризику) або прийняття ризику (не виконується ніяких дій для зниження ймовірності або впливу події). Подальше дослідження має бути спрямоване на розширення реєстру ризиків діяльності на транспорті та удосконалення методів оцінки запровадження в підприємстві системи управління ризиками.

Ключові слова: транспорт, безпека руху, аварійність, ризик, управління, аналіз, процес, контрольні точки, ідентифікатор ризику, реєстр ризиків.

ВСТУП

Згідно з нормативним документом [1] до колісних транспортних засобів (КТЗ), призначених для перевезення пасажирів, належать самохідні КТЗ категорії М. Їх класифікують наступним чином: М₁ – колісний засіб, що призначений для перевезення пасажирів, у якому кількість місць для сидіння, крім місця водія, не перевищує восьми; М₂ – колісний засіб, що призначений для перевезення пасажирів, у якому кількість місць для сидіння, крім місця водія, перевищує вісім, максимальною масою не більше ніж 5 тон; М₃ – колісний засіб, що призначений для перевезення пасажирів, у якому кількість місць для сидіння, крім місця водія, перевищує вісім, максимальною масою понад 5 тон.

Такі КТЗ, а також трамваї та тролейбуси є джерелом підвищеної небезпеки. В процесі комерційної експлуатації вони здійснюють перевезення пасажирів на дорогах загального користування, де, як правило, існує велика щільність руху автомобільних потоків, що значно збільшує ймовірність аварійної ситуації. Тому ця сфера є предметом регулювання на всіх рівнях господарювання в державі.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Прийняті і діють ряд нормативних документів державного рівня, спрямованих на підвищення безпеки дорожнього руху [2–12]. Вирішенням питань аварійності на транспорті займаються також галузеві організації та підприємства на місцевому рівні [13–15], розробляючи та впроваджуючи відповідні нормативні документи та інструкції, спрямовані на запобігання виникнення аварійних ситуацій. Це питання знаходиться під постійним контролем відповідних органів. Так, наприклад, за даними щодо кількості транспортних пригод, які подані у звітних документах одним із транспортних підприємств міського електротранспорту, робота підприємства, оцінена згідно з методикою ГKN 00.005.009–2002, за деякі періоди часу була визнана незадовільною.

Проблемам зменшення кількості аварій на транспорті присвячена велика кількість наукових та практичних робіт, серед яких у певній кількості розглядаються питання впровадження та удосконалення системи управління ризиками транспортної діяльності [16–24].

Також питання управління ризиками в господарській діяльності вирішується на рівні державних та міжнародних стандартів наприклад [25–28].

Остання редакція міжнародного стандарту якості ДСТУ ISO 9001–2015 (ISO 9001:2015, IDT) «Системи управління якістю. Вимоги» передбачає планування дій стосовно ризиків і можливостей (п.6. Планування) [28].

Під час планування в системі управління якістю організація повинна визначити ризики та можливості, які потрібно врахувати для забезпечення впевненості в тому, що система управління якістю може досягти запланованого результату, збільшити кількість бажаних ефектів; запобігти небажаним ефектам або зменшити їхню кількість, досягти поліпшення. Організація повинна планувати дії стосовно цих ризиків і можливостей. Дії стосовно ризиків і можливостей мають бути заплановані та інтегровані в процеси системи управління якістю. Необхідно оцінювати результативність цих дій. Потрібно, щоб дії, виконувані стосовно ризиків і можливостей, були пропорційні їх потенційному впливу на відповідність продукції та послуг.

Реагування на ризики можуть охоплювати уникнення ризику, прийняття ризику, щоб скористатися можливістю, усунення джерела ризику, змінення ймовірності настання чи наслідків, розділення ризику чи збереження ризику на основі поінформованого рішення.

В наведених вище нормативних документах та роботах розглядаються різні складові діяльності, які впливають на аварійність. Існує багато методів зменшення аварійності. Як вже було зазначено вище, серед таких методів все більше уваги приділяється методам управління ризиками. Але плануванню заходів, спрямованих на запровадження на конкретних підприємствах транспорту методів керування ризиками виникнення транспортних пригод, ще не приділяється достатньо уваги.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даного дослідження є розробка заходів з запровадження на підприємстві методів керування ризиком виникнення транспортних пригод та оцінка ефективності таких заходів.

Завданнями дослідження є розробка наступних процедур:

- виявлення та ідентифікації ризиків;
- ідентифікації ризиків;
- аналізу ризиків;
- кількісної оцінки ризиків.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Поліпшення стану з безпекою руху на транспорті може бути досягнуто шляхом запровадження на підприємстві системи керування ризиками щодо транспортних пригод, основні елементи якої визначені у ДСТУ ІЕС/ISO 31010.

Цілями управління ризиками щодо транспортних пригод є:

- забезпечення впевненості, що система управління ризиками може досягти запланованих результатів;
- збереження активів підприємства;
- попередження або зменшення небажаних впливів;
- забезпечення безперервного поліпшення безпечності пасажирських перевезень.

Керування ризиками щодо транспортних пригод має здійснюватися відділом безпеки руху підприємства, який підпорядковується заступнику директора з експлуатації та перевезень.

Рекомендується застосовувати наступну послідовність і взаємодію під час управління ризиками (далі процес), що показана на рисунку 1.

Виявлення та ідентифікація ризику (вихідні дані процесу) виконують на підставі аналізу документів, що стосуються операційного забезпечення відповідності технічного стану рухомого складу та безпечності перевезення пасажирів. Ідентифікація ризиків спрямована на своєчасне виявлення і реєстрацію можливих подій, які можуть негативно вплинути на досягнення цілей і завдань, поставлених перед відділом і кожним його працівником.

Ідентифікація ризиків проводиться як з точки зору минулого досвіду, так і з точки зору майбутніх можливих подій.

Аналіз ризиків виконується з метою виділення критичних подій. Аналіз рекомендується здійснювати у контрольних точках процесу керування ризиками, приклад яких поданий у таблиці 1.

У галузі транспорту пропонується контрольними точками процесу визнати такі:

- підготовки транспортного засобу до випуску на лінію (маршрут), тобто забезпечення відповідності рухомого складу вимогам, які забезпечують його безпечну експлуатацію (точка 1);
- виконання транспортної роботи (перевезення пасажирів), тобто відповідності дій водія вимогам правил дорожнього руху, настанов щодо експлуатації транспортного засобу, інструкцій водія (точка 2).

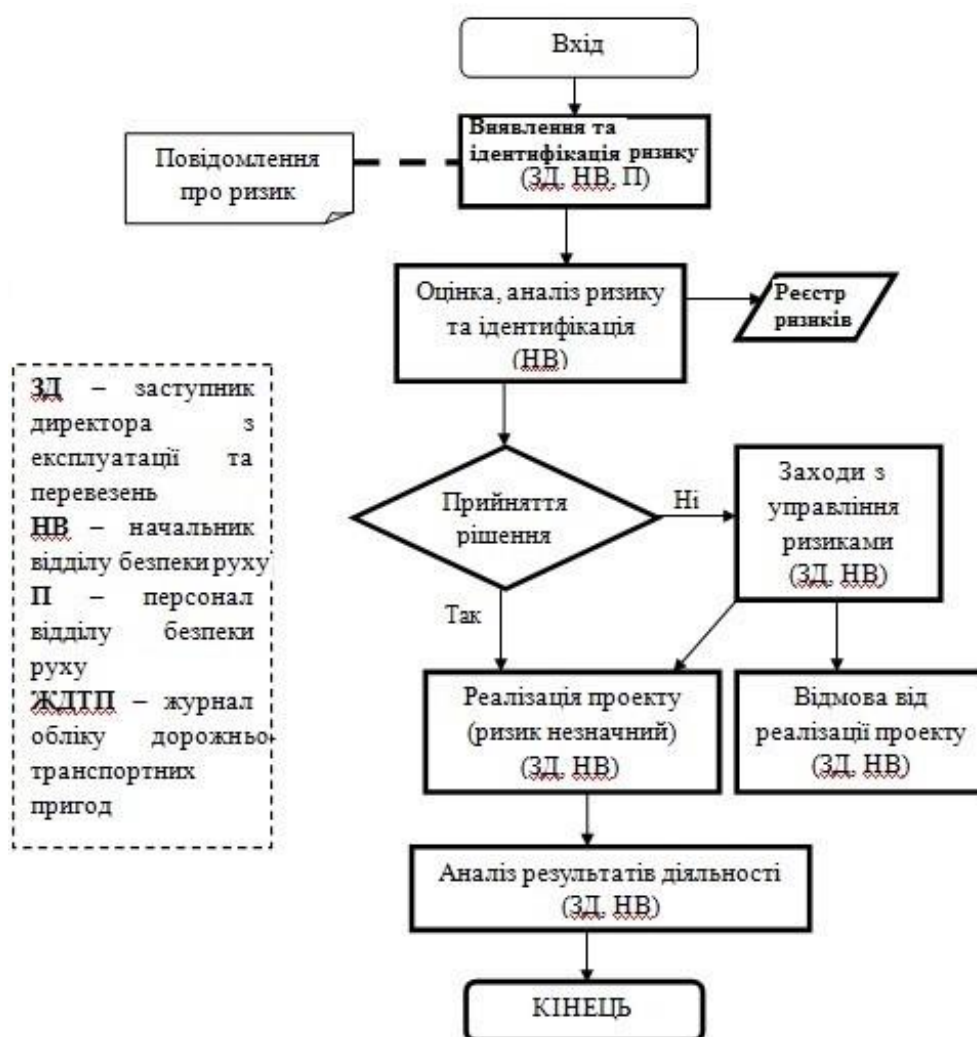


Рисунок 1 – Рекомендована послідовність дій і взаємодія під час управління ризиками в підприємстві транспорту

Таблиця 1 – Приклад контрольних точок процесу керування ризиками під час аналізу, що проводиться з метою виділення критичних подій

Контрольна точка процесу	Значення параметрів та їх допустимі границі	Методика контролю параметрів процесу	Впливові фактори	Ідентифіковані ризики
1	2	3	4	5
Точка 1	Визначені технологічною документацією на технічне обслуговування та ремонт рухомого складу, а також Правилами експлуатації КТЗ, трамвая та тролейбуса	Визначена, технологічною документацією на технічне обслуговування та ремонт рухомого складу, а також ГKN 00.005.009–2002, ГKN 00.005.11–2003	1. Некваліфіковані дії робітників під час виконання технічного обслуговування та ремонту. 2. Недоліки технічної документації. 3. Браковані або невідповідні складові рухомого складу. 4. Відмова або	Невідповідність рухомого складу визначеним характеристикам

1	2	3	4	5
			застосування непридатного технологічного устаткування.	
Точка 2	Визначені Правилами дорожнього руху України, Правилами експлуатації трамвайних вагонів, інструкція водія	Визначена, технологічною документацією на маршрут, Положенням про відділ безпеки руху підприємства	1. Некваліфіковані дії водія. 2. Несприятливі метеорологічні умови.	Невідповідність дій водія

Приклад інформації для управління ідентифікованими ризиками (реєстр ризиків) поданий у таблиці 2.

Таблиця 2 – Реєстр ризиків

Ідентифіковані ризики	Методи контролю ризику	Дії щодо мінімізації або усунення ризику	Термін проведення дій щодо мінімізації або усунення ризику	Відповідальний за управління ризиком
1	2	3	4	6
Невідповідність технічного стану рухомого складу	Аналіз першопричин згідно з додатком А ДСТУ ІЕС/ISO 31010	Згідно з додатком В.1 ДСТУ ІЕС/ISO 31010, а також: 1. Додаткове навчання персоналу. 2. Проведення додаткової перевірки технологічної документації на технічне обслуговування та ремонту. 3. Зміна постачальника складової. 4. Позачергова перевірка технічного стану або зменшення періодичності його виконання. 5. Позачергова перевірка або зменшення періодичності перевірки устаткування.	Відповідно до запланованих заходів	Начальник відділу безпеки руху
Невідповідність дій водія	Аналіз першопричин згідно з додатком А ДСТУ ІЕС/ISO 31010	Згідно з додатком В.1 ДСТУ ІЕС/ISO 31010: 1. Додаткове навчання водіїв. 2. Позачергова перевірка тривалості робочої зміни водіїв. 3. Позачергова медична перевірка водіїв. 4. Відсторонення від роботи водія.	Відповідно до запланованих заходів	Начальник відділу безпеки руху

Реєстр ризиків рекомендується періодично переглядати, з метою уточнення та доповнення виявленими ризиками.

Крім того рекомендується, щоб будь-який співробітник відділу безпеки руху, незалежно від займаної посади, отримавши інформацію про будь-який ризик, негайно повідомляв про це начальника відділу.

Кількісний аналіз ризиків рекомендується проводити уповноваженій особі відділу безпеки руху, щоб визначити ступінь пріоритетності ризику, який розраховується за індикатором (коефіцієнт безпеки руху), що обчислюється згідно з, наприклад, ГКН 00.005.009–2002 для транспортних підприємств міського електричного транспорту для маршрутів та в цілому для підприємства за встановлений період часу.

Рекомендовані критерії та ступені наслідків ризиків подані в таблиці 3.

Таблиця 3 – Критерії та ступені наслідків ризиків

Оцінка за ГКН 00.005.009–2002		Ризики	
Значення індикатора*	Оцінка	Рейтинг	Серйозність наслідків
менше 0,6	Незадовільно	Серйозний (значущий) рівень	Неможливість допуску транспортного засобу (має бути списаний) або водія (має бути звільнений) до пасажирських перевезень. Значні збитки для підприємства
0,6 до 0,75	Задовільно	Помірний рівень	Довготривала неможливість допуску транспортного засобу або водія до пасажирських перевезень. Значні збитки для підприємства
0,76 до 0,91	Добре	Низький рівень	Короткотривала неможливість допуску транспортного засобу або водія до пасажирських перевезень. Несуттєві збитки для підприємства
більше 0,91	Відмінно	Несуттєвий рівень	Можливість помилкової оцінки результатів. Відсутність збитків для підприємства
Примітка *. Значення індикатора обчислюється за встановлений період часу аналогічно коефіцієнту безпеки руху, метод обчислення якого наведений у ГКН 00.005.009–2002			

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

За результатами оцінки ризику рекомендується приймати рішення щодо можливості реагування на ризик, а саме:

- зменшення ризику (виконуються дії щодо зменшення ймовірності та/або впливу ризику);
- ухилення від ризику (припинення діяльності, що веде до ризику);
- прийняття ризику (не робиться ніяких дій для того, щоб знизити ймовірність або вплив події).

За позитивних результатів оцінки приймається рішення щодо реалізації проекту (прийняття ризику).

За негативних результатів оцінки ризику, приймається рішення про відмову від реалізації проекту (уникнення ризику) або проводяться заходи щодо пом'якшення ризику та повторно оцінюється залишковий ризик після проведення таких заходів.

На підставі збору та аналізу інформації про причини виникнення ризиків та пропозицій щодо їх усунення відділ безпеки руху готує нові пропозиції з поліпшення безпеки пасажирських перевезень, які заслуховуються і обговорюються на нарадах щодо аналізу системи управління підприємством з боку керівництва.

Документування небезпечних подій, які відбулися, рекомендується здійснювати шляхом заповнення спеціального журналу реєстрації дорожньо-транспортних пригод, який має вестися на паперовому носії або у електронному вигляді. Цей журнал як мінімум має містити таку інформацію:

- дату виникнення дорожньо-транспортної пригоди;

- номер рухомої одиниці;
- табельний номер водія;
- причину виникнення дорожньо-транспортної пригоди;
- заходи, що пропонуються для уникнення аналогічної події в подальшому.

Під час аналізування результативності процесу керування ризиками керівник процесу (як правило, начальник відділу безпеки руху) визначає досягнення запланованих характеристик процесу. Періодичність аналізування 1 раз на квартал. Результати аналізування у довільній формі надаються вищому керівництву – заступнику директора з експлуатації та перевезень для аналізування функціонування системи управління якістю. До результатів аналізування можуть заноситись пропозиції щодо вдосконалення процесу. Інформація щодо ступеня досягнення процесом необхідних характеристик може бути подана у вигляді таблиць або графіків для забезпечення наочності простеження тенденцій погіршення або поліпшення процесу.

ВИСНОВКИ

Показано, що організація повинна визначати ризики та можливості, які потрібно враховувати для забезпечення впевненості в тому, що підприємство може досягти запланованого результату з точки зору зменшення кількості дорожньо-транспортних пригод.

Організація має планувати та інтегрувати в процеси управління дії стосовно цих ризиків і можливостей. Необхідно оцінювати результативність таких дій.

Ризики мають бути ідентифіковані та започаткований процес аналізу ризиків. Пропонується контрольними точками процесу визнати такі: невідповідність технічного стану рухомого складу вимогам, які визначають його безпечну експлуатацію (точка 1); невідповідність дій водія вимогам правил дорожнього руху, настанов щодо експлуатації транспортного засобу, інструкцій водія (точка 2). Має складатися реєстр ризиків проводиться кількісний аналіз ризиків, де підраховується значення індикатору ризику, наприклад, відповідно до документу ГKN 00.005.009–2002. Необхідно розробляти рекомендації щодо зменшення ризику шляхом ухилення від ризику (припинення діяльності, що веде до ризику) або прийняття ризику (не виконується ніяких дій для зниження ймовірності або впливу події). Подальше дослідження має бути спрямоване на розширення реєстру ризиків діяльності на транспорті та удосконалення методів оцінки запровадження в підприємстві системи управління ризиками.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Про єдині вимоги до конструкції та технічного стану колісних транспортних засобів, що експлуатуються : Постанова Кабінету Міністрів України від 22 грудня 2010 р. №1166. Додаток «Класифікація колісних транспортних засобів». URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/243939925>.

2. Про Правила дорожнього руху : Постанова Кабінету Міністрів України від 10 жовтня 2001 р. № 1306. Київ. Документ 1306-2001-п, чинний, поточна редакція. Редакція від 20.07.2021 р. URL: <https://www.rada.gov.ua>.

3. Державна інспекція України з безпеки на наземному транспорті : Наказ «Про затвердження Заходів з покращення безпеки дорожнього руху на міському електричному транспорті України (трамвай, тролейбус) в 2014 році» від 28.11.2013 р. № 945. URL: <https://docs.dtki.ua/ru/download/pdf/1041.57121.1>.

4. Про затвердження Методичних рекомендацій з питань безпеки автомобільних перевезень : Наказ Міністерства транспорту України від 19.09.2003 р. № 111. URL: http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71859.

5. Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності у сфері автомобільного транспорту та визначається періодичність проведення планових заходів державного нагляду (контролю) Державною службою з безпеки на транспорті : Постанова Кабінету Міністрів України від 15 січня 2020 р. № 7. Київ. Документ 7-2020-п, чинний, поточна редакція. Прийняття від 15.01.2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/7-2020-%D0%BF#Text>.

6. Типове Положення про Систему управління безпекою руху на автомобільному транспорті (на всіх рівнях – міністерство – підприємство) : Додаток до наказу Міністерства транспорту України від 12.11.2003 р. № 877. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0877361-03#Text>.

7. Про затвердження Положення про організацію проведення виробничих інструктажів та навчання водіїв трамвайних вагонів і тролейбусів. Документ z0528-04, чинний, поточна редакція. Прийняття від 23.01.2004 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0528-04#Text>.

8. Про затвердження Порядку технічного розслідування дорожньо-транспортних пригод, катастроф, аварій на автомобільному та міському електричному (трамвай, тролейбус) транспорті [Електронний ресурс] : Наказ Міністерства інфраструктури України від 23.06.2015 р. № 231. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0818-15>.

9. Про затвердження Порядку технічного розслідування катастроф, аварій, дорожньо-транспортних пригод, подій на залізничному транспорті [Електронний ресурс] : Наказ Міністерства інфраструктури України. від 21.09.2018 р. № 433. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1185-18#Text>.

10. Про затвердження Положення про класифікацію, порядок розслідування та обліку аварійних морських подій із суднами [Електронний ресурс] : Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 29.05.2006 р. № 516. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0959-06#Text>.

11. Система управління безпекою руху на автомобільному транспорті [Електронний ресурс] : посібник Міністерства інфраструктури України. Режим доступу: https://mtu.gov.ua/files/GUIDE_ua_2016.pdf.

12. Правила експлуатації трамвая і тролейбуса : Наказ Міністерства інфраструктури України від 03.02.2020 р. № 36, зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 17 квітня 2020 р. № 353/34636. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0353-20#Text>.

13. Інструкція водія тролейбуса (код КП 8323) : КП «Київпастранс». Тролейбусне ремонтно-експлуатаційне депо № 2. URL: <https://dostup.pravda.com.ua/request/69619/response/169912/attach/11/2.pdf>.

14. ГКН 00.005.009–2002. Безпека дорожнього руху на міському електротранспорті. Організація оперативного контролю за безпекою руху.

15. ГКН 00.005.11–2003. Безпека дорожнього руху на міському електротранспорті. Порядок службового розслідування і розбору дорожньо-транспортних пригод.

16. Кульбашна Н.І. Конспект лекцій з дисципліни «Безпека руху та гальмівні системи» (для студентів 4 курсу денної та заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050702 «Електромеханіка» та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.05070203 «Електричний транспорт»). Харків : Харк. нац. акад. міськ. госп-ва, 2012. 80 с. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/11336415.pdf>.

17. Ткаченко І.О. Ризики у транспортних процесах : навчальний посібник. Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. 114 с. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/154806543.pdf>.

18. Сафонов Ю.М., Ленська Н.І. Класифікація ризиків у державному регулюванні пасажирського автомобільного транспортного комплексу. *Причорноморські економічні студії. Економіка та управління національним господарством*. 2017. Випуск 14. С. 47–52. URL: http://bses.in.ua/journals/2017/14_2017/12.pdf.

19. Івасишина Н.В., Малащенко Ю.А. Фактори, що впливають на імовірність настання ДТП та враховуються при тарифікації. *Наукові записки. Серія «Економіка»*. 2012. Випуск 19. С. 340–342. URL: <http://ecj.oa.edu.ua/articles/2012/n19/77.pdf>

20. Донець Л.І. Економічні ризики та методи їх вимірювання: навчальний посібник. Київ : Центр навчальної літератури, 2006. 312 с.

21. Самсонкін В.М., Мойсеєнко В.І. Теорія безпеки на залізничному транспорті : монографія. Київ : Каравела, 2014. 248 с.

22. Хаккер А.С., Браймастер Л. Використання впливів і ризиків у дослідженнях з безпеки дорожнього руху. Нідерланди, Лейдсендам : Інститут SWOV з дослідження безпеки дорожнього руху, 2001.

23. Kristiansen S. Maritime Transportation: Safety Management and Risk Analysis. Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. 508 p.

24. ДСТУ ІЕС/ISO 31010–2013 (ІЕС/ISO 31010:2009, IDT). Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику. URL: <https://khoda.gov.ua/image/catalog/files/dstu%2031010.pdf>.

25. ДСТУ ISO Guide 73–2013 (ISO Guide 73:2009, IDT). Керування ризиком. Словник термінів. Метрологія. Національний стандарт України. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://metrology.com.ua/ntd/skachat-iso-iecchsas/iso/dstu-iso-guide-73-2013/>.

- 26.IEC 31010:2019. Risk management – Risk assessment techniques. International Organization for Standardization. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.iso.org/standard/72140.html>.
- 27.ISO 31000:2018. Risk management [Електронний ресурс]. International Organization for Standardization. Режим доступу: <https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100426.pdf>.
- 28.ДСТУ ISO 9001–2015 (ISO 9001:2015, IDT). Системи управління якістю. Вимоги. URL: <https://khoda.gov.ua/image/catalog/files/%209001.pdf>.

REFERENCES

1. Pro yedyni vymohy do konstrukttsii ta tekhnichnoho stanu kolisnykh transportnykh zasobiv, shcho ekspluatuiutsia (2010) : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 22 hrudnia 2010 r. №1166. Dodatok «Klasyfikatsiia kolisnykh transportnykh zasobiv». URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/243939925>.
- 2.Pro Pravyla dorozhnoho rukhu (2021) : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 10 zhovtnia 2001 r. № 1306. Kyiv. Dokument 1306-2001-p, chynnyi, potochna redaktsiia. Redaktsiia vid 20.07.2021 r. URL: <https://www.rada.gov.ua>.
3. Derzhavna inspektsiia Ukrainy z bezpeky na nazemnomu transporti (2013) : Nakaz «Pro zatverdzhennia Zakhodiv z pokrashchennia bezpeky dorozhnoho rukhu na miskomu elektrychnomu transporti Ukrainy (tramvai, troleibus) v 2014 rotsi» vid 28.11.2013 r. № 945. URL: <https://docs.dtkr.ua/ru/download/pdf/1041.57121.1>.
- 4.Pro zatverdzhennia Metodichnykh rekomendatsii z pytan bezpeky avtomobilnykh perevezen (2003) : Nakaz Ministerstva transportu Ukrainy vid 19.09.2003 r. № 111. URL: http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71859.
- 5.Pro zatverdzhennia kryteriiv, za yakymy otsiniuietsia stupin ryzyku vid provadzhennia hospodarskoi diialnosti u sferi avtomobilnoho transportu ta vyznachaietsia periodychnist provedennia planovykh zakhodiv derzhavnoho nahliadu (kontroliu) Derzhavnoi sluzhboi z bezpeky na transporti (2020) : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 15 sichnia 2020 r. № 7. Kyiv. Dokument 7-2020-p, chynnyi, potochna redaktsiia. Pryiniattia vid 15.01.2020 r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/7-2020-%D0%BF#Text>.
- 6.Typove Polozhennia pro Systemu upravlinnia bezpekoiu rukhu na avtomobilnomu transporti (na vsikh rivniakh – ministerstvo – pidpriemstvo) (2003) : Dodatok do nakazu Ministerstva transportu Ukrainy vid 12.11.2003 r. № 877. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0877361-03#Text>.
- 7.Pro zatverdzhennia Polozhennia pro orhanizatsiiu provedennia vyrobnychykh instruktazhiv ta navchannia vodiiv tramvainykh vahoniv i troleibusiv (2004). Dokument z0528-04, chynnyi, potochna redaktsiia. Pryiniattia vid 23.01.2004 r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0528-04#Text>.
- 8.Pro zatverdzhennia Poriadku tekhnichnoho rozsliduvannia dorozhno-transportnykh pryhod, katastrof, avarii na avtomobilnomu ta miskomu elektrychnomu (tramvai, troleibus) transporti (2015) [Elektronnyi resurs] : Nakaz Ministerstva infrastruktury Ukrainy vid 23.06.2015 r. № 231. Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0818-15>.
- 9.Pro zatverdzhennia Poriadku tekhnichnoho rozsliduvannia katastrof, avarii, dorozhno-transportnykh pryhod, podii na zaliznychnomu transporti (2018) [Elektronnyi resurs] : Nakaz Ministerstva infrastruktury Ukrainy vid 21.09.2018 r. № 433. Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1185-18#Text>.
- 10.Pro zatverdzhennia Polozhennia pro klasyfikatsiiu, poriadok rozsliduvannia ta obliku avariinykh morskykh podii iz sudnamy (2006) [Elektronnyi resurs] : Nakaz Ministerstva transportu ta zviazku Ukrainy vid 29.05.2006 r. № 516. Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0959-06#Text>.
- 11.Systema upravlinnia bezpekoiu rukhu na avtomobilnomu transporti (2016) [Elektronnyi resurs] : posibnyk Ministerstva infrastruktury Ukrainy. Rezhym dostupu: https://mtu.gov.ua/files/GUIDE_ua_2016.pdf.
- 12.Pravyla ekspluatatsii tramvaia i troleibusa (2020) : Nakaz Ministerstva infrastruktury Ukrainy vid 03.02.2020 r. № 36, zareiestrovano v Ministerstvi yustyttsii Ukrainy vid 17 kvitnia 2020 r. № 353/34636.
- 13.Instruktsiia vodiia troleibusa (kod KP 8323) : KP «Kyivpastrans». Troleibusne remontno-ekspluatatsiine depo № 2. URL: <https://dostup.pravda.com.ua/request/69619/response/169912/attach/11/2.pdf>.
- 14.HKN 00.005.009–2002. (2002). Bezpeka dorozhnoho rukhu na miskomu elektrotransporti. Orhanizatsiia operatyvnogo kontroliu za bezpekoiu rukhu.
- 15.HKN 00.005.11–2003. (2003). Bezpeka dorozhnoho rukhu na miskomu elektrotransporti. Poriadok sluzhbovoho rozsliduvannia i rozboru dorozhno-transportnykh pryhod.

- 16.Kulbashna N.I. (2012). Konspekt leksii z dystsypliny «Bezpeka rukhu ta halmivni systemy» (dlia studentiv 4 kursu dennoi ta zaochnoi form navchannia za napriamom pidhotovky 6.050702 «Elektromekhanika» ta slukhachiv druhoi vyshchoi osvity spetsialnosti 7.05070203 «Elektrychnyi transport»). Kharkiv : Khark. nats. akad. misk. hosp-va, 2012, 80. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/11336415.pdf>.
- 17.Tkachenko I.O. (2017). Ryzkyky u transportnykh protsesakh : navchalnyi posibnyk. Kharkiv : KhNUMH im. O.M. Beketova, 2017, 114. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/154806543.pdf>.
- 18.Safonov Yu.M., Lenska N.I. (2017). Klasyfikatsiia ryzkykiv u derzhavnomu rehuliuванні pasazhyrskoho avtomobilnoho transportnoho kompleksu. Prychornomorski ekonomichni studii. Ekonomika ta upravlinnia natsionalnym hospodarstvom. 2017, 14, 47-52.
URL: http://bses.in.ua/journals/2017/14_2017/12.pdf.
- 19.Ivasyshyna N.V., Malashenko Yu.A. (2012). Faktory, shcho vplyvaiutsia na ymovirnist nastannia DTP ta vrakhovuiutsia pry taryfikatsii. Naukovi zapysky. Serii «Ekonomika». 2012, 19, 340-342. URL: <http://ecj.oa.edu.ua/articles/2012/n19/77.pdf>
- 20.Donets L.I. (2006). Ekonomichni ryzkyky ta metody yikh vymiriuvannia: navchalnyi posibnyk. Kyiv : Tsentr navchalnoi literatury, 2006, 312.
- 21.Samsonkin V.M., Moiseienko V.I. (2014). Teoriia bezpeky na zaliznychnomu transporti : monohrafiia. Kyiv : Karavela, 2014, 248.
- 22.Khakker A.S., Braimaister L. (2001). Vykorystannia vplyviv i ryzkykiv u doslidzhenniakh z bezpeky dorozhnoho rukhu. Niderlandy, Leidsendam : Instytut SWOV z doslidzhennia bezpeky dorozhnoho rukhu, 2001.
- 23.Kristiansen S. (2005). Maritime Transportation: Safety Management and Risk Analysis. Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005, 508.
- 24.DSTU IEC/ISO 31010–2013 (IEC/ISO 31010:2009, IDT). (2013). Keruvannia ryzykom. Metody zahalnoho otsiniuvannia ryzyku. URL: <https://khoda.gov.ua/image/catalog/files/dstu%2031010.pdf>.
- 25.DSTU ISO Guide 73–2013 (ISO Guide 73:2009, IDT). (2013). Keruvannia ryzykom. Slovyk terminiv. Metrolohiia. Natsionalnyi standart Ukrainy. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://metrology.com.ua/ntd/skachat-iso-iec0has/iso/dstu-iso-guide-73-2013/>.
- 26.IEC 31010:2019. (2019). Risk management – Risk assessment techniques. International Organization for Standardization. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://www.iso.org/standard/72140.html>.
- 27.ISO 31000:2018. (2018). Risk management [Elektronnyi resurs]. International Organization for Standardization. Rezhym dostupu: <https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100426.pdf>.
- 28.DSTU ISO 9001–2015 (ISO 9001:2015, IDT). (2015). Systemy upravlinnia yakistiu. Vymohy. URL: <https://khoda.gov.ua/image/catalog/files/%209001.pdf>.

S. Andrusenko, O. Buhaichuk, V. Budnychenko, V. Podpisnov. Use of risk management methods to reduce transport accidents.

This article contains an analysis of regulations, scientific and educational as well as practical work on transport accidents reducing and risk management methods using to achieve this purpose.

It is shown that a company must identify the risks and opportunities that need to be taken into account for achieving the planned result as well as increasing the number of desired effects, side effects prevention or reducing and improvement achieving.

The company should plan and integrate actions regarding these risks and opportunities into management processes. It is necessary to evaluate the effectiveness of such actions.

Risks are supposed to be identified as well as risk analysis process are supposed to be initiated. It is proposed to recognize the following as the process control points: non-compliance of the rolling stock technical condition with the requirements that determine its safe operation (point 1); driver's actions non-compliance with the requirements of traffic rules as well as operation instructions for the vehicle and driver's instructions (point 2).

The risk register is compiled. A quantitative risk analysis is performed. It contains the value of the risk indicator, for example, in accordance with HKN 00.005.009–2002. Then there were recommendations to reduce the risk by avoiding the risk (cessation of activities that lead to risk) or accepting the risk (no action is taken to reduce the event likelihood or its impact). Further research should be aimed at expanding the risk register for transport activities and improving the methods for risk management assessing in the company.

Key words: transport, traffic safety, accident, risk, management, analysis, process, control points, risk identifier, risk register.

АНДРУСЕНКО Сергій Іванович, кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, Національний транспортний університет e-mail: sergeandrusenko@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-9914-0200>

БУГАЙЧУК Олександр Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, Національний транспортний університет e-mail: bug_os@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0001-8646-6263>

БУДНИЧЕНКО Валерій Борисович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, Національний транспортний університет e-mail: budnrb@i.ua. <http://orcid.org/0000-0002-1235-3781>

ПОДПІСНОВ Владислав Сергійович, старший викладач кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, Національний транспортний університет e-mail: vpodpisnov@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0002-8583-1502>

Serhii ANDRUSENKO, Ph.D. in Technical Science, Professor, Head of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Servicing, Kyiv, National Transport University e-mail: sergeandrusenko@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-9914-0200>

Oleksandr BUHAICHUK, Ph.D. in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Servicing, Kyiv, National Transport University e-mail: bug_os@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0001-8646-6263>

Valerii BUDNYCHENKO, Ph.D. in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Servicing, Kyiv, National Transport University e-mail: budnrb@i.ua. <http://orcid.org/0000-0002-1235-3781>

Vladyslav PODPISNOV, Senior Lecturer of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Servicing, Kyiv, National Transport University e-mail: vpodpisnov@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0002-8583-1502>

DOI 10.36910/automash.v2i17.632

Бодак В.І., Гандзюк М.О., Дубицький О.С., Мазилук П.В.
Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ СТАНУ ВНУТРІШНІХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ ПРОТЯГОМ 2017-2020 РОКІВ

Провівши аналіз стану перевезень можна визначити причини, які впливають як на збільшення так і на зменшення об'ємів перевезень. Причому усунувши негативні причини, які спричиняють зменшення об'ємів перевезень, можна досягти зворотнього позитивного ефекту, тобто збільшення вантажопотоків та пасажиропотоків. Зменшення вантажопотоків протягом 2017-2020 років залізничним, автомобільним та водним транспортом, що відбулося внаслідок значного скорочення виробництва товарів. Основною причиною зменшення вантажопотоків стало запровадження карантину, пов'язаного з пандемією Covid-19.

Відмічено, що річкові перевезення поки неконкурентні через низку факторів: застарілість та низьку енергоефективність шлюзів, відсутність стабільної глибини 3,65 м та відсутність належного флоту із сучасними системами навігації.

Україна має значний потенціал для організації логістичних схем перевезення вантажів за участю річкового транспорту на декількох напрямках. Наявність, хоча й дещо застарілої, потужної інфраструктурної бази, зручне географічне розташування та наявність вантажопотоків, що потенційно можуть бути перевезені по внутрішніх водних шляхах створює передумови для відновлення та розвитку цього транспортного напрямку.

Мета статті полягає у дослідженні об'ємів перевезень вантажів та пасажирів в Україні з 2017 року по 2020 рік. Досліджено спад внутрішніх перевезень. Проаналізовано причини цього спаду. Ліквідування причин спаду дозволить збільшити об'єми перевезень в наступних роках.

Ключові слова: перевезення, автомобільний транспорт, залізничний транспорт, водний транспорт, вантажні перевезення, пасажирські перевезення.

ВСТУП

За останні роки спостерігається зменшення об'ємів перевезень як пасажирів так і вантажів.

За офіційними даними статистики об'єми перевезень вантажів та пасажирів в Україні з 2017 по 2020 рік зменшилися. Зменшення вантажопотоків та пасажиропотоків спричинила не тільки пандемія COVID-19.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Згідно інформації викладеної на сайті <http://www.ukrstat.gov.ua>, об'єми вантажопотоків мали значення представлені на рис. 1



Рисунок 1 – Динаміка зміни вантажопотоків залізничним транспортом за 2017 – 2020 роки

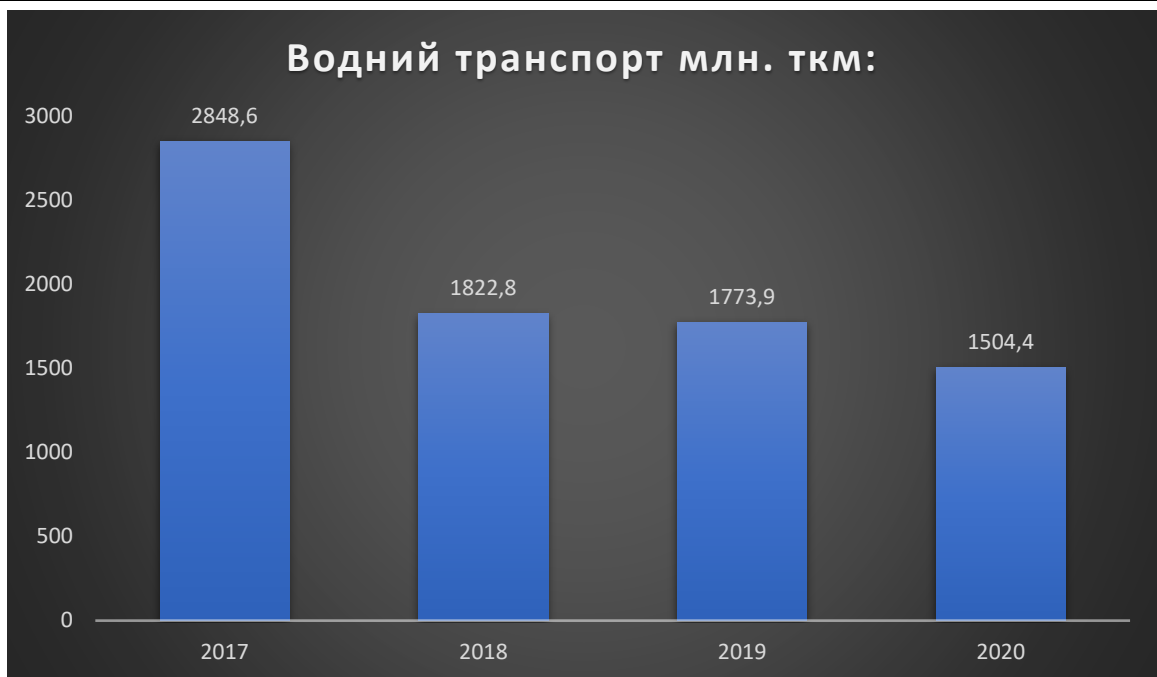


Рисунок 2 – Динаміка зміни вантажо потоків водним транспортом за 2017 – 2020 роки



Рисунок 3 – Динаміка зміни вантажо потоків автомобільним транспортом за 2017 – 2020 роки



Рисунок 4 – Динаміка зміни вантажопотоків повітряним транспортом за 2017 – 2020 роки

За даними річкової інформаційної служби України (РІС) філії «Дельта-Лоцман», за підсумками перших 4-х місяців 2021 року вантажні річкові перевезення Дніпром склали 3,12 млн тонн і збільшилися на 1,2 млн тонн у порівнянні з аналогічним періодом 2020 року.

Старт реформи річкових перевезень і відновлення внутрішніх водних шляхів залишаються одним із пріоритетних завдань Мінінфраструктури на 2021 рік. І продовжується активна підготовка відповідних документів для імплементації нового закону «Про внутрішній водний транспорт», а також для створення окремого Держфонду внутрішніх водних шляхів, з якого в майбутньому модернізуватиметься та відновлюватиметься необхідна річкова інфраструктура. Відтак, протягом січня-квітня поточного року було здійснено 3465 рейсів у порівнянні з 1694 рейсами за аналогічний період 2020-го.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета статті полягає у дослідженні об'ємів перевезень вантажів та пасажирів в Україні з 2017 року по 2020 рік. Досліджено спад внутрішніх перевезень. Проаналізовано причини цього спаду. Ліквідування причин спаду дозволить збільшити об'єми перевезень в наступних роках.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В результаті обробленої інформації слід відмітити, що основна частка вантажів — будівельні, обсяги транспортування яких виросли на 126% і досягли 1,97 млн тонн. На другому місці – зерно (804,8 тис. тонн). Також річковим транспортом активно перевозиться металопродукція (340 тис. тонн).

Необхідно надалі проводити роботи по поглибленню фарваторів річок Дніпро та Припять для проходу великотонажних суден.

Зараз контейнерні перевезення річкою не можуть конкурувати із залізницею через стан річкової інфраструктури. Про це вказано і в Концепції розвитку мультимодальних перевезень в Україні, яку представило Міністерство інфраструктури.

Річкові перевезення поки неконкурентні через низку факторів: застарілість та низьку енергоефективність шлюзів, відсутність стабільної глибини 3,65 м та відсутність належного флоту із сучасними системами навігації.

Стан річкових контейнерних перевезень, тон:

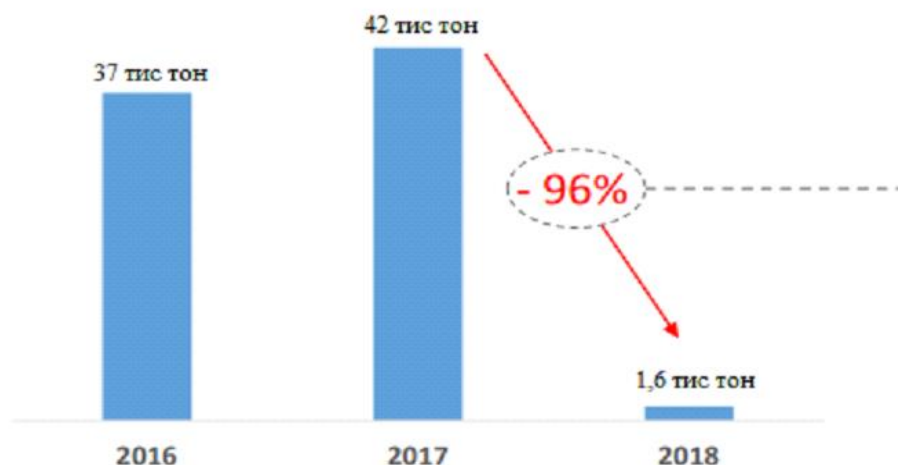


Рисунок 5 – Динаміка зміни контейнерних перевезень річковим транспортом

Так, у 2017 році річкою перевезено 42 тис. тонн, тоді як в 2018 році показник впав на 96% – до 1620 тонн. Причина – запуск контейнерного потягу Чорноморська (ТІС) – Нижньодніпровськ-Пристань (Укррічфлот), який показав значну ефективність та перевагу над перевезеннями контейнерів річкою.

У 2020 році літаками перевезено 1,8 мільярда осіб. Востаннє такі показники були ще 2003 року. Для порівняння, 2019 року літаки перевезли понад 4,5 мільярда людей. Загальні втрати 2020 року склали 370 мільярдів доларів. (<https://mtu.gov.ua>)

Через пандемію коронавірусу авіаперевезення були обмежені. Це призвело до банкрутства менших авіакомпаній.

У 2021 році авіаперевезення залежні від епідеміологічної ситуації в різних країнах, тому існують різні варіанти розвитку подій. Кількість пасажирів може збільшитись на 71%, при сприятливих умовах в порівнянні 2020 роком (до 53% на міжнародних авіалініях і до 84% на внутрішніх), при несприятливих умовах — лише до 49%.

У грудні 2020 року Wizz Air відновив польоти з Києва до Копенгагена, Пардубіце, Біллунна, Відня, Кракова, Лісабона, Гамбурга, Будапешта, Неаполя, Познані, Братислави, Катовіце. Зі Львова відновили польоти до Берліна, Щецина, Братислави, Пардубіце, Вільнюса, а також із Харкова до Кракова, Дортмунда, Відня, Гданська та Вроцлава. Однак виконання реального рейсу відбувається при сприятливій епідеміологічній ситуації в конкретному місці й рішень місцевої влади.

Аеропорти працюють за новими правилами. В терміналі мають право перебувати лише пасажирів, члени екіпажу та обслуговуючий персонал. У приміщенні усі мають бути у масках. Пасажирам, які прилітають та відлітають, вимірюють температуру та при необхідності роблять ПЛР-тест.

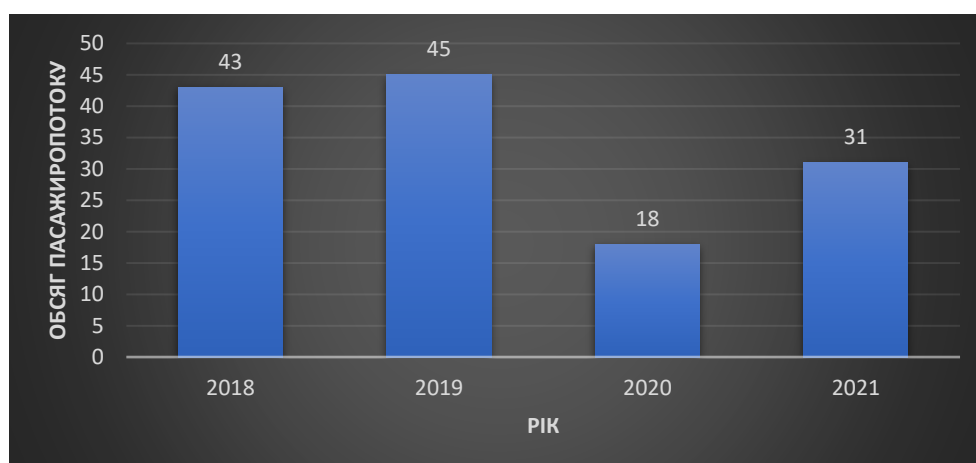


Рисунок 6 – Динаміка зміни пасажиропотоків повітряним транспортом

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

2021 рік відзначився зростанням обсягів пасажирських перевезень. За даними Державіаслужби України, загалом українські аеропорти надали послуги 20,5455 млн. пасажирів, що на 24,5% перевищує аналогічні показники 2020 року. Переважна більшість цього пасажиропотоку припала на міжнародні рейси - близько 18,4 млн., тобто практично 90%. Потреба в недорогих авіаперевезеннях Україною залишається, більш того, авіаційне сполучення в межах країни й надалі залишається здебільшого дорогим.

ВИСНОВКИ

Україна має значний потенціал для організації логістичних схем перевезення вантажів за участю річкового транспорту на декількох напрямках. Наявність, хоча й дещо застарілої, потужної інфраструктурної бази, зручне географічне розташування та наявність вантажопотоків, що потенційно можуть бути перевезені по внутрішніх водних шляхах створює передумови для відновлення та розвитку цього транспортного напрямку.

Проаналізувавши вищеприведені результати можемо відмітити, що у 2020 році значно зменшилися об'єми перевезень вантажів та пасажирів. У 2021 році об'єми перевезень зросли. На такі зміни значно вплинула пандемія COVID-19. Очевидно що і в подальшому спад чи ріст захворюваності на коронавірус впливатиме на динаміку виробництва товарів, а отже, і на зміну об'ємів перевезень.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. www.mtu.gov.ua – офіційний сайт Міністерства інфраструктури
2. www.ukrstat.gov.ua – сайт держстатистики
3. Математические методы моделирования и оперативного планирования перевозок на автотранспорте [Текст] : [монография] / В. Г. Галушко. - К. : НТУ, 2013. - 198 с.
4. Проблемы теории и практики развития морского транспорта Украины [Текст] : науч. моногр. / Котлубай Алексей Михайлович ; Нац. акад. наук Украины, Ин-т проблем рынка и экон.-экол. исслед. - О. : ИПРЭИ НАН Украины, 2011. - 267 с.
5. Методологічні підходи до модернізації транспортної системи України [Текст] : монографія / Н. В. Кудрицька. - К. : НТУ, 2013. - 127 с.
6. Логістичне управління та безпека руху на транспорті. Науково-практична конференція студентів та молодих вчених, 18-20 листопада 2015 року, м. Харків [Текст] : зб. наук. пр. / Східноукр. нац. ун-т ім. Володимира Даля, Каф. "Логіст. упр. та безпека руху на трансп." [та ін.] ; [відп. ред. Чернецька-Білецька Н. Б.]. - Северодонецьк : СХУ ім. В. Даля, 2015. - 184 с.

REFERENCE

1. www.mtu.gov.ua is the official website of the Ministry of Infrastructure
2. www.ukrstat.gov.ua - site of state statistics
3. Mathematical methods of modeling and operational planning of transportation by motor transport [Text]: [monograph] / V.V. G. Galushko. - K.: NTU, 2013. - 198 c.
4. Problems of theory and practice of development of maritime transport of Ukraine [Text]: science. monograph / Kotlubay Alexey Mikhailovich; Nat. acad. Sciences of Ukraine, Inst. of Market Problems and Economics. research. - NAN Ukraine, 2011. - 267 c.
5. Methodological approaches to the modernization of the transport system of Ukraine [Text]: monograph / NV V. Kudrytska. - K.: HTU, 2013. - 127 c.
6. Logistics management and traffic safety. Scientific and practical conference of students and young scientists, November 18-20, 2015, Kyiv, st. Kharkiv [Text]: coll. Science. etc. / East Ukrainian. nat. Univ. Vladimir Dahl, Dept. "Logistics management and traffic safety on transport." [etc.] ; [resp. ed. Chernetskaya-Biletskaya NB]. - Severodonetsk: SNU named after V. Dalya, 2015. - 184 p.

Bodak V.I., Gandziuk M.O., Dubitsky O.S., Mazilyuk P.V. Analysis of the state of domestic transportation in ukraine during 2017-2020

After analyzing the state of traffic, you can identify the reasons that affect both the increase and decrease in traffic. Moreover, eliminating the negative causes that cause a decrease in traffic, you can achieve the opposite positive effect, ie an increase in freight and passenger traffic. Reduction of freight flows during 2017-2020 by rail, road and water transport, which occurred due to a significant reduction in the

production of goods. The main reason for the decrease in freight traffic was the introduction of quarantine related to the Covid-19 pandemic.

It is noted that river transport is still uncompetitive due to a number of factors: obsolescence and low energy efficiency of locks, lack of stable depth of 3.65 m and lack of proper fleet with modern navigation systems.

Ukraine has significant potential for the organization of logistics schemes for the transportation of goods involving river transport in several directions. The presence of, albeit somewhat outdated, powerful infrastructure base, convenient geographical location and the presence of freight flows that can potentially be transported by inland waterways creates the preconditions for the restoration and development of this transport direction.

The purpose of the article is to study the volume of cargo and passenger traffic in Ukraine from 2017 to 2020. The decline in domestic traffic has been studied. The reasons for this decline are analyzed. Eliminating the causes of the recession will increase traffic in the coming years.

Key words: transportation, road transport, railway transport, water transport, freight transportation, passenger transportation.

БОДАК Володимир Іванович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: bodak.lutsk@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-2521-7305>.

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

ДУБИЦЬКИЙ Олександр Сергійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: oleksandr.dubyskyi@lutsk-ntu.com.ua. <https://orcid.org/0000-0002-4863-4040>.

МАЗИЛЮК Павло Вікторович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: mazylyuk@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-5071-5109>.

Volodymyr BODAK, Ph.D in Engineering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University, e-mail: bodak.lutsk@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-2521-7305>.

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

Oleksandr DUBYTSKYI, Ph.D in Engineering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University, e-mail: oleksandr.dubyskyi@lutsk-ntu.com.ua. <https://orcid.org/0000-0002-4863-4040>.

Pavlo MAZYLYUK, Ph.D in Engineering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University, e-mail: mazylyuk@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-5071-5109>.

DOI 10.36910/automash.v2i17.633

Гандзюк М.О., Гандзюк Д.М., Шумік Б.В.
Луцький національний технічний університет

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ АВТОМОБІЛІВ НА МІЖМІСЬКИХ МАРШРУТАХ

В даний час успішна робота всіх галузей народного господарства неможлива без ефективного транспортного обслуговування. Організація роботи транспорту повинна забезпечувати ефективне постачання промислового виробництва, сільського господарства, інших галузей народного господарства, а також задовольняти потреби населення в перевезеннях з системних позицій. Комплексний підхід до організації та планування перевезень вимагає досягнення мінімальних витрат як у всій системі транспортного обслуговування, так і в окремих її елементах. Вирішення цього завдання неможливо без заміщення існуючих раніше технологій і методів організації і планування транспортного процесу на сучасні.

Сучасні вимоги до організації перевізного процесу та якості виконуваних перевезень на автомобільному транспорті диктують необхідність застосування нових організаційних і технологічних рішень в плануванні перевезень з використанням програмно-цілових і логістичних принципів.

Існуюча організація системи оперативного планування не завжди відповідає реальним потребам учасників процесу вантажних автомобільних перевезень. Основним недоліком на сьогоднішній день є те, що методологічна база сегментована і описує окремі етапи планування процесу перевезень. Методики, які працюють сьогодні, присвячені окремим завданням, таким як визначення оптимальної вантажопідйомності парку рухомого складу, розрахунок техніко-експлуатаційних показників, в тому числі необхідної кількості автомобілів, розподіл рухомого складу за заявками із застосуванням методів лінійного програмування, складання графіка роботи автомобілів, розрахунок витрат на перевезення та інші.

Виконання такого різноманіття розрізнених операцій і завдань в сучасних умовах без комплексного підходу до їх вирішення, а також без автоматизації переробки значних обсягів інформації неефективне.

Крім того методики розрахунку необхідної кількості автомобілів мають серйозні похибки, це виражається в невідповідності розрахункових і фактичних величин.

Незважаючи на те, що останніми роками ведеться активна розробка і впровадження на автотранспортні підприємства програм автоматизованого документообігу та планування роботи автомобілів, в даний час не існує методики, яка забезпечує комплексне планування та рішення перерахованих вище завдань з урахуванням специфіки міжміських перевезень, тоді як сучасні тенденції розвитку автотранспорту в Україні пов'язані з інтенсивним їх розвитком.

Ключові слова: перевезення, техніко-експлуатаційні показники, міжміський маршрут, система, оперативне планування, заявка, методика, алгоритм, автоматизація, методологічна база.

ВСТУП

На сьогоднішній день існує безліч методик для оптимізації роботи рухомого складу і визначення ТЕП його роботи. Однак більшою частиною, вони можуть бути застосовані для здійснення планування і оцінки роботи автомобілів, зайнятих на міських маршрутах.

Систематизація сучасної методологічної бази розрахунку техніко-експлуатаційних показників для міжміських перевезень дозволяє стверджувати:

- методики які працюють сьогодні присвячені окремим завданням, таким як визначення оптимальної вантажопідйомності парку рухомого складу, розрахунок техніко-експлуатаційних показників, в тому числі необхідної кількості автомобілів, розподіл рухомого складу по заявках із застосуванням методів лінійного програмування, складання графіка роботи автомобілів, розрахунок витрат на перевезення та інші.

Виконання такого різноманіття розрізнених операцій і завдань в сучасних умовах без комплексного підходу до їх вирішення, а також без автоматизації переробки значних обсягів інформації неефективне;

- багато методик розрахунку техніко-експлуатаційних показників і, в тому числі, необхідної кількості автомобілів для виконання заданого обсягу перевезень базуються на фіксованому значенні вантажопідйомності автомобіля, в той час як визначення оптимальної вантажопідйомності має передувати визначенню необхідної кількості автомобілів. В цьому випадку, якщо диспетчер здійснює «вручну» підбір транспортних засобів різної вантажопідйомності на заявку, витрати часу і трудовитрати значні;

- більшість існуючих методик розроблені для планування міських перевезень з незначними витратами часу на оборот рухомого складу, що не застосовується в умовах міжміських перевезень;

- в даний час в якості тимчасового інтервалу для планування роботи рухомого складу використовуються, за звичай, «доба» і «рік», але специфіка міжміських перевезень іноді вимагає використання інших тимчасових інтервалів;

- у разі використання наявних методик виникає похибка при розрахунку необхідної кількості автомобілів, що експлуатуються на міжміських маршрутах, за умови регламентації часу відправлення та доставки вантажу;

- для складання графіка роботи автомобілів на лінії службовцям, для уточнення і перевірки можливості виконання перевезень розрахованою кількістю автомобілів, застосовуються, за звичай, не автоматизовані трудомісткі графоаналітичні методи;

- розподіл автомобілів по заявках з урахуванням їх вантажопідйомності проводиться за допомогою методів лінійного програмування, проте використання критерію часу в рішенні транспортної задачі порушує лінійність завдання. Внесення інформації про наявність вільного рухомого складу при вирішенні транспортної задачі відбувається «вручну». До сьогодні процес розподілу рухомого складу по заявках з допомогою економіко-математичних методів не автоматизовано.

Для того щоб достовірно описати технологічний процес перевезень необхідно чітко уявляти собі часовий відрізок, протягом якого відбуваються події.

З огляду на особливості умов роботи рухомого складу, експлуатованого на міжміських маршрутах, пропонується здійснювати планування техніко-експлуатаційних показників його роботи не за добу, а за більший період часу. Для розрахунку ТЕП може бути використаний рік, півріччя, сезон, квартал, місяць, тиждень або час виконання заявки з урахуванням повернення автомобіля в початковий пункт маршруту.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В даний час актуальність інтенсивного розвитку автомобільних вантажних перевезень стала вагомою не тільки в ділових колах автотранспортної галузі, а й на державному рівні. Зокрема це відображено в Національній транспортній стратегії України до 2030 року, прийнятій розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р.

Для задоволення зростаючого попиту на переміщення вантажів в міжміському і міжнародному сполученні виникає необхідність збільшення продуктивності роботи рухомого складу за рахунок якісного оновлення парку рухомого складу, раціонального використання наявного потенціалу провізних можливостей, оперативного планування роботи автомобілів на маршрутах.

Зниження якості надання транспортних послуг підприємствами автомобільного транспорту викликано рядом причин, які пов'язані як з технічними аспектами функціонування підприємств, так і з нераціональною організацією планування на підприємствах.

Існуюча організація системи оперативного планування не завжди відповідає реальним потребам учасників процесу вантажних автомобільних перевезень. Основним недоліком на сьогоднішній день є те, що методологічна база сегментована і описує окремі етапи планування процесу перевезень. Методики, які працюють сьогодні, присвячені окремим завданням. Велика розмірність завдань і велика кількість суттєвих для практики обмежень призводить до неможливості отримання оптимальних рішень традиційними методами.

Проблеми оптимізації роботи рухомого складу і визначення ТЕП його роботи частково розглянуті у роботі вітчизняних і зарубіжних вчених, а саме Войтенкова С.С., Житкова В.А., Калініченко О.П., Кіма К.В., Крамаренка Ю.М., Менухової Т.А., Нефьодова В.М., Олісевича М.С., Павленка О.В., Подоляка О.С., Прокудіна Г.С., Смирковської В.Ю. та інших.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проведений аналіз сучасних підходів до вирішення задач оперативного планування вантажних перевезень на автомобільному транспорті дозволяє зробити висновок, що однією з перспективних задач підвищення якості оперативного планування є розробка методики оперативного планування роботи автомобілів на міжміських маршрутах, яка дозволяла б виконувати одночасно операції по визначенню раціональної вантажопідйомності автомобілів щодо вимог заявки, розраховувати необхідну кількість автомобілів з урахуванням оптимальної продуктивності рухомого складу і витрат на перевезення, обліковувати витрати на перевезення і розраховувати техніко-експлуатаційні показники роботи рухомого складу, визначати зайнятість парку автомобілів в будь-який момент часу.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для вдосконалення оперативного планування роботи автомобілів на міжміських маршрутах необхідно мати методика, яка адекватно відповідає сучасним умовам функціонування і потребам учасників ринку транспортних послуг.

При цьому слід керуватися принципом системного комплексного підходу, суть якого полягає не у встановленні відповідності того чи іншого параметра чинним нормам і вимогам, а в знаходженні рішення, що дозволяє не тільки формально усунути зазначений недолік, але і знайти варіант поліпшення цього показника, підвищити ефективність використання кожного елемента наявного технологічного потенціалу, досягти найкращого результату. У зв'язку з чим потрібно не тільки вивчати існуючий стан об'єкта дослідження, а й розглядати перспективи його розвитку.

Для оцінки діяльності автотранспортного підприємства застосовується системний комплексний підхід. Автотранспортне підприємство може бути розглянуто як єдина система забезпечення потреби клієнтів в перевезеннях.

Автотранспортне підприємство можна розглядати як систему з підсистемами, в якості яких виступають структурні підрозділи підприємства, від діяльності яких безпосередньо залежить робота підприємства в цілому. Використовуючи системний аналіз для формування структури управління процесом перевезення, можна виділити основні функціональні елементи системи. Для автотранспортного підприємства це структурні підрозділи (відділи), що знаходяться в постійному взаємозв'язку.

При дослідженні всієї системи відділів автотранспортного підприємства з їх завданнями, функціями і обов'язками ці підрозділи не можна розглядати окремо один від одного, оскільки досягнення мети - забезпечення виконання замовлень в повному обсязі і в строк при мінімальних витратах - можливо лише при системному комплексному підході.

Автотранспортне підприємство можна розглядати як систему управління перевезеннями. Для вдосконалення процесів перевезень широко використовується PDCA-підхід (Plan-Do-Check-Act (Плануй - Роби - Перевіряй - Дій), який використовується при впровадженні змін і вирішенні проблем (рисунок 1).

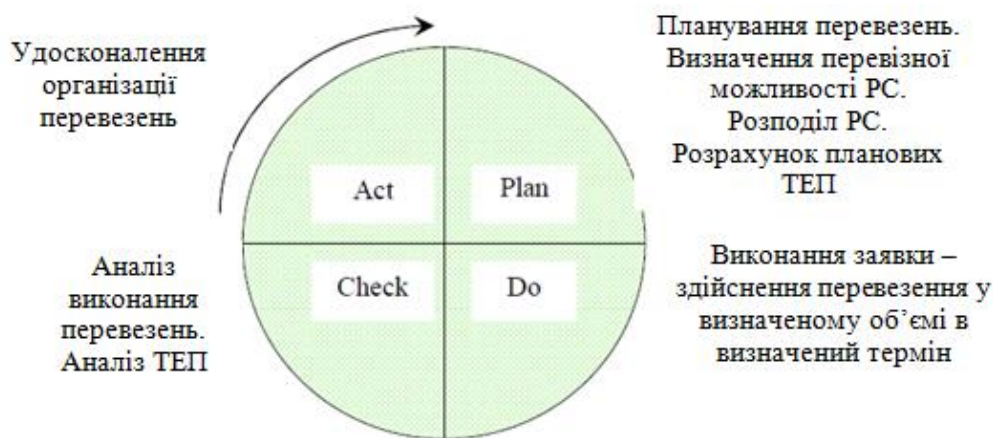


Рисунок 1 - PDCA-підхід при плануванні, аналізі та вдосконаленні діяльності автотранспортного підприємства

У цій системі велике значення мають етапи планування та аналізу діяльності підприємства. В якості зворотнього зв'язку для визначення ефективності функціонування автотранспортного підприємства, як даної системи, використовуються техніко-експлуатаційні показники (ТЕП) роботи рухомого складу.

Визначення необхідної кількості автомобілів на автотранспортному підприємстві повинно здійснюватися з урахуванням максимальної ефективності.

Забезпечення виконання замовлень в повному обсязі і в строк при мінімальних витратах може бути досягнуто створенням оптимальних перевізних можливостей автотранспортного підприємства і підвищенням їх ефективності.

Схема перетворення потреби клієнтів в задоволеність при проходженні через систему автотранспортного підприємства представлена на рисунку 2.

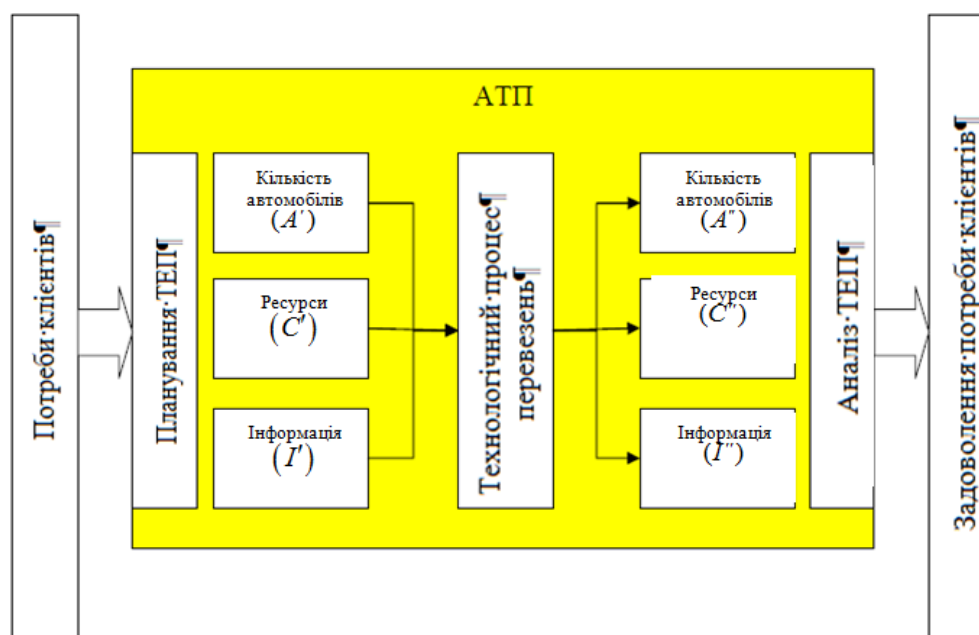


Рисунок 2 - Схема перетворення потреби клієнтів в задоволеність при проходженні через систему автотранспортного підприємства

Під вимогою (заявкою) будемо розуміти потребу у виконанні доставки вантажу.

Час заявки (терміновість її виконання), відстань перевезення (довжина маршруту), тривалість перевезення впливають на величину пропускної здатності системи, оскільки є складовими вхідного потоку вимог. На величину пропускної здатності системи також впливають і внутрішні чинники цієї системи, такі як організація роботи відділів системи, технологічний процес, виробничі потужності підприємства, наявні на конкретний момент часу (за кількістю і станом). При дослідженні системи необхідно враховувати вплив окремих підсистем на роботу всієї системи. Система може успішно справлятися з покладеними на неї завданнями тільки за умови, що пропускна здатність системи перевищує сумарний вхідний потік вимог [8] на всі види перевезень. Зайва кількість автомобілів пов'язана з великими капітальними вкладеннями, що призводить до заморожування коштів підприємства, тому необхідно точно визначати найбільш вигідну (оптимальну) величину резерву автомобілів. Оптимальна величина резерву виробничих потужностей системи може бути виявлена за економічним критерієм - забезпечення мінімуму витрат або максимуму прибутку [8]. В сучасних умовах функціонування транспортних компаній залишається актуальною задача точного визначення виробітку рухомого складу і ресурсів, необхідних для здійснення доставки вантажів. Одним з напрямків раціонального використання ресурсів на автомобільному транспорті є оптимізація витрат методами математичного програмування, за допомогою яких можливо проектування матеріально-технічної бази і оптимальних маршрутів доставки вантажів, розподіл рухомого складу і навантажувально-розвантажувальних засобів і багато іншого.

Підсумовуючи вище сказане можна стверджувати, що є необхідність розробки методики оперативного планування (МОП) роботи автомобілів на міжміських маршрутах, що дозволила б:

- одночасно виконувати комплекс операцій з планування роботи автомобілів з мінімальними затратами;

- комплексно і точно планувати роботу автомобілів;
- автоматизувати процес розподілу автомобілів за заявками;
- оперативно проводити аналіз роботи рухомого складу на міжміських маршрутах.

При розробці методики в основу покладено фіксацію тимчасового інтервалу «час виконання j -ої заявки» і моментів початку і закінчення виконання роботи ідентифікованого автомобіля в операторі обліку часу.

При автоматизованому обліку в методиці таких факторів, як обсяг вантажу, заявленого до перевезення, час заявки, час обороту рухомого складу на маршруті, зайнятість автомобілів на інших заявках, продуктивність рухомого складу на заявці, розподіл автомобілів по заявках відбувається з високою оперативністю, точністю, ефективністю і з меншими затратами.

У методиці враховується специфічна особливість міжміських перевезень виявлена при

виконанні роботи: велика протяжність маршрутів, що призводить до необхідності віддавати перевагу при виборі рухомого складу автомобілям більшої вантажопідйомності для виконання заявки меншою кількістю оборотів. Цей фактор був врахований в алгоритмі розподілу рухомого складу по заявках на міжміських маршрутах.

Методика дозволяє поєднувати в собі і виконувати одночасно операції по визначенню раціональної вантажопідйомності автомобілів щодо вимог заявки, розрахунку необхідної кількості автомобілів з урахуванням оптимальної продуктивності рухомого складу і витрат на перевезення, обліку витрат на перевезення і розрахунку техніко-експлуатаційних показників роботи рухомого складу, визначення зайнятості парку автомобілів в будь-який момент часу.

Для здійснення оперативного планування за наведеним алгоритмом необхідно сформувати бази даних (БД) вихідної інформації « Z_j » (отримані заявки), « A_{ik} власн» (власний парк автомобілів), « A_{ik} зал» (залучений парк автомобілів) і бази даних результуючої інформації « $ТЕП_j$ » (ТЕП за заявкою), « $ТЕП_{ц розр}$ » (ТЕП за «розрахунковий час циклу»), « $C_{перев j}$ » (витрати на перевезення по заявці), « $C_{перев ц розр}$ » (витрати на перевезення за «розрахунковий час циклу»).

Планування може виконуватися автотранспортним або експедиційним підприємством, що експлуатує власний або залучений вантажний автомобільний транспорт. У автотранспортне або експедиційне підприємство надходять заявки Z_j (j - порядковий номер заявки, $j = 1 \dots m$). Вхідний потік вимог складається з:

- найменування і властивостей вантажу;
- обсягу вантажу, заявленого до перевезення Q_j , т, $j = 1 \dots m$;
- дати поставки $t_{j \text{ кін}}$ і терміну заявки $T_{з \text{ дн } j}$, днів, $j = 1 \dots m$;
- пунктів навантаження і розвантаження та виходячи з цього довжини маршруту l_{mj} , км, $j = 1 \dots m$.

Для здійснення оперативного планування будуть потрібні вихідні дані, представлені на рисунках 3 і 4.

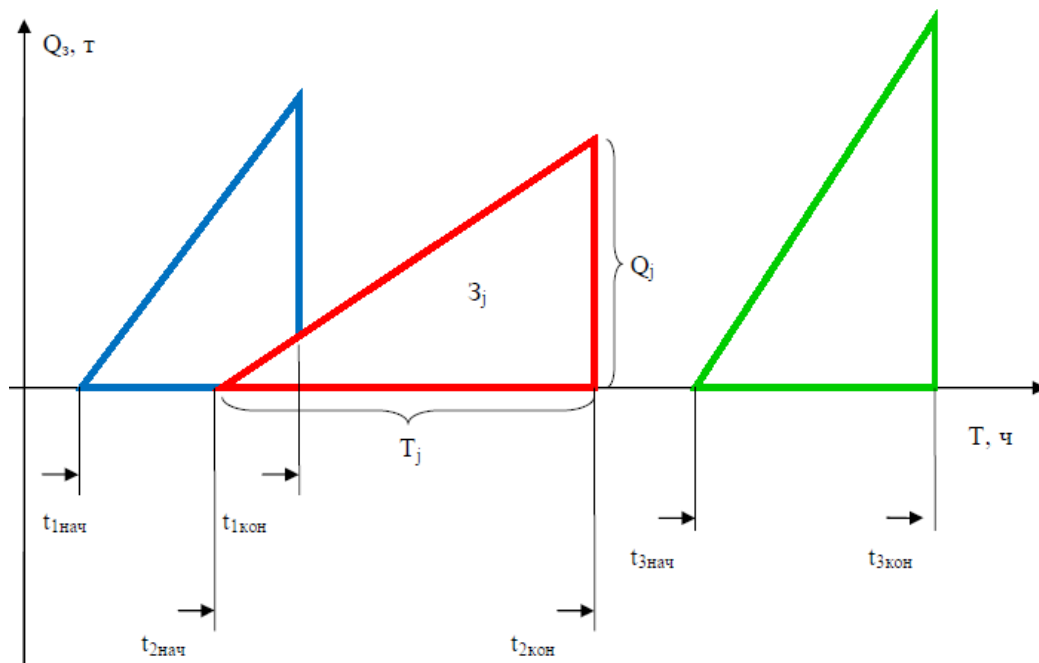


Рисунок 3 - Вихідні дані по заявках для здійснення оперативного планування

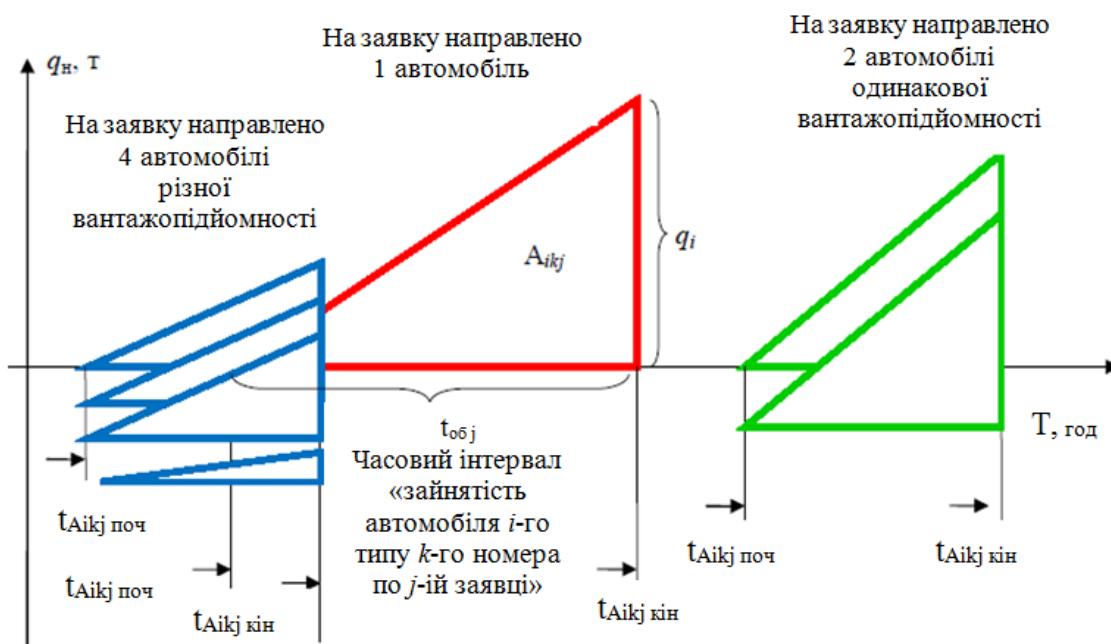


Рисунок 4 - Вихідні дані по автомобілях для здійснення оперативного планування

Розглянемо найбільш складний випадок застосування даної методики.

Автотранспортне підприємство має власні автомобілі A_{ik} (i - типи автомобілів, $i = 1 \dots n$, k - номер автомобіля, $k = 1 \dots p$) з номінальною вантажопідйомністю q_{ni} .

При надходженні заявки із зазначенням виду вантажу і габаритних характеристик автоматично буде задіяний підрозділ БД « A_{ik} власн» або « A_{ik} зал» з тим типом рухомого складу, який використовується для перевезення даної категорії вантажів.

Для забезпечення максимально ефективного використання вантажопідйомності автомобіля і об'єму кузова розраховується коефіцієнт використання вантажопідйомності і вантажомісткості. За допомогою оператора «OR» визначається оптимальне розташування вантажу в кузові автомобіля. При визначенні максимального завантаження транспортних засобів можна використовувати відомі залежності [3]:

$$N_D = [D_K / (D_B \text{ OR } \Pi_B \text{ OR } B_B)]$$

$$N_{\Pi} = [\Pi_K / (D_B \text{ OR } \Pi_B \text{ OR } B_B)]$$

$$N_B = [B_K / (D_B \text{ OR } \Pi_B \text{ OR } B_B)]$$

N_D - кількість розташованих одиниць вантажу по довжині кузова транспортного засобу, од.;

N_{Π} - кількість розташованих одиниць вантажу по ширині кузова транспортного засобу, од.;

N_B - кількість розташованих одиниць вантажу по висоті кузова транспортного засобу, од.;

D_K - довжина кузова транспортного засобу, м;

Π_K - ширина кузова транспортного засобу, м;

B_K - висота кузова транспортного засобу, м;

D_B - довжина вантажу;

Π_B - ширина вантажу;

B_B - висота вантажу;

[...] - мінімальне ціле число;

OR - оператор вибору альтернатив «або».

При здійсненні розрахунків слід керуватися обмеженнями, що впливають з властивостей вантажу, що перевозиться (максимальна висота укладання, орієнтація і т.д.).

Максимально можливу кількість одиниць вантажу, що розміщується в кузові транспортного

засобу [3]:

$$N_{\max} = N_D \cdot N_{III} \cdot N_B.$$

Коефіцієнти використання вантажопідйомності і вантажомісткості визначаються за класичними формулами.

Для визначення оптимального маршруту і пробігу рухомого складу можна застосовувати існуючі програмні продукти, в тому числі зазначені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Характеристики сучасних програмних продуктів з планування перевезень

Постачальник: назва ІТ рішення	Інтеграція в ІС	Заявка на доставку	Побудова маршрутів	Розподіл по автомобілях	Друк документів	План-факт	Облік найму	Облік ПММ	Облік постійних витрат	Облік рознесених витрат	Підсумкові звіти
ДТКсофт: ІАС "Вантажоперевезення"											
РАРУС: Управління транспортном											
ФОРЕС: Автотранспорт											
Акселот: Управління перевезеннями											
ІТОВ: Центр логістики											
АНТОР: Logistics Master											
ESRI: ArcLogistics Route											
ТопПлан: TopLogistics											
СДС: ОПТИМУМ ГИС											
Эрмасофт: СИТИ-Доставка											

Для вирішення поставленої в роботі мети введемо поняття «Ідентифікований автомобіль» і «оператор обліку часу зайнятості ідентифікованого автомобіля».

Ідентифікуємо рухомий склад, використовуємо для цього додатковий індекс «*k*» (*k* - номер автомобіля, що дозволяє його ідентифікувати, $k = 1 \dots p$), що дозволить з більшою точністю і оперативністю здійснювати вибір рухомого складу серед вільних автомобілів для роботи на *j*-ій заявці.

Застосовуємо оператор обліку часу (ООЧ), який дозволяє фіксувати:

- часовий інтервал «час виконання *j*-ої заявки»;
- моменти початку і закінчення виконання роботи ідентифікованого транспортного засобу;
- часовий інтервал «зайнятість автомобіля *i*-го типу *k*-го номера на *j*-ій заявці». Це дозволяє врахувати і впорядкувати в часі надійшовші на автотранспортне або експедиційне підприємство заявки і уникнути надалі трудомісткої побудови графіка випуску автомобілів вручну.

Блок-схема МОП роботи автомобілів на міжміських маршрутах представлена на рисунку 5.

Розподіл рухомого складу по заявках проводиться у відповідності до алгоритму, представленого на рисунку 6.

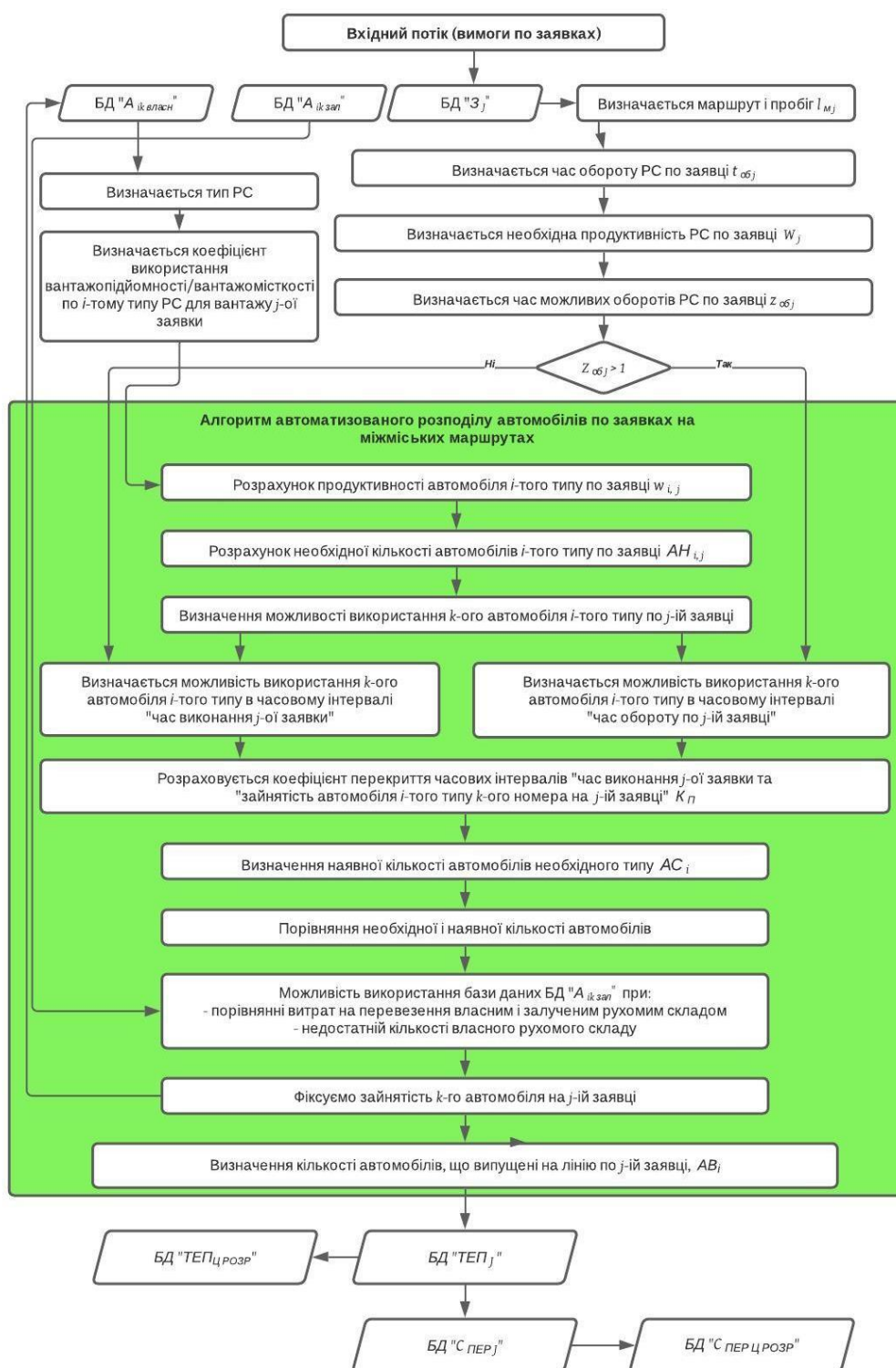


Рисунок 5 - Блок-схема методики оперативного планування роботи автомобілів на міжміських маршрутах

Важливим елементом методики оперативного планування роботи автомобілів на міжміських маршрутах є алгоритм автоматизованого розподілу автомобілів по заявках на міжміських маршрутах з використанням оператора обліку часу і коефіцієнта перекриття тимчасових інтервалів «час заявки» і «зайнятість автомобіля».

При надходженні чергової заявки розраховується:

- термін виконання заявки в годинах $T_{з год j}$, год, $j = 1 \dots m$;
- час обороту автомобіля на j -ій заявці $t_{обj}$, год;
- кількість оборотів автомобіля $Z_{обj}$ за термін виконання заявки в годинах $T_{з год}$;

- необхідна продуктивність рухомого складу по заявці:

$$W_j = \frac{Q_j}{t_{об j}}, (1)$$

де W_j - потрібна продуктивність рухомого складу за заявкою, т/год;

Q_j - обсяг вантажу, заявленого до перевезення, т;

$t_{об j}$ - час обороту автомобіля на j -ій заявці, год;

W_{ij} - продуктивність i -го типу автомобіля на j -ій заявці:

$$W_{ij} = \frac{q_{ni} \cdot \gamma}{t_{об j}}, (2)$$

де W_{ij} - продуктивність i -го типу автомобіля на j -ій заявці, т/год;

q_{ni} - номінальна вантажопідйомність автомобіля i -го типу, т;

γ - коефіцієнт використання вантажопідйомності і вантажомісткості (з допомогою оператора «OR» визначається оптимальне розташування вантажу в кузові автомобіля);

$t_{об j}$ - час обороту автомобіля на j -ій заявці, год.

Вибір оптимальної продуктивності рухомого складу на заявку здійснюється серед наявних вільних автомобілів, враховуючи умову:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij} = W_j.$$

При виборі автомобіля враховуються властивості вантажу і спеціалізація рухомого складу. Для розрахунку використовується підрозділ бази даних « A_{ik} власн» або « A_{ik} зал» по певній групі рухомого складу (бортові, рефрижератори, самоскиди, цистерни).

Вибір рухомого складу починаємо з розрахунку необхідної кількості автомобілів максимальної продуктивності $w_{i=1,j}$ ($w_{i=1,j} = \max w_{i,j}$):

$$AH_{i,j} = \frac{W_j - \sum_{i=1}^{n-1} AB_i w_{ij}}{w_{ij}}, (3)$$

де $AH_{i,j}$ - необхідна кількість автомобілів i -го типу на j -ій заявці, з максимальною продуктивністю, од.;

AB_i - автомобілі i -го типу, вибрані для роботи на j -ій заявці, од.;

w_{ij} - максимальна продуктивність рухомого складу на j -ій заявці із наявного на підприємстві, т/год.

Визначається можливість використання автомобіля $i=1$ типу k -го номера для роботи на j -ій заявці (чи вільний даний автомобіль на часовому інтервалі «час виконання j -ої заявки») з використанням *ООЧ* та *БД* « A_{ik} власн». Для цього розраховується коефіцієнт перекриття K_{Π} :

$$K_{\Pi} = \frac{t_{A_{ik} \text{ мпоч}}}{t_{A_{ik(m-1)} \text{ кінц}}}, (4)$$

де K_{Π} - коефіцієнт перекриття тимчасових інтервалів «час виконання j -ої заявки» і «зайнятість автомобіля i -го типу k -го номера на j -ій заявці»;

$t_{A_{ik} \text{ мпоч}}$ - точка початку роботи автомобіля i -го типу k -го номера A_{ik} на запланованій j -ій заявці, год;

$t_{A_{ik(m-1)кінц}}$ - точка закінчення роботи автомобіля i -го типу k -го номера A_{ik} на попередній заявці, год.

Використовуємо оператор « $K_{II} \geq 1$ ». Якщо $K_{II} \geq 1$, то цей автомобіль може бути задіяний на планованій заявці і присвоюємо йому «1»-допущений. Визначаємо кількість автомобілів $i=1$ типу вільних для виконання даної заявки і позначаємо його AC_i . При виборі автомобіля можна встановити пріоритет для тих автомобілів, які мають найбільше значення K_{II} . Це забезпечить рівномірне використання автомобілів.

Якщо $K_{II} < 1$, то цей автомобіль не може бути задіяний на планованій заявці, тому блокуємо його, привласнюючи йому «0» - не допущений.

У тому випадку, якщо за «час виконання j -ої заявки» може бути виконано кілька оборотів на маршруті, то розбиваємо цей часовий інтервал на відрізки «час одного обороту на j -ій заявці» і визначаємо можливість використання автомобілів на кожному з цих відрізків за формулою (4).

Наведений вище оператор в програмній оболонці представлений як оператор порівняння тимчасового інтервалу «час виконання j -ої заявки» і тимчасових інтервалів «зайнятість автомобіля i -го типу k -го номера на j -ій заявці».

Порівнюємо отримане раніше значення необхідної кількості автомобілів $i=1$ типу $AN_{i=1,j}$ з наявною кількістю власних вільних для виконання даної заявки автомобілів AC_i .

Використовуємо оператор « $AN_{i=1,j} \leq AC_{i=1,j}$ » і додатковий оператор « $AC_{i=1,j} < 1$ ».

Якщо автомобілів потрібно менше одиниці, а вільних автомобілів $i=1$ типу немає (ситуація №1), то зробимо розрахунок необхідної кількості автомобілів з найбільшим наступним значенням w_{ij} , а саме $w_{i=2,j}$ за формулою (3) і будемо слідувати наведеному раніше алгоритму.

Якщо автомобілів потрібно більше одиниці, а вільних автомобілів недостатньо (ситуація №2), то приймаємо для роботи на j -ій заявці кількість автомобілів i -го типу рівне наявним AC_{ij} :

$$AB_i = AC_{ij}, (5)$$

при цьому:

- враховується пріоритет на виконання j -ої заявки, його мають автомобілі з найбільшим позитивним значенням K_{II} ;

- присвоюється обраним для роботи на даній j -ій заявці автомобілів i -го типу і k -го номера «зайнятість автомобіля i -го типу k -го номера на j -ій заявці» в БД « A_{ik} власн» для того щоб використовувати цю інформацію при обробці наступних заявок.

Може скластися ситуація, коли власних автомобілів недостатньо для виконання обсягу перевезень за заявкою, тоді задіємо БД « A_{ik} зал».

Якщо $AN_{ij} \leq AC_{ij}$ і $AN_{ij} \leq 1$, це означає, що необхідних автомобілів потрібно менше одиниці і вільних автомобілів $i=1$ типу досить (ситуація №3).

Якщо $AN_{ij} \leq 1$, то в цьому випадку необхідно буде порівняти декілька альтернативних варіантів за витратами на перевезення:

Варіант 1. Приймаємо для роботи на j -ій заявці один автомобіль i -го типу:

$$AB_i = \text{ceiling } AN_{ij} = 1 = AC_{ij}, (6)$$

при цьому враховується пріоритет автомобілів на виконання j -ої заявки, і обраним для роботи на даній заявці автомобілям присвоюється «зайнятість автомобіля i -го типу k -го номера на j -ій заявці» в БД « A_{ik} власн».

Розраховуємо витрати на перевезення по j -ій заявці при використанні цього автомобіля i -го типу, використовуємо при цьому:

- БД «3» з інформацією: години роботи на маршруті і пробіг на маршруті по j -ій заявці;

- БД « A_{ik} власн» з інформацією: норма витрати палива, норма витрат на шини, норма витрат на ТО і ТР, норма амортизаційних відрахувань по рухомому складу, вартість автомобіля i -го типу;

- відомі формули для розрахунку експлуатаційних витрат.

Варіант 2. Розглянемо рухомий склад меншої вантажопідйомності і продуктивності. Зробимо розрахунок необхідної кількості автомобілів з найбільшим наступним значенням w_{ij} , а саме $w_{i=2,j}$ за

формулою аналогічною (3):

$$AH_{i=2,j} = \frac{W_j - \sum_{i=1}^{n-1} AB_{ik} w_{ij}}{w_{i=2,j}}$$

слідуючи викладеному раніше алгоритму, неодмінно перевіряючи наявність вільних автомобілів.

Якщо і тут $AH_{ij} < 1$, то підемо аналогічно діям при варіанті 1.

Якщо $AH_{ij} = 1$, то без додаткових розрахунків і порівнянь приймаємо для роботи на даній j -ій заявці саме цей автомобіль i -го типу k -го номера, відзначаємо «зайнятість автомобіля i -го типу k -го номера на j -ій заявці» в БД « A_{ik} власн» і завершуємо розрахунки.

Якщо $AH_{ij} > 1$, то при наявності вільних автомобілів приймаємо для роботи на j -ій заявці автомобілі i -го типу в кількості необхідних з заокругленням у більшу сторону

$$AB_i = \text{ceiling } AH_{ij}, (7)$$

і розраховуємо витрати на перевезення по j -ій заявці при використанні автомобілів цього i -го типу, використовуємо при цьому БД « $З_j$ », БД « A_{ik} власн» і відомі формули для розрахунку експлуатаційних витрат.

Як зазначалося вище порівнюємо ці альтернативні варіанти по витратах на перевезення і вибираємо той варіант, якому відповідають найменші витрати і завершуємо розрахунки.

Тепер розглянемо ситуацію №4, їй відповідає відповідь «ні» при використанні додаткового оператора « $AH_{ij} < 1$ ». Це означає, що $AH_{ij} > 1$ і вільних автомобілів $i=1$ типу досить. В цьому випадку необхідно буде порівняти декілька альтернативних варіантів по витратах на перевезення:

Варіант 1. Приймаємо для роботи на j -ій заявці автомобілі i -го типу в кількості потрібних з заокругленням у більшу сторону (7):

$$AB_i = \text{ceiling } AH_{ij}.$$

При цьому врахуємо пріоритет автомобілів на виконання j -ої заявки і дамо обраним автомобілям «зайнятість автомобіля i -го типу k -го номера на j -ій заявці» в БД « A_{ik} власн».

Розраховуємо витрати на перевезення по j -ій заявці при використанні автомобілів цього i -го типу.

Варіант 2. Приймаємо для роботи на j -ій заявці автомобілі i -го типу в кількості потрібних з заокругленням в меншу сторону:

$$AB_i = \text{int } AH_{ij}. (8)$$

При цьому врахуємо пріоритет автомобілів на виконання j -ої заявки і присвоїмо обраним автомобілям «зайнятість автомобіля i -го типу k -го номера на j -ій заявці» в БД « A_{ik} власн».

Зробимо розрахунок необхідної кількості автомобілів з найбільшим наступним значенням w_{ij} , а саме $w_{i=2,j}$ за формулою аналогічною (3)

$$AH_{i=2,j} = \frac{W_j - \sum_{i=1}^{n-1} AB_{ik} w_{ij}}{w_{i=2,j}}.$$

слідуючи викладеному раніше алгоритму, неодмінно перевіряючи наявність вільних автомобілів. Розраховуємо витрати на перевезення для варіанту 2.

Порівнюємо ці альтернативні варіанти за витратами на перевезення і вибираємо той варіант, якому відповідають найменші витрати та завершуємо розрахунки.

Після того, як фіксується результат AB_i , розраховується величина ΔW_j яка показує залишок нерозподіленого по автомобілях вантажу:

$$\Delta W_j = W_j - \sum_{i=1}^{n-1} AB_i w_{ij}. (9)$$

Якщо $\Delta W_j \leq 0$, то розрахунки закінчені, якщо $\Delta W_j > 0$, то продовжуємо перебір рухомого складу за індексами « k » і « i ».

Блок-схема алгоритму представлена на рисунку 6.

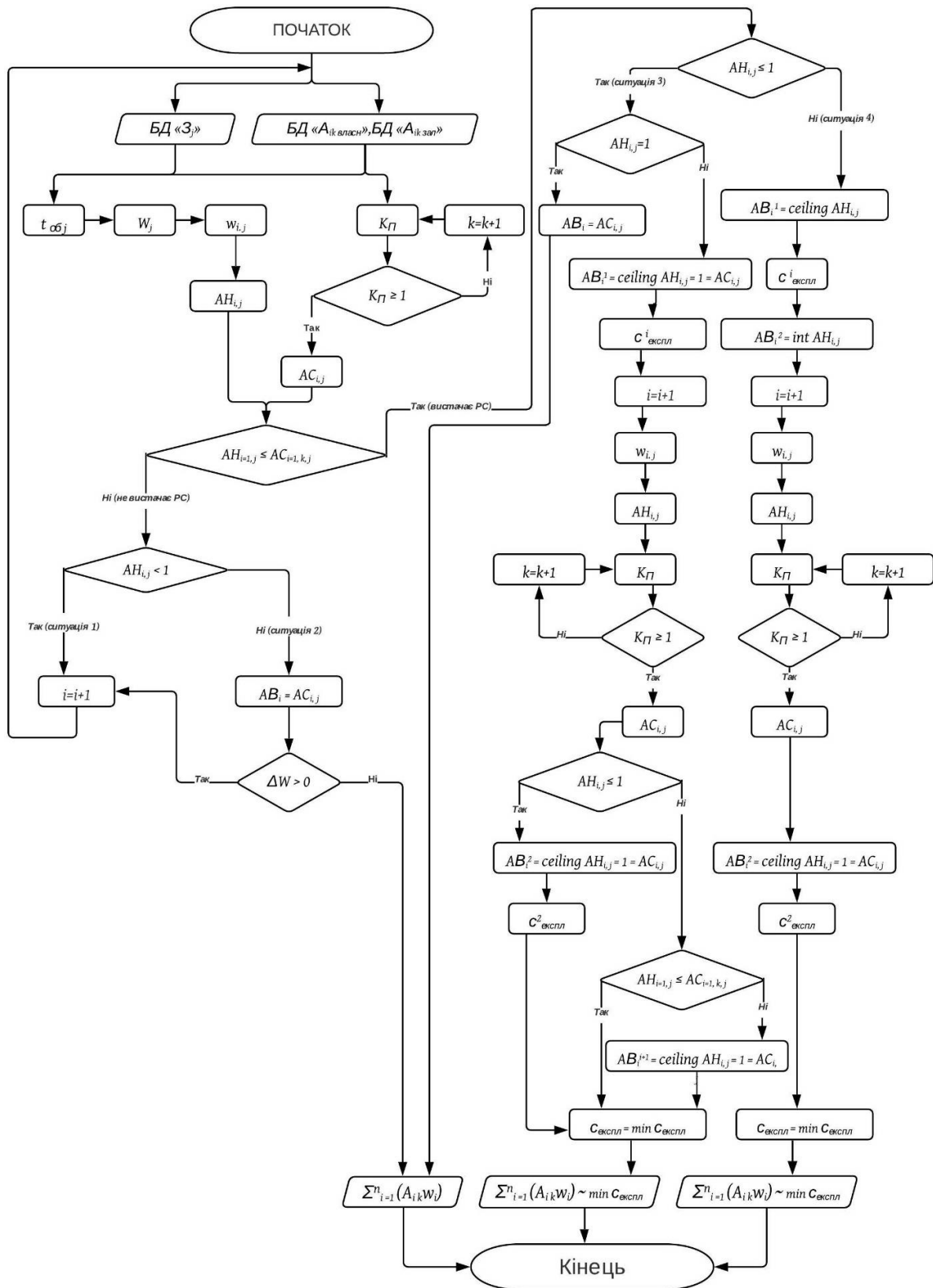


Рисунок 6 - Алгоритм автоматизованого розподілу автомобілів за заявками на міжміських маршрутах

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

На сьогоднішній день існує безліч методик для оптимізації роботи рухомого складу і визначення ТЕП його роботи. Однак більшою частиною, вони можуть бути застосовані для здійснення планування і оцінки роботи автомобілів, зайнятих на міських маршрутах.

Методики, які працюють сьогодні, присвячені окремим завданням, таким як визначення оптимальної вантажопідйомності парку рухомого складу, розрахунок техніко експлуатаційних показників, в тому числі необхідної кількості автомобілів, розподіл рухомого складу за заявками із застосуванням методів лінійного програмування, складання графіка роботи автомобілів, розрахунок витрат на перевезення та інші.

Розроблена методика оперативного планування роботи автомобілів на міжміських маршрутах дозволить усунути недоліки існуючих і оперативно виконувати планування роботи автомобілів на міжміських маршрутах.

ВИСНОВОК

Розроблена методика оперативного планування роботи автомобілів на міжміських маршрутах враховує специфічні особливості міжміських перевезень та дозволяє поєднувати в собі і виконувати одночасно операції по визначенню раціональної вантажопідйомності автомобілів щодо вимог заявки, розраховувати необхідну кількість автомобілів з урахуванням оптимальної продуктивності рухомого складу і витрат на перевезення, обліковувати витрати на перевезення і розраховувати техніко-експлуатаційні показники роботи рухомого складу, визначати зайнятість парку автомобілів в будь-який момент часу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Смирковская В.Ю. Структура и параметры систем доставки грузов: [зб. наук. праць // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем]. – Одеса: ОНМУ, 2005. – № 10. – С. 173-184.
2. Менухова Т.А. Совершенствование системы планирования автотранспортного предприятия в целях повышения его конкурентоспособности // Социально-гуманитарный вестник Юга России. Научный журнал. №2 (33), 2013.
3. Основы транспортно-экспедиционного обслуживания: учебно- методический комплекс / сост. Т.К. Екшикеев, А.В. Терентьев, В.И. Костенко, Н.С. Нестеркина. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2008.
4. Прокудін Г.С. Моделювання взаємодії автомобільних транспортних підприємств на міжміських перевезеннях вантажів / Г.С. Прокудін, С.М. Шарай, М.С.Олісевич, М.В. Рой // Вісник машинобудування та транспорту. Науковий журнал. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – №2 (10). С. 95-101.
5. Калініченко О.П. Оптимізація рішення задач оперативного планування вантажних перевезень на автомобільному транспорті / О.П. Калініченко, О.В. Павленко, В.М. Нефьодов // Комунальне господарство міст. Збірник наукових праць. – Х.: ХНАМГ, 2018. – Випуск 142. С. 108-113.
6. Олісевич М.С. Оптимізація транспортних циклів залежно від обсягу прогнозованих вантажопотоків / М.С. Олісевич // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Науковий журнал. – Луганськ: СХУ, 2013. – № 5 (194). С. 140-145.
7. Подоляк О.С., Крамаренко Ю.М. Оптимізація оперативного планування міжміських автомобільних вантажних перевезень / О.С. Подоляк, Ю.М. Крамаренко // Машинобудування. Збірник наукових праць. – Х.: УПА, 2018. – №21. С. 169-173.
8. Житков, В.А. Методы оперативного планирования грузовых автомобильных перевозок [Текст] / В.А. Житков, К.В. Ким – М.: Транспорт, 1982. - 184с.
9. Войтенков, С.С. Совершенствование оперативного планирования перевозок грузов помашинными отправлениями в городах [Текст]: автореферат дис. кандидата тех-нических наук : 05.22.10 / Сергей Сергеевич Войтенков - Иркутск, 2011. – 19 с.

REFERENCES

1. Smrkovskaia V.Iu. (2005). Struktura i parametry sistem dostavki грузов [Structure and parameters of cargo delivery systems]. *Zbirnyk naukovykh prats // Metody ta zasoby upravlinnia rozvytkom transportnykh system - Collection of scientific works // Methods and means of managing the development of transport systems*, 10, 173-184 [in Ukrainian].
2. Menuhova T.A. (2013). Sovershenstvovanie sistemy planirovaniya avtotransportnogo predpriyatija v celjah povysheniya ego konkurentosposobnosti [Improving the planning system of a motor transport enterprise in order to increase its competitiveness]. *Social'no-gumanitarnyj vestnik Juga Rossii. Nauchnyj*

zhurnal - Social and Humanitarian Bulletin of the South of Russia. Science Magazine, 2 (33) [in Russian].

3. Ekshikeev, T.K., & Terent'ev, A.V., & Kostenko, V.I., & Nesterkina, N.S. (2008). *Osnovy transportno-ekspedicionnogo obsluzhivaniya* [Fundamentals of freight forwarding services]. Saint Petersburg: SZTU [in Russian].

4. Prokudin, H.S., & Sharai, S.M., & Olishevych, M.S., & Roi, M.V. (2019). Modeliuvannia vzaiemodii avtomobilnykh transportnykh pidpriemstv na mizhmiskykh perevezenniakh vantazhiv [Modeling of interaction of automobile transport enterprises on long-distance freight transportation]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu. Naukovyi zhurnal - Bulletin of Mechanical Engineering and Transport. Scientific journal*, 2 (10), 95-101 [in Ukrainian].

5. Kalinichenko, O.P., & Pavlenko, O.V., & Nefodov, V.M. (2018). Optymizatsiia rishennia zadach operatyvnoho planuvannia vantazhnykh perevezen na avtomobilnomu transporti [Optimization of the decision of problems of operative planning of freight transportations on motor transport]. *Komunalne hospodarstvo mist. Zbirnyk naukovykh prats - Municipal utilities. Collection of scientific works*, 142, 108-113 [in Ukrainian].

6. Olishevych M.S. (2013). Optymizatsiia transportnykh tsykliv zalezno vid obsiahu prohnzovanykh vantazhopotokiv [Optimization of transport cycles depending on the volume of forecasted cargo flows]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia. Naukovyi zhurnal - Bulletin of the East Ukrainian National University. V. Dahl. Scientific journal*, 5 (194), 140-145 [in Ukrainian].

7. Podoliak, O.S., & Kramarenko, Yu.M. (2018). Optymizatsiia operatyvnoho planuvannia mizhmiskykh avtomobilnykh vantazhnykh perevezen [Optimization of operational planning of long-distance automobile freight transportation]. *Mashynobuduvannia. Zbirnyk naukovykh prats - Mechanical Engineering. Collection of scientific works*, 21, 169-173 [in Ukrainian].

8. Zhitkov, V.A., & Kim, K.V. (1982). *Metody operativnogo planirovaniya gruzovykh avtomobil'nykh perevozok* [Methods of operational planning of freight road transport]. Moscow: Transport [in Russian].

9. Vojtenkov, S. S. (2011). *Sovershenstvovanie operativnogo planirovaniya perevozok gruzov pomashinnymi otpravkami v gorodakh* [Improving the operational planning of cargo transportation by car dispatches in cities]. *Ph.D. thesis*. Irkutsk [in Russian].

M. Handziuk, D. Handziuk, B. Shumik. Development of methods of operational planning of vehicles on long city routes

Currently, the successful operation of all sectors of the economy is impossible without efficient transport services. The organization of transport should ensure the efficient supply of industrial production, agriculture, other sectors of the economy, as well as meet the needs of the population in transportation from a systemic standpoint. An integrated approach to the organization and planning of transportation requires the achievement of minimum costs both in the entire transport service system and in its individual elements. The solution of this problem is impossible without replacing the existing technologies and methods of organization and planning of the transport process with modern ones.

Modern requirements for the organization of the transportation process and the quality of transportation performed by road dictate the need for new organizational and technological solutions in transportation planning using program-targeted and logistical principles.

The existing organization of the operational planning system does not always meet the real needs of participants in the process of road freight. The main disadvantage today is that the methodological framework is segmented and describes the individual stages of planning the transportation process. The methods working today are devoted to certain tasks, such as determining the optimal load capacity of the rolling stock, calculation of technical and operational indicators, including the required number of cars, distribution of rolling stock on request using linear programming methods, scheduling of cars, calculation of costs for transportation and others.

Execution of such a variety of disparate operations and tasks in modern conditions without a comprehensive approach to their solution, as well as without automation of processing significant amounts of information is inefficient.

In addition, the methods of calculating the required number of cars have serious errors, this is expressed in the discrepancy between the calculated and actual values.

Despite the fact that in recent years there has been an active development and implementation of automated document management and vehicle planning programs for motor transport enterprises, currently there is no methodology that provides comprehensive planning and solution of the above tasks taking into account the specifics of long-distance transportation. motor transport in Ukraine are associated with the intensive development of long-distance road freight transport.

Key words: transportation, technical and operational indicators, long-distance route, system, operational planning, application, methodology, algorithm, automation, methodological base.

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

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

ШУМІК Богдан Володимирович, інженер-конструктор ДП «Автоскладальний завод №1» ПІАТ «Автомобільна компанія «Богдан Моторс», e-mail: Shymik2798@gmail.com.

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

Dmitriy HANDZIUK, Master's degree in "Cars and Automotive Industry", e-mail: Gandzyukd@gmail.com.

Bohdan SHUMIK, design engineer, SE “Auto Assembly Plant №1” PJSC Automobile Company “Bogdan Motors”, e-mail: Shymik2798@gmail.com.

DOI 10.36910/automash.v2i17.634

Годованюк П. Д.

Національний транспортний університет, Київ, Україна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ НА АВТОСЕРВІСНІ ПОСЛУГИ

У роботі запропонована методика складання математичної моделі прогнозування попиту на автосервісні послуги.

Розробка відповідних моделей є важливим завданням. При розробці були враховані наступні фактори:

– можлива зміна загальної кількості автомобілів $N_{авт}$, що знаходяться в зоні ділової активності СТО;

– інтенсивність експлуатації, тобто середньорічний пробіг $\bar{L}_P$ автомобілів, що знаходяться в даному регіоні, а також динаміку його зміни по різних періодах року (j);

– середні напрацювання $\bar{T}_j$ на один автомобіле-заїзд на СТО;

– можлива зміна частки ринку K_j , що займає це підприємство в районі ділової активності;

– частка власників α , які звертаються на СТО.

Комплексне врахування перелічених вище факторів дозволяє виконати прогнозування зміни

середньодобової кількості звернень $\bar{N}_{dj}$ по різних видах робіт (i), з урахуванням його сезонності (j).

З метою спрощення отримуваної моделі, а також з урахуванням короткострокового періоду прогнозування, без втрати точності отриманого результату, були прийняті постійні наступні величини:

– середньорічний пробіг $\bar{L}_P$;

– коефіцієнт, що враховує динаміку посезонної зміни середнього річного пробігу – K_{dj} ;

– долю власників, що користуються послугами СТО в цьому регіоні α ;

– режим роботи СТО, що визначається кількістю днів роботи D_p підприємства на даних періодах року;

– $\bar{t}_{зв.ij}$ – середню трудомісткість одного звернення.

Таким чином, прогнозування попиту на послуги СТО зводиться до оцінки зміни середньодобової кількості звернень на СТО, для чого була розглянута динаміка зміни його складових (1). У загальному вигляді, методика прогнозування попиту на послуги СТО, визначається середньодобовою кількістю звернень на СТО, та включає п'ять етапів.

Недоліком використання цього методу є те, що пропадають, відповідно, одна або дві, відповідно, перші і останні точки даного часового ряду. Для їх визначення використовуються наступні вирази: для ковзного середнього по трьох точках – вирази (17) і (18), для ковзного середнього по п'яти точках – формули (19)–(20), відповідно [1, с. 90]:

Ключові слова: автосервісні послуги, реконструкція, ефективність, математична модель, оптимізація.

ВСТУП

Вивчення ринку легкових автомобілів та ринку послуг з ремонту та технічного обслуговування дає можливість визначити вплив зовнішніх та внутрішніх змінних факторів на мету і задачі АСП. Для вирішення завдань забезпечення якісних послуг в АСП розроблено комплекс моделей ефективного функціонування виробництва, в яких поєднуються інтереси і споживачів і надавачів послуг. Оптимізація виробничих процесів впливає на якість послуг і забезпечує можливість отримання прибутку.

Запропонована математична модель прогнозування попиту в автосервісі є базою для розробки і реалізації проектів організаційного та управлінського характеру, що дасть можливість надавати конкурентоспроможні послуги та задовольняти потреби споживачів.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Проблеми дослідження та визначення сучасного стану ринку послуг з технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) автотранспортних засобів (АТС) присвячено багато робіт, оскільки вони є важливими характеристиками, які визначають його поведінку під впливом зовнішніх факторів. Відомо багато робіт вітчизняних вчених: З.С. Варналія, Л.Л. Антонюка, Л.С. Шевченко, О.В. Зозульова, В.Г. Герасимчука, О.Л. Каніщенко, Ю.М. Лисенкова, А.А. Мазаракі проф. Сахно В.П., проф. Клепиков В.Б., проф. Павлов В.Б., доц. Сітовський О.П., доц. Дембіцький В.М., проф. Двадненко В.Я., проф. Туренко А.М., проф. Гнатов А.В., проф. Богомолів В.А., проф. Абрамчук Ф.І., проф. Бажинов А.В. і багато інших вчених.

Рівень розвитку сфери послуг зазвичай чітко відображає економічний потенціал. Її розширення є індикатором економічного зростання країни, бо збільшення значущості цієї сфери є стимулом зростання реального сектору та попиту на продукцію. Проте збільшення кількості підприємств сфери послуг посилює конкуренцію між ними. А в умовах постійно зростаючих потреб споживачів забезпечення стійкої позиції на ринку та високого рівня конкурентоспроможності є невід'ємною умовою ефективної та прибуткової діяльності підприємства.

Ринок автосервісних послуг - це відносини між автовласниками і підприємствами системи автосервісу з приводу купівлі-продажу послуг, направлених на підтримку працездатності та відновлення автомобіля протягом всього терміну експлуатації.

Автосервісні послуги мають свої особливості, для них характерно непостійність якості. По-перше, до отримання послуги неможливо оцінити її якість. Встановлюючи вимоги до якості послуг, неможливо провести будь-які контрольні вимірювання до її надання. Тільки після закінчення процесу виробництва послуги оцінка якості стає можливою. По-друге, послуги надаються людьми при взаємодії покупця і персоналу, які виконують замовлення. Отриманий результат залежить не тільки від персоналу, але і від їх спільних дій і сприйняття покупця, оскільки основна оцінка послуги - це індивідуальний погляд на її корисність. По-третє, в силу різної кваліфікації персоналу одна і та ж послуга буде по-різному надана різними майстрами і різними фірмами. По-четверте, послуги диференційовані, тобто різними фірмами виконуються не тільки по-різному, але і в різному наборі індивідуально для кожного клієнта. Цей майстер може варіювати свої дії при кожному окремому виконанні послуги. По-п'яте, важливу роль відіграє фізичний і психологічний стан клієнта, яке змінюється і тягне за собою зміну оцінок задоволеності наданою послугою.

Головною ланкою системи автосервісу є станції технічного обслуговування (СТО) - підприємства, що здійснюють технічне обслуговування та ремонт автомобілів, продаж автомобілів, запасних частин і автомобільних аксесуарів.

Якість автосервісу за світовими стандартами складається з: професійного технічного обслуговування і ремонту; доставки після ремонту; обслуговування точно в обіцяний день і годину; передбачає - розумні ціни за послуги, доброзичливе обслуговування замовників, ефективну, акуратну і швидку офісну роботу - оформлення замовлень, підготовку документації і т.д.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розробка методики складання математичної моделі прогнозування попиту на автосервісні послуги є актуальним завданням сьогодення. За допомогою якої, було б можливим ефективно планувати різних заходів (реконструкції, технічного переозброєння і т.д.) з підвищення ефективності роботи станції технічного обслуговування (СТО)

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Оскільки ефективно планувати різних заходів (реконструкції, технічного переозброєння і т.д.) з підвищення ефективності роботи станції технічного обслуговування (СТО) неможливе без прогнозування попиту, розробка відповідних моделей є важливим завданням. При розробці необхідно врахувати наступні фактори:

- можлива зміна загальної кількості автомобілів $N_{авт}$, що знаходяться в зоні ділової активності СТО;
- інтенсивність експлуатації, тобто середньорічний пробіг $\bar{L}_p$ автомобілів, що знаходяться в даному регіоні, а також динаміку його зміни по різних періодах року (j);
- середні напрацювання $\bar{I}_j$ на один автомобіле-заїзд на СТО;
- можлива зміна частки ринку K_j , що займає це підприємство в районі ділової активності;
- частка власників α , які звертаються на СТО.

Комплексне врахування перелічених вище факторів дозволяє виконати прогнозування зміни середньодобової кількості звернень $\bar{N}_{dj}$ по різних видах робіт (i), з урахуванням його сезонності (j).

При цьому $\bar{N}_{dj}$ для заданого конкретного i можна представити у вигляді [1, с. 83]:

$$\bar{N}_{dj} = \frac{N_{авт} \times \bar{L}_p \times K_{dj} \times \alpha \times K_j}{(I_j \times D_p)}, \quad (1)$$

де K_{dj} – коефіцієнт, що враховує сезонність річного пробігу автомобілів даного регіону (відображає долю річного пробігу, що припадає на j -й період року, при цьому $\sum_{j=1}^n K_j = 1$;

D_p – кількість днів роботи СТО за даний період.

Обсяг послуг СТО оцінюється через середній добовий обсяг робіт $\bar{t}_{dij}$, що визначається за формулою:

$$\bar{t}_d = \bar{t}_{136} \times \bar{N}_d, \quad (2)$$

де $\bar{t}_{136}$ – математичне очікування трудомісткості одного звернення; $\bar{N}_d$ – математичне очікування добової кількості звернень.

З метою спрощення отримуваної моделі, а також з урахуванням короткострокового періоду прогнозування, без втрати точності отриманого результату, необхідно прийняти постійними наступні величини:

- середньорічний пробіг $\bar{L}_p$;
- коефіцієнт, що враховує динаміку посезонної зміни середнього річного пробігу – K_{dj} ;
- долю власників, що користуються послугами СТО в цьому регіоні α ;
- режим роботи СТО, що визначається кількістю днів роботи D_p підприємства на даних періодах року;
- $\bar{t}_{136,ij}$ – середню трудомісткість одного звернення.

Таким чином, прогнозування попиту на послуги СТО зводиться до оцінки зміни середньодобової кількості звернень на СТО, для чого необхідно розглянути динаміку зміни його складових (1). У загальному вигляді, методика прогнозування попиту на послуги СТО, визначається середньодобовою кількістю звернень на СТО, включає наступні етапи.

На першому етапі здійснюється розбиття річного інтервалу на рівні задані періоди. Збільшення міри розбиття підвищує трудомісткість проведення прогнозування і, отже, його вартість, але при цьому зростає його точність. У якості прикладів подібного розбиття можна навести розбиття інтервалу по місяцях, по кварталах, по сезонах року.

На другому етапі, логічним продовженням попереднього, здійснюється збір відповідної статистичної інформації за наступними показниками (на основі періодів року, обраних на першому етапі): по добовій кількості звернень; по середньому напрацюванню на один автомобіле-заїзд на СТО; по середній трудомісткості одного звернення і т.д. За умови вибору в якості періодів кварталів (або сезонів року), збір статистичної інформації проводиться за середній місяць даного періоду.

На третьому етапі здійснюється збір інформації по загальній кількості автомобілів обслуговуваних моделей, що знаходяться в регіоні ділової активності даного підприємства (СТО), а також по середньорічному пробігу і його розподілу по сезонах (оцінюється шляхом проведення добровільного анонімного анкетування серед власників автомобілів, що обслуговуються на цьому підприємстві). Подібним способом визначається доля власників, що користуються послугами СТО по різних видах робіт.

Четвертий етап полягає в прогнозуванні зміни загальної кількості автомобілів, що знаходяться в даному регіоні, яке здійснюється з використанням логістичних залежностей, викладених в [2, с. 224]. Даний метод припускає оцінку прогнозування зміни кількості автомобілів, використанням такого показника, як насиченість регіону автомобілями на 1000 жителів:

$$N_{авт} = \frac{A \times n}{1000}, \quad (3)$$

де $N_{авт}$ – кількість автомобілів в даному регіоні або районі ділової активності; A – кількість жителів в районі ділової активності; n – насиченість регіону, авт./1000 жителів.

З метою прогнозування кількості автомобілів здійснюється збір відповідної інформації на ретроспективному періоді і визначається прогноз зміни насиченості по даних періодах.

Залежність насиченості n від часу t виражається диференціальним рівнянням виду [1, с. 85]:

$$\frac{dn}{dt} = qn(n_{\max} - n), \quad (4)$$

де $n_{\max}$ – граничне значення насиченості; q – коефіцієнт пропорційності.

З формули (4) випливає, що швидкість зростання насиченості dn/dt пропорційна досягнутій насиченості n і ненасиченості $(n_{\max} - n)$. Звідси видно, що при малих і великих значеннях t швидкість зростання насиченості n буде малою. Для заданого максимального (граничного) значення насиченості коефіцієнт пропорційності q визначається на основі відомих значень насиченості регіону автомобілями на ретроспективному періоді (приклад – табл. 1).

Таблиця 1

Приклад початкових даних для здійснення прогнозування динаміки зміни насиченості регіону автомобілями (м. Київ)

№	Період (рік)	Умовний номер періоду, t	Насиченість регіону n_t , (автомобілів на 1000 жителів)
1	2017	$t_0 = 0$	354
2	2018	$t_1 = 1$	362
3	2019	$t_2 = 2$	378
4	2020	$t_3 = 3$	384
5	2021	$t_4 = 4$	407

Переписавши рівняння (2.6) у вигляді:

$$\frac{\Delta n_t}{\Delta t} = q \times n_{\max} \times n_t - q \times n_t^2, \quad (5)$$

і прийнявши $\Delta t = 1$ рік, запишемо [1, с. 86]:

$$\Delta n_t = q \times n_{\max} \times n_t - q \times n_t^2 \quad (6)$$

Визначення коефіцієнта пропорційності q базується на використанні методу найменших квадратів, тобто [1, с. 87]:

$$A = \sum_{t=1}^m \left(\Delta n_t - q \times (n_{\max} \times n_t - n_t^2) \right)^2 \rightarrow \min \quad (7)$$

Визначаючи похідну від A по q і прирівнюючи її до нуля, отримуємо:

$$\frac{dA}{dq} = 2 \sum_{t=1}^m \left\{ \left[\Delta n_t - q \times (n_{\max} \times n_t - n_t^2) \right] \times \left[-(n_{\max} \times n_t - n_t^2) \right] \right\} = 0 \quad (8)$$

Остаточно отримуємо [1, с. 87]:

$$\sum_{t=1}^m \left\{ \left[\Delta n_t - q \times (n_{\max} \times n_t - n_t^2) \right] \times \left[-(n_{\max} \times n_t - n_t^2) \right] \right\} = 0 \quad (9)$$

Розв'язок цієї рівності дозволяє визначити шукане значення коефіцієнта пропорційності q , тобто [1, с. 87]:

$$q = \frac{\sum_{t=1}^m (\Delta n_t \times n_t^2) - n_{\max} \times \sum_{t=1}^m (\Delta n_t \times n_t)}{n_{\max}^2 \times \sum_{t=1}^m n_t^2 - 2 \times n_{\max} \times \sum_{t=1}^m n_t^3 + \sum_{t=1}^m n_t^4} \quad (10)$$

У свою чергу, розв'язок рівняння виду:

$$\frac{dn}{n(n_{\max} - n)} = q dt \quad (11)$$

При заданому $n_{\max}$ і обчисленому значенні q (10), з урахуванням вимоги проходження функції $n = f(t)$ через останню точку n_m (в даному прикладі через $n_m = n_4$, табл. 1) ретроспективного періоду для $t = m$, дозволяє, після нескладних перетворень, остаточно отримати залежність зміни насиченості населення легковими автомобілями від часу, тобто [1, с. 88]:

$$n_t = \frac{n_{\max} n_m}{n_m + (n_{\max} - n) \times \exp[-q n_{\max} (t - m)]} \quad (12)$$

Розв'язок рівняння (12) відносно фактора часу t дозволяє оцінити часовий інтервал (лаг) виходу насиченості населення легковими автомобілями на задане граничне (чи близьке до нього) значення насиченості:

$$n \leq n_{\max}$$

(13)

Результати прикладу прогнозованої зміни насиченості населення легковими автомобілями для м. Києва представлені на рис. 1.

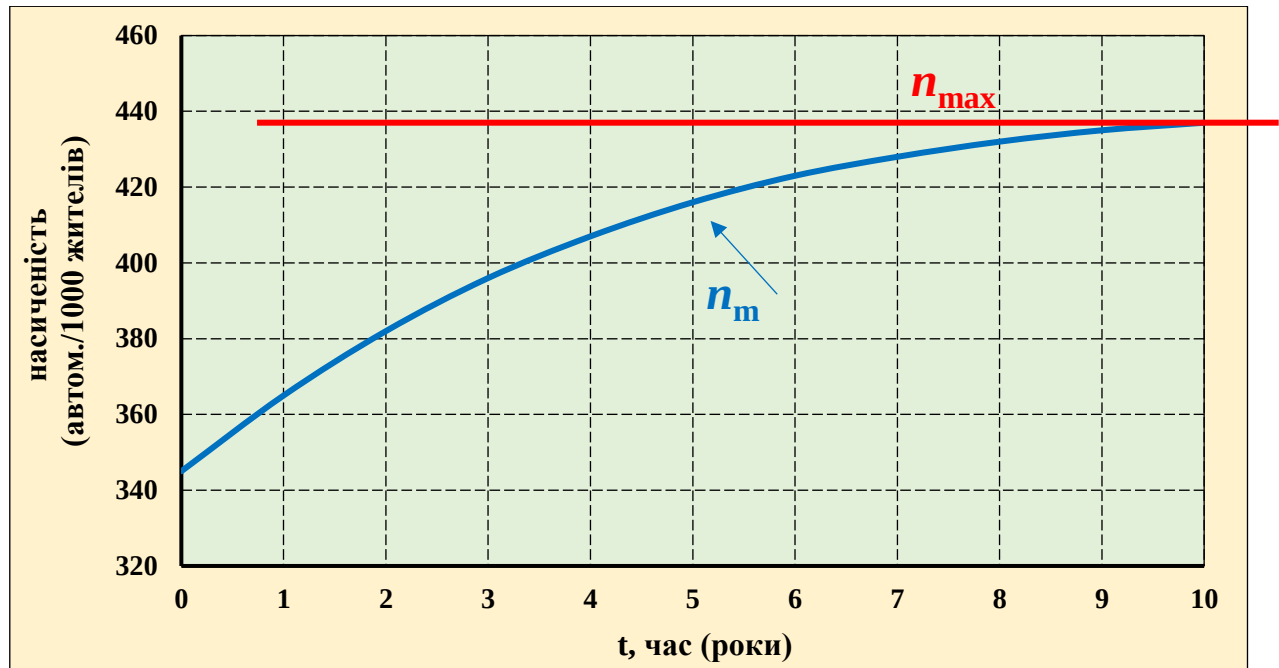


Рис. 1. Прогноз насиченості населення легковими автомобілями (м. Київ)

П'ятим етапом є прогнозування частки ринку, займаної підприємством, що може бути здійснено на основі використання математичного апарату кореляційно-регресійного аналізу. При цьому визначення частки, що займає дане підприємство на ринку для кожного з часових періодів, що задаються на першому етапі, виконується з рівності [1, с. 88]:

$$K_j = \frac{\bar{N}_d \times I_j \times D_p}{N_{авт} \times \bar{L}_p \times K_{дл} \times \alpha} \quad (14)$$

Згладжування отриманого часового ряду обчисленням ковзного середнього [3–5] визначається або по трьох, або по п'яти точках, відповідно, за допомогою (15) або (16) [1, с. 90]:

$$\bar{K}_j = \frac{K_{j-1} + K_j + K_{j+1}}{3} \quad (15)$$

$$\bar{K}_j = \frac{K_{j-2} + K_{j-1} + K_j + K_{j+1} + K_{j+2}}{5} \quad (16)$$

Недоліком використання цього методу є те, що пропадають, відповідно, одна або дві, відповідно, перші і останні точки даного часового ряду. Для їх визначення використовуються наступні вирази: для ковзного середнього по трьох точках – вирази (17) і (18), для ковзного середнього по п'яти точках – формули (19)–(20), відповідно [1, с. 90]:

$$\bar{K}_1 = \frac{2K_1 + K_2}{3} \quad (17)$$

$$\bar{K}_n = \frac{2K_n + K_{n-1}}{3} \quad (18)$$

$$\bar{K}_1 = \frac{(3K_1 + 2K_2 + K_3)}{6} \quad (19)$$

$$\bar{K}_2 = \frac{2K_2 + K_3}{3} \quad (20)$$

$$\bar{K}_{n-1} = \frac{2K_{n-1} + K_{n-2}}{3} \quad (21)$$

$$\bar{K}_n = \frac{(3K_n + 2K_{n-1} + K_{n-2})}{6} \quad (22)$$

Використання цих виразів дозволяє отримати згладжений ряд з незміщеним середнім рівнем. Результатом використання методів «ковзного середнього» є зниження впливу «шумової» складової і, як наслідок, отримання більш згладженого ряду, який використовується для подальшого отримання регресійних залежностей.

Для визначення зміни частки K_j , що займає дана СТО на ринку, для кожного з часових періодів доцільно використати моделі з адитивним трендом (у виразах, представлених нижче, передбачається, що прогнозування ведеться по якому-небудь одному виду робіт, тому індекс i для спрощення не вказується):

$$K_j = K_t + K_s + E \quad (23)$$

Складові виразу (23) мають наступний вигляд:

K_t – трендове значення:

$$K_t = a_t + b_t \times t_j, \quad (24)$$

де a_t , b_t – коефіцієнти лінійного рівняння регресії, що визначаються за методом найменших квадратів [1, с. 91]:

$$b_t = \frac{\sum_{j=1}^n t_j \times \sum_{j=1}^n K_j - n \sum_{j=1}^n t_j \times K_j}{\left(\sum_{j=1}^n t_j \right)^2 - n \sum_{j=1}^n t_j^2} \quad (25)$$

$$a_t = \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n K_j - b \sum_{j=1}^n t_j \right), \quad (26)$$

де t_j – умовний порядковий номер часового періоду; n – загальна кількість даних тимчасових періодів;

K_{sj} – сезонна складова, що визначається за допомогою методів гармонійного аналізу [6, с. 36]:

$$K_{sj} = a_0 + a_1 \cos \frac{2\pi t_j}{L} + b_1 \sin \frac{2\pi t_j}{L}, \quad (27)$$

де a_0 , a_1 , b_1 – коефіцієнти рівняння гармонійних коливань, що визначаються:

$$a_0 = \frac{\sum_{j=1}^n K_j}{n}, \quad (28)$$

$$a_1 = \frac{2}{n} \sum_{j=1}^n K_j \cos \frac{2\pi t_j}{L}, \quad (29)$$

$$b_1 = \frac{2}{n} \sum_{j=1}^n K_j \sin \frac{2\pi t_j}{L}, \quad (30)$$

де L – період коливань; E – випадкова («шумова») компонента.

Отримання кінцевого рівняння регресії здійснюється шляхом підсумовування рівняння лінійного тренду і рівняння гармонічних коливань:

$$K_j = a + b t_j + a_1 \cos \frac{2\pi t_j}{L} + b_1 \sin \frac{2\pi t_j}{L}, \quad (31)$$

де $a = a_t + a_0$.

Отримання шуканих значень K_j для прогнозних періодів здійснюється на основі продовження рівняння тренду на майбутні періоди. Оцінка достовірності отриманого рівняння регресії здійснюється на основі використання наступних показників [7; 8]:

- 1) коефіцієнта множинної детермінації R , за яким оцінюється наближення отриманого рівняння регресії до експериментальних даних;
- 2) F -критерію Фішера, за яким оцінюється достовірність отриманого рівняння регресії;
- 3) середнього абсолютного відхилення [8, с. 42], яке визначається за (32) (при цьому MAD має бути якомога меншим):

$$MAD = \frac{\sum |E_j|}{n}, \quad (32)$$

де E_j – значення випадкової («шумовий») складової, яке визначається відніманням з фактичних (експериментальних) даних значень, що отримуються за допомогою рівняння регресії;
 n – кількість даних часових періодів.

- 4) середньоквадратичної похибки [8, с. 42], яка визначається як:

$$MSE = \frac{\sum E_j^2}{n}, \quad (33)$$

- 5) середньоабсолютної похибки прогнозування [8, с. 42], яка визначається як:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{|y_j - y|}{y_j} \times 100, \quad (34)$$

Цей показник, як правило, використовується при порівнянні точності прогнозів різномірних об'єктів прогнозування, оскільки характеризує відносну точність прогнозу. З (34) можна помітити, що при фактичному значенні $y = 0$, $MAPE$ стає нескінченною. На практиці значення $y = 0$ пропускають, зменшуючи при цьому величину n на кількість пропусків. Інтерпретація отриманих різних значень $MAPE$ наведена в табл. 2.

Таблиця 2

Інтерпретація отриманих значень $MAPE$

$MAPE$, %	Інтерпретація
< 10	Висока точність
10 – 20	Хороша точність
20 – 50	Задовільна точність
> 50	Незадовільна точність

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Прогнозування попиту на послуги СТО зводиться до оцінки зміни середньодобової кількості звернень на СТО, для чого була розглянута динаміка зміни його складових (1).

Недоліком використання цього методу є те, що пропадають, відповідно, одна або дві, відповідно, перші і останні точки даного часового ряду. Для їх визначення використовуються наступні вирази: для ковзного середнього по трьох точках – вирази (17) і (18), для ковзного середнього по п'яти точках – формули (19)–(20), відповідно [1, с. 90]:

ВИСНОВКИ

Для прогнозування попиту на послуги СТО, було розглянуто динаміку зміни його складових (1). У загальному вигляді, методика прогнозування попиту на послуги СТО, визначається середньодобовою кількістю звернень на СТО.

Наведені методи дозволяють з достатньою точністю зробити необхідні розрахунки, пов'язані з прогнозуванням попиту на послуги СТО, що є необхідною умовою для забезпечення довгострокових перспектив існування підприємства.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Чернышов А.Е. Комплексная оценка эффективности функционирования автосервисных предприятий: на примере СТО легковых автомобилей :. Москва, 2005. 217 с.
2. Напольский Г.М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания-М.: Транспорт, 1993. - 272 с.
3. Математические методы прогнозирования экономических показателей : учеб. пособие / А.Р. Саянова и др. Уфа, 2000. 128 с.
4. Теория статистики с основами теории вероятностей : учеб. пособие. / Елисеева И.И. и др; под ред. И.И. Елисеевой. Москва : ЮНИТИ-Дана, 2001. 446 с.

- 5.Бедняк М.Н., Франчук Д.Н., Определение оптимальной производительности станции диагностики. Сб. «Основные направления автоматизации систем управления автомобильным транспортом» К., «Знание»,1972.
6. Бедняк М.Н. Моделирование процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей. Киев : Вища школа, 1983. 131 с.
7. Марков О.Д. Станции технического обслуживания автомобилей. — К.: Кондор, 2008. — 536 с.: 16 цветн. ил.
8. Марков О.Д. Обслуговування клієнтів автосервісу: Навчальний посібник / О.Д. Марков, Н.В. Веретельникова. — К.: Каравела, 2015.
9. Seo K.K. Managerial economics: text, problems and short cases. 7 ed. 1991. Boston, Business & Economics. 643 p.
10. Интернет ресурси «Положення про технічне бслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів (ДТЗ)» .
11. Ринок послуг автосервісу України 2011 році/2011/[україна/автосервіс:
http://autoshkola.net/articles/article-16/](http://autoshkola.net/articles/article-16/)

REFERENCES

1. Chernyshov AE Comprehensive assessment of the efficiency of car service enterprises: on the example of HUNDRED cars.: Moscow, 2005. 217 p.
2. Напольский Г.М. Technological projection of motor transport enterprises and service stations-M.: Transport, 1993. - 272 p.
3. Mathematical methods for forecasting economic indicators: textbook. allowance / A.R. Sayanova et al., Ufa, 2000. 128 p.
4. Theory of statistics with the basics of probability theory: textbook. allowance. / Eliseeva II and others; under ed. I.I. Елисейвой. Moscow: UNITI-Dana, 2001. 446 p.
5. Bednyak MN, Franchuk DN, Determination of the optimal performance of the diagnostic station. Sat. "The basic directions of automation of systems of management of motor transport" К., "Knowledge", 1972.
6. Bednyak MN Modeling of processes of maintenance and repair of cars. Kiev: Higher School, 1983. 131 p.
7. Markov OD Car maintenance stations. - К.: Кондор, 2008. - 536 с.: 16 цветн. ил.
8. Markov OD Car service customer service: Textbook / OD Markov, NV Веретельникова. - К.: Каравела, 2015.
9. Seo K.K. Managerial economics: text, problems and short cases. 7 ed. 1991. Boston, Business & Economics. 643 p.
10. Internet resources "Regulations on maintenance and repair of road vehicles (accidents)".
11. The market of car service services of Ukraine in 2011/2011 / ukraine / car service:
<http://autoshkola.net/articles/article-16/>

P.Godovanyuk. Mathematical model of forecasting services for car services

The method of drawing up of mathematical model of forecasting of demand for car service is offered in the work.

The development of appropriate models is an important task. The following factors were taken into account during the development:

- it is possible to change the total number of cars Navt, which are in the area of business activity of the service station;
- intensity of operation, ie the average annual mileage of cars in the region, as well as the dynamics of its change at different times of the year (j);
- average operating time per car-arrival at the service station;
- possible change in market share Kj, which occupies this company in the area of business activity;
- the share of α owners who apply to the service station.

Comprehensive consideration of the above factors allows you to predict changes in the average daily number of applications for different types of work (i), taking into account its seasonality (j).

In order to simplify the obtained model, as well as taking into account the short-term forecasting period, without losing the accuracy of the obtained result, the following constant values were adopted:

- average annual mileage;

- coefficient that takes into account the dynamics of seasonal changes in the average annual mileage - K_{dj} ;
- the share of owners who use the services of service stations in this region α ;
- the mode of operation of the service station, which is determined by the number of working days of the enterprise at these periods of the year;
- the average complexity of one application.

Thus, forecasting the demand for service stations is reduced to estimating the change in the average daily number of calls to the service station, for which the dynamics of changes in its components was considered (1). In general, the method of forecasting the demand for service stations is determined by the average daily number of calls to the service station, and includes five stages.

The disadvantage of using this method is that missing, respectively, one or two, respectively, the first and last points of this time series. To determine them, the following expressions are used: for the moving average of three points - expressions (17) and (18), for the moving average of five points - formulas (19) - (20), respectively [1, p. 90]:

Keywords :, car services, reconstruction, efficiency, mathematical model, optimization.

ГОДОВАНЮК Петро Дмитрович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, pgodovanuk04@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6331-8698

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

DOI 10.36910/automash.v2i17.635

Грищук О.К., Тімков О.М., Гладченко В.С.
Національний транспортний університет, Київ, Україна

ПОШУК ПАРАМЕТРІВ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ПЕРЕОБЛАДНАНОГО АВТОМОБІЛЯ

Сьогодні зростає потреба у використанні колісних транспортних засобів (КТЗ) з нульовими викидами, частка таких КТЗ стрімко зростає в розвинених країнах. При цьому, існуючи звичайні автомобілі з ДВЗ, мають значну кількість по всьому світу, створюють велику екологічну проблему. Одним з шляхів вирішення цієї проблеми є їх переобладнання в гібридні або електричні КТЗ, які мають менший рівень викидів. В Україні дуже часто таке переобладнання роблять власники старих автомобілів, при цьому відсутні будь-які рекомендації, щодо його доцільності.

Відсутність методики розрахунку експлуатаційних властивостей переобладнаних КТЗ ускладнює цей процес, тому розробка такої методики є актуальною задачею. Методика передбачає складання математичної моделі руху КТЗ з різними типами силових установок та різними компоновальними схемами. В роботі розглянута компоновальна схема гібридної силової установки (ГСУ) паралельного типу. Передня вісь приводиться в дію від ДВЗ, задня від електродвигуна (ЕД). Для складання рівнянь руху використана методика рівнянь Лагранжу. В якості узагальненої координати розглянуте кутове переміщення валу електродвигуна, до якого приведені параметри всіх механічних елементів КТЗ, у відповідності до його компоновальної схеми.

Проведено теоретичне дослідження енергетичних властивостей переобладнаного КТЗ в умовах руху м.Києва. За результатами обробки величини швидкості руху встановлений закон її розподілу та його параметри. Отримані данні були використані при розрахунках за запропонованою методикою та визначена величина швидкості для переходу на рух від ДВЗ та встановлений розподіл потужності між енергетичними елементами силової установки.

Ключові слова: гібридний автомобіль, електромобіль, переобладнання, ефективність, математична модель, силова установка, експеримент.

ВСТУП

Останнім часом питанню утилізації автомобілів, які відпрацювали свій термін служби приділяється велика увага. Старі автомобілі становлять небезпеку для навколишнього середовища, по-перше, це високий рівень забруднення повітря шкідливими речовинами, по-друге, мають недосконалі або взагалі відсутні системи активної та пасивної безпеки. Таким чином постає питання що з ними робити у перспективі [1].

Сьогодні спостерігається стрімке зростання популярності гібридних автомобілів та електромобілів [2, 3], гучні заяви про заборону продажів звичайних автомобілів з ДВЗ в різних країнах Європи. Нові європейські плани щодо обмеження шкідливих викидів КТЗ, свідчать про закінчення епохи ДВЗ [4] як основного джерела енергії на КТЗ. Проте, сьогодні людство не готове повністю відмовитися від використання ДВЗ, хоча така тенденція існує. Норми Євро 7, які повинні вступити в силу після 2025 року, встановляють юридичні обмеження для майже 100 мільйонів бензинових і дизельних автомобілів, що продаються в ЄС. У Європейській комісії вважають, що впровадження більш чистих технологій викидів для відповідності стандартам Євро-7 не є суттєвою проблемою для автовиробників, собівартість автомобіля зростає лише на 100 – 500 євро, що не є занадто великою сумою.

За статистичними даними міністерства інфраструктури України [5] автомобільна транспортна система України налічує більш ніж 9,2 млн. транспортних засобів. Системи утилізації старих КТЗ в Україні немає. За період 2018 – 2020 років ситуація суттєво погіршилася внаслідок ввезення старих автомобілів з Європи, було зареєстровано понад 100 тис. автомобілів. Середній вік автомобілів складає 14 років, таким чином на сьогодні в Україні потребують утилізації вже понад 1 млн. автомобілів, що не придатні до експлуатації. Впровадження концепції утилізації таких автомобілів дасть можливість переробити їх не завдаючи шкоди навколишньому середовищу. Доцільність продовження використання системи капітального ремонту автомобілів яка існувала раніше, сьогодні викликає багато питань. Оскільки старі автомобілі не можуть конкурувати з новими за багатьма параметрами і в результаті ремонту не стають більш безпечними. На нашу думку, ремонт та подальше переобладнання в гібридний автомобіль або електромобіль є більш доцільним. За наявними статистичними даними про кількість переобладнань в Україні [6] на підставі даних висновків науково-технічних експертиз зростає з кожним роком [7]. Тому ця робота присвячена саме переобладнанню автомобіля в гібридний.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Проблемами пов'язаними з розробкою та дослідженнями гібридних автомобілів та електромобілів, визначенням показників тягово-швидкісних властивостей, паливної та енергетичної ефективності присвячено багато робіт. Відомо багато робіт вітчизняних вчених: проф. Сахно В.П., доц. Поляков В.М., доц. Тімков О.М., проф. Клепиков В.Б., проф. Павлов В.Б., доц. Сітовській О.П., доц. Дембицький В.М., проф. Двадненко В.Я., проф. Туренко А.М., проф. Гнатов А.В., проф. Богомолів В.А., проф. Абрамчук Ф.І., проф. Бажинов А.В. і багато інших вчених.

Огляд наукових робіт присвячених таким КТЗ показав, що використання математичних моделей для аналізу показників електричних КТЗ залишається надзвичайно високим. Кількісні показники, що одержують за допомогою аналітичних методів, є першими оцінками ефективності конструкції КТЗ, які надають уявлення про порядок та взаємозв'язок досліджуваних параметрів і про напрямок розвитку процесу. Точність таких оцінок не варто збільшувати за рахунок ускладнення аналітичного апарату – для точних розрахунків краще користуватися числовими методами з використанням ПК.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Пошук співвідношення потужності джерел енергії гібридної силової установки переобладнаного автомобіля, яка б забезпечила виконання завданого швидкісного режиму руху та поліпшену паливну економічність, у порівнянні з звичайним автомобілем з ДВЗ.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для переобладнання звичайного автомобіля з ДВЗ в гібридний з найменшими змінами конструкції найбільш підходить компонувальна схема середнього гібрида виконана за паралельною схемою. Єдиний механічний зв'язок між електричною системою та трансмісією КТЗ здійснюється через електродвигун. Компонування ГСУ визначається положенням електродвигуна та типом з'єднання з трансмісією, Запропонована схема для переобладнання має ряд переваг:

- проста інтеграція в КТЗ;
- порівняно невелика вага компонентів, що незначно змінює повну масу;
- розумне співвідношення вартості та продуктивності системи (покращена паливна економічність, збільшений крутний момент).

Розглянемо структурну схему переобладнаного автомобіля що має ГСУ паралельного типу, рис. 1. На схемі наведені основні функціональні елементи, вхідні та вихідні сигнали кожного з них. Електродвигун передає крутний момент на задні колеса КТЗ, передні колеса приводяться в рух від ДВЗ, це дозволяє реалізувати режим руху з усіма ведучими колесами.

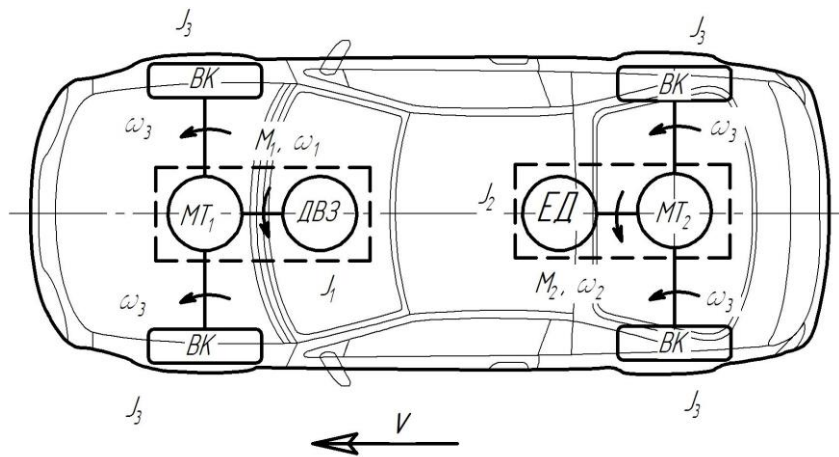


Рисунок 1 – Розрахункова компонувальна схема переобладнаного КТЗ

Основними функціональними елементами є: ДВЗ, механічна трансмісія приводу передніх коліс MT_1 , механічна трансмісія приводу задніх коліс MT_2 , ведучі колеса ВК. Робота системи характеризується такими параметрами як M_1 , ω_1 – крутний момент та кутова швидкість ДВЗ, M_2 , ω_2 – крутний момент та кутова швидкість ЕД, ω_3 – кутова швидкість ведучих коліс, J_1 , J_2 , J_3 – відповідно моменти інерції ДВЗ, ЕД та ВК.

Для математичного опису динамічних процесів що відбуваються в механічній частині електроприводу використані рівняння Лагранжу в узагальнених координатах [8, 9]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial q_i} = Q_i, \quad (2)$$

де: E_k – накопичена кінетична енергія системи, визначена через узагальнені координати q_i and та узагальнені швидкості $\dot{q}_i$;

$Q_i = \partial A_i / \partial q_i$ – узагальнена сила, обумовлена сумою елементарних робіт ∂A_i всіх діючих сил на можливому переміщенні ∂q_i .

В якості узагальненої координати q_i в електроприводі, як правило, приймають кутове переміщення φ вала ЕД, до якого приводяться параметри всіх механічних ланок системи [8, 9]. Розглядаючи механічну систему переобладнаного КТЗ з одним ступенем вільності та узагальненою координатою – кутом φ , повороту вала електроприводу рівняння (2) запишемо у вигляді:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial \varphi_i} = Q_i, \quad (3)$$

де: E_k – накопичена кінетична енергія гібридного КТЗ;

$\dot{\varphi}$ – кутова швидкість вала тягового електродвигуна;

Q – узагальнена сила, що діє на переміщенні φ .

На підставі обраної компоновальної схеми, складена узагальнена розрахункова механічна схема переобладнаного гібридного КТЗ. Отримаємо рівняння руху, відповідно до розрахункової схеми на рис. 1. Запас кінетичної енергії гібридного КТЗ E_k визначається сумою кінетичних енергій ДВЗ та ЕД з трансмісіями, відповідно E_1 та E_2 , кузова автомобіля з вантажем E_0 та чотирьох ведучих коліс $4E_3$:

$$E_k = E_0 + E_1 + E_2 + 4E_3 \quad (4)$$

Розкриємо значення кінетичної енергії для кожного з елементів рівняння (4), одержимо:

$$E_k = \frac{1}{2} \left((m_0 + m_1 + m_2 + 4m_3)v^2 + J_1\omega_1^2 + J_2\omega_2^2 + 4J_3\omega_3^2 \right), \quad (5)$$

де: m_0, m_1, m_2, m_3 – відповідно, маса кузова КТЗ з вантажем, маса ДВЗ, ЕД з трансмісіями та маса колеса;

v – лінійна швидкість КТЗ;

$\omega_1, \omega_2, \omega_3$ – кутова швидкість валу ДВЗ, ЕД та колеса, відповідно;

J_1, J_2, J_3 – моменти інерції ДВЗ, ЕД з трансмісіями та колеса, відповідно.

Враховуючи, що передаточне відношення трансмісії МТ₁ від ДВЗ визначається як $U_1 = \omega_1/\omega_3$, та МТ₂ для електроприводу як $U_2 = \omega_2/\omega_3$ тоді лінійна швидкість КТЗ з гібридною силовою установкою складатиме $v = \omega_3 R$, вираз (5) перетворимо до вигляду:

$$E_k = \frac{1}{2} \left((m_0 + m_1 + m_2 + 4m_3) \frac{R^2}{U_1^2} + J_1 + J_2 \frac{U_2}{U_1} + 4 \frac{J_3}{U_1^2} \right) \omega_1^2 = \frac{1}{2} J_\Sigma \dot{\varphi}_1^2, \quad (6)$$

де: R – радіус колеса КТЗ;

$\omega_1 = \frac{d\varphi_1}{dt} = \dot{\varphi}_1$ – кутова швидкість валу ДВЗ;

$\omega_2 = \frac{d\varphi_2}{dt} = \dot{\varphi}_2$ – кутова швидкість валу ЕД;

$J_\Sigma = (m_0 + m_1 + m_2 + 4m_3) \frac{R^2}{U_1^2} + J_1 + J_2 \frac{U_2}{U_1} + 4 \frac{J_3}{U_1^2}$ – сумарний момент інерції приведений до

валу тягового електродвигуна/ДВЗ КТЗ з ГСУ.

Під час руху переобладнаного КТЗ на нього діють сили опору [10, 11], до яких належить сила опору повітря F_w , сила сумарного опору дороги, вона складається з сили опору кочення – сила F_f та підйому – F_ψ . Схема діючих сил у загальному випадку наведена на рис. 2.

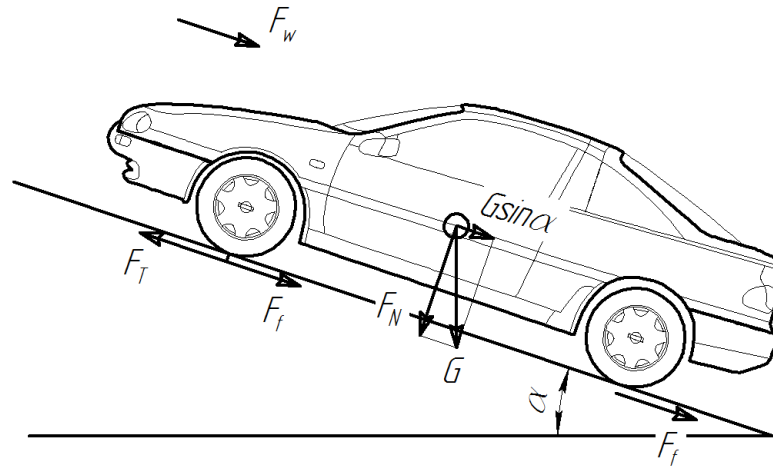


Рисунок 2 – Схема сил, що діють на КТЗ у загальному випадку

Для визначення узагальненої сили Q необхідно обчислити елементарну роботу всіх моментів, що діють на КТЗ під час його руху, на елементарному переміщенні $\partial\varphi$:

$$\partial A = (M_1 + M_2 - M_f - M_w \mp M_\psi - M_\eta) \partial\varphi, \quad (7)$$

де: M_1 – крутний момент, що створює ДВЗ, $M_1 = f(\omega_1)$;

M_2 – крутний момент, що створює ЕД, $M_2 = f(\omega_2)$;

M_f – момент сил опору коченню КТЗ, приведений до валу ДВЗ та ЕД;

M_w – момент сил опору повітря КТЗ, приведений до валу ДВЗ та ЕД;

M_ψ – момент сил опору підйому/спуску КТЗ, приведений до валу ДВЗ та ЕД;

M_η – момент сил, що враховує втрати в механізмах трансмісії КТЗ, приведений до валу ДВЗ та

ЕД.

Виходячи з рівняння (7), одержимо:

$$Q = \frac{\partial A}{\partial \varphi} = M_1 + M_2 - M_f - M_w \mp M_\psi - M_\eta, \quad (8)$$

Підставимо рівняння (6) та (8) до (3), продиференціюємо його, одержимо рівняння руху переобладнаного КТЗ з гібридною силовою установкою:

$$M_1 + M_2 - M_f - M_w \mp M_\psi - M_\eta = J_\Sigma \ddot{\varphi} = J_\Sigma \frac{d\omega}{dt}. \quad (9)$$

Визначимо моменти, що діють на КТЗ під час його руху [10, 11]. Момент сили опору кочення коліс, приведений до валу ГСУ:

$$M_f = \frac{1}{U_1} F_N f = \frac{1}{U_1} G f \cos \alpha = \frac{1}{U_1} f g (m_0 + m_1 + m_2 + 4m_3), \quad (10)$$

де: F_N – нормальна складова сили тяжіння КТЗ;

α – в кут нахилу дороги;

g – прискорення вільного падіння;

f – коефіцієнт опору кочення дороги.

Момент сил опору повітря КТЗ, приведений до валу ДВЗ можна визначити за формулою:

$$M_w = \frac{1}{2} \rho C_d A_e v^2 \frac{R}{U_1} = \frac{1}{2} \rho C_d A_e \left(\frac{R}{U_1} \right)^3 \omega_1^2, \quad (11)$$

де: ρ – густина повітря за нормальних умов;
 C_d – коефіцієнт аеродинамічного опору кузова КТЗ;
 A_e – лобова площа КТЗ.

Момент сил опору підйому/спуску КТЗ, приведений до валу силової установки:

$$M_\psi = G \frac{R}{U_1} \sin \alpha. \quad (12)$$

Момент сил, що враховує втрати в механізмах трансмісії КТЗ, приведений до валу ГСУ:

$$M_\eta = (1 - \eta_\Sigma) M, \quad (13)$$

де: η_Σ – сумарний ККД механічної передачі, ДВЗ, електричних машин та перетворювачів енергії.

Підставимо рівняння (10...13) до виразу (9), одержимо рівняння руху переобладнаного КТЗ з ГСУ:

$$M\eta_\Sigma - F_N \frac{f}{U_1} - \frac{1}{2} \rho C_d A_e \left(\frac{R}{U_1} \right)^3 \omega_1^2 \mp G \frac{R}{U_1} \sin \alpha = J_\Sigma \frac{d\omega}{dt}. \quad (14)$$

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для проведення числового експерименту з використанням ПК, було обрано наступні вихідні данні, що відповідають типовому легковому автомобілю категорії М1, див. табл. 1.

Таблиця 1 – Вихідні данні для моделювання руху переобладнаного КТЗ

Параметр	Значення	Одиниця виміру
Маса КТЗ	1110	кг
Коефіцієнт аеродинамічного опору	0.29	-
Лобова площа КТЗ	1.86	м ²
База КТЗ	2320	мм
Відстань від передньої осі до центру мас КТЗ	939	мм
Відстань від задньої осі до центру мас КТЗ	1380	мм
Передаточне відношення коробки передач, відповідно:	3.454 2.056 1.333 0.969 0.730	-
Передаточне число головної передачі	3.875	-
Динамічний радіус колеса	0.29	м

Кафедрою «Автомобілі» Національного транспортного університету (НТУ), було проведено дослідження реальних швидкісних режимів руху автомобілів в умовах м. Києва [12]. За результатами статистичної обробки даних встановлено, що середня швидкість руху знаходиться у межах 23...25 км/год. Експлуатаційний маршрут передбачав рух центральною частиною міста та так званими «спальними» районами, що є характерним для міських агломерацій. У якості прикладу на рис. 3 наведена залежність швидкості руху на експлуатаційному маршруті від часу.

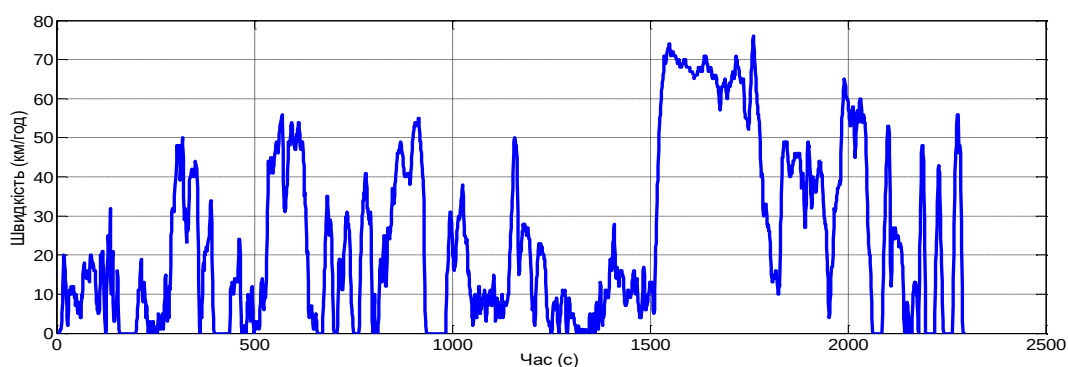


Рисунок 3 – Швидкість руху на експлуатаційному маршруті в м. Києві

На основі отриманих даних розподілу швидкості руху на експлуатаційному маршруті руху в м. Києві в процесі моделювання за розробленою моделлю було проведено обґрунтування вибору граничного значення швидкості руху, до якої працює тільки електродвигун, визначено розподіл потужності між ДВЗ та ЕД.

В якості прикладу на рис. 4...6 наведені графічні залежності результатів розрахунків, отримані витрата палива, потужність ДВЗ, потужність ЕД та інші.

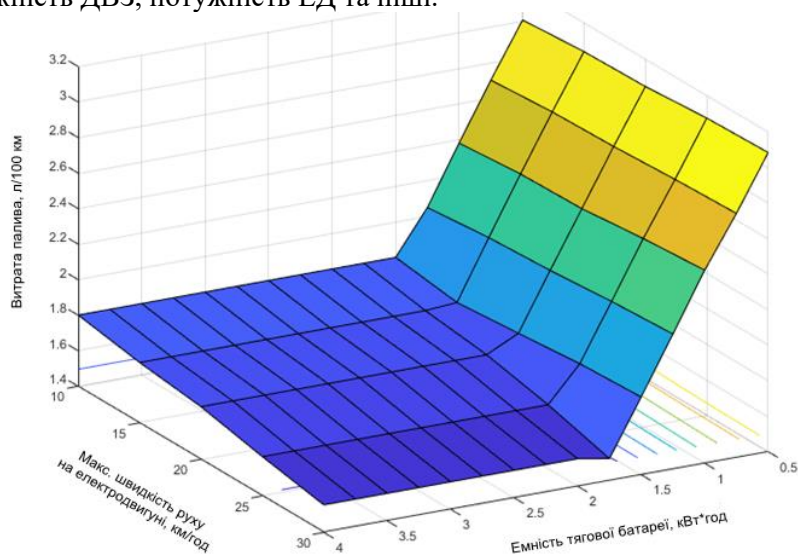


Рисунок 4 – Витрата палива переобладнаного КТЗ з ГСУ

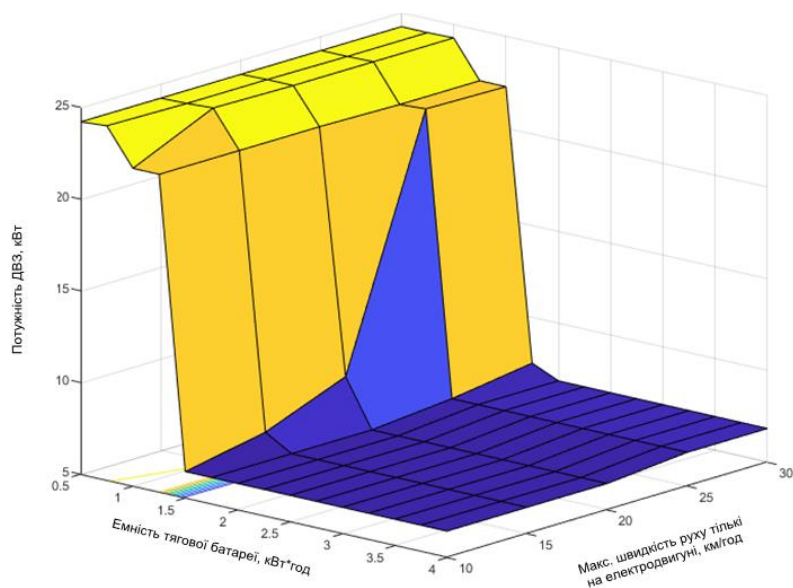


Рисунок 5 – Розподіл потужності ДВЗ переобладнаного КТЗ з ГСУ

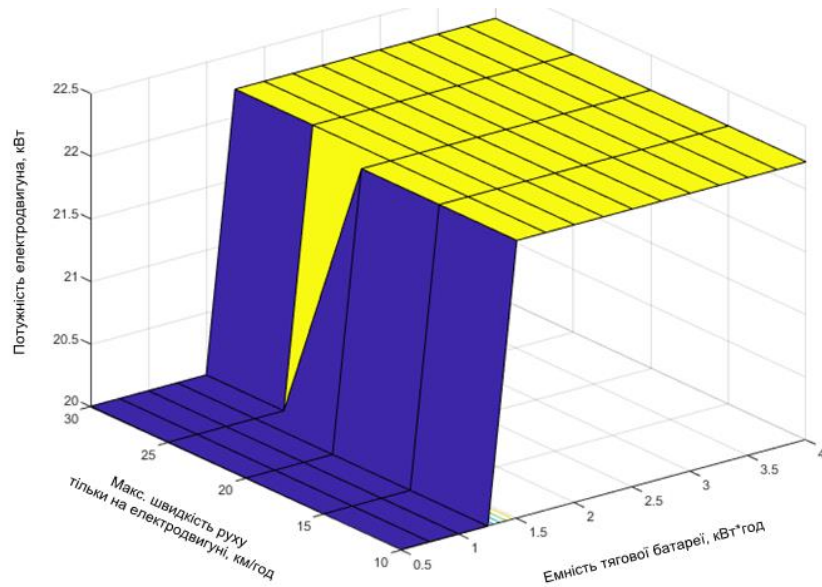


Рисунок 6 – Розподіл потужності ЕД переобладнаного КТЗ з ГСУ

Істотною відмінністю множин параметрів ГСУ є величина енергії, необхідна для виконання завданого швидкісного режиму руху на маршруті. Навіть незначне підвищення швидкості руху тільки на ЕД дозволяє істотно зменшити витрату палива ДВЗ. Встановлено, що максимальна потужність ГСУ використовується в експлуатаційному маршруті руху лише 2 % від загального часу руху на маршруті. На рис. 7, наведений графік кумулятивної функції розподілу використання потужності ЕД.

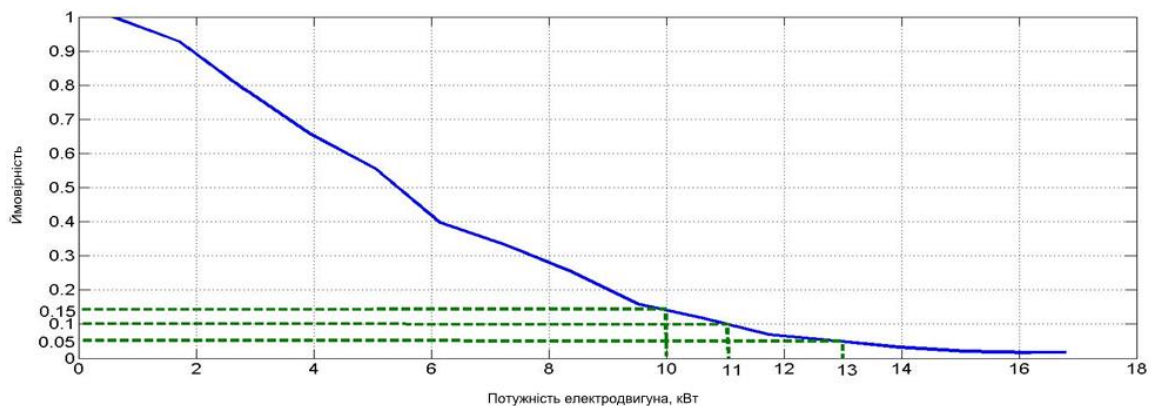


Рисунок 7 – Кумулятивна функція розподілу використання потужності ЕД

З метою підвищення ступеня використання потужності ДВЗ розглянемо можливість зниження потужності ГСУ, при якому вона буде використовуватися з ймовірністю 0,95, 0,90 та 0,85, з наступною перевіркою тягово-швидкісних та енергетичних властивостей. Такий підхід дозволяє знизити вартість ГСУ.

Аналіз гістограми розподілу потрібної потужності ЕД в залежності від швидкості руху, рис. 8 показує, що при спільній роботі ЕД та ДВЗ в усьому швидкісному діапазоні, зниження потужності ГСУ призводить до неможливості виконання швидкісного режиму руху на маршруті.

Остаточне обґрунтування величини потужності ГСУ та її розподіл між ЕД та ДВЗ відбувається в процесі моделювання за математичною моделлю, за умови виконання швидкісного режиму як на експлуатаційному маршруті так і в новому європейському їздовому циклі.

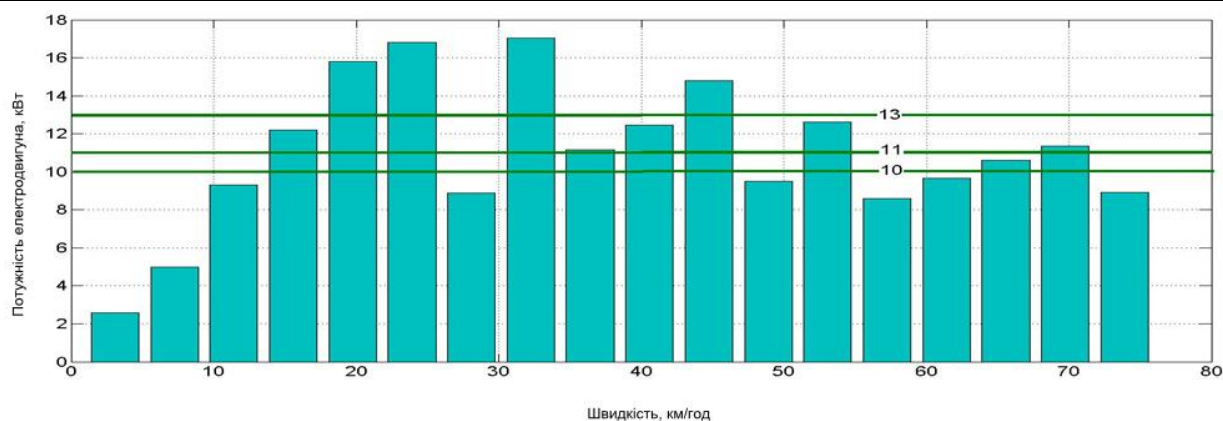


Рисунок 8 – Гістограма розподілу потрібної потужності ЕД

Встановлено, що для забезпечення можливості виконання швидкісного режиму руху, існує множина співвідношень потужностей елементів ГСУ. Так, потрібна потужність ЕД знаходиться в межах від 16,8 кВт до 30 кВт, що становить 44,2...78,9 % від повної потужності ГСУ. Потужність ДВЗ складає від 21,2 до 8 кВт. При цьому, витрата електричної енергії батареї становитиме 3,1...4,9 МДж/цикл, а витрата енергії палива складатиме 7,5...3 МДж/цикл. Використання зазначених множин співвідношень потужності ДВЗ та ЕД дозволяє виконати швидкісні умови експлуатаційного режиму руху, але постає питання обґрунтування вибору остаточного значення потужності ЕД та ДВЗ.

ВИСНОВКИ

1. Проблема утилізації старих транспортних засобів є надзвичайно актуальною для України. Середній вік транспортних засобів перевищує 6 років, та внаслідок лібералізації законодавства останніми роками, цей показник збільшився майже вдвічі до 13! Системи утилізації автомобілів в Україні немає.

2. Одним з шляхів вирішення цієї проблеми є переобладнання серійного автомобіля з ДВЗ в електромобіль чи гібридний автомобіль. У серійному автомобілі вже існують всі вузли трансмісії для підключення ЕД. Залишається лише виготовити перехідні елементи для з'єднання валів двигуна та КП, а також для кріплення ЕД, акумуляторів та елементів управління до кузова автомобіля. Наразі характеристики ЕМ більш придатні для його внутрішньо міського використання (з обмеженою максимальною швидкістю та пробігом при порівняно гарній якості доріг), і це дає змогу знизити певні вимоги до деяких конструктивних характеристик КТЗ, який переобладнується.

3. Отримані математичні рівняння руху переобладнаного автомобіля з ГСУ. Вони дозволяють визначити експлуатаційні показники переобладнаних легкових автомобілів категорії М1 на етапі розробки проекту з переобладнання, обрати найбільш оптимальний варіант та схему переобладнання.

4. В роботі запропоновано прийняти у якості граничного значення швидкості, до якої працює ЕД, значення математичного очікування середньої швидкості руху на експлуатаційному маршруті в м. Києві – 24,2 км/год. Це є вихідним значенням для вибору інших параметрів ГСУ. Для подальшого аналізу приймаються наступні параметри ГСУ: максимальна швидкість руху тільки на ЕД – 24,2 км/год; потужність ЕД – 16,8 кВт; потужність ДВЗ – 21,2 кВт (співвідношення 44/56%).

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Hujo, L. & Jablonický, J. & Tkáč, Z. & Angelovič, M. & Rečková, B. Assessment of a Transport Company in Terms of Performance Utilisation of Vehicles, Acta Technologica Agriculturae. 2013. Vol. 16(1), No. 1–4. DOI: <https://doi.org/10.2478/ata-2013-0001>.

2. Toyota Mirai. Вікіпедія. 2021. [Electronic resource] // URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Toyota_Mirai (accessed: 15.02.2021).

3. Larminie J., Lowry J. Electric Vehicle Technology Explained, 2nd Edition / Wiley. John Wiley & Sons, 2003.

4. Когда мир попрощается с автомобилями с ДВС: Авто новости от AUTO-Consulting - ДВС [Electronic resource]. URL: <https://www.autoconsulting.com.ua/article.php?sid=49689> (accessed: 04.10.2021).

5. Міністерство інфраструктури України [online] [цит. 03.08.2021]. Режим доступу: <http://mtu.gov.ua/>.

6.Гришук О.К. Щодо переобладнання автомобіля на електромобіль / О.К. Гришук, В.С. Гладченко, Ю.М. Оверченко // Автошляховик України, Автомобільний транспорт №4, – 2019, С.29–35. DOI: 10.33868/0365-8392-2019-4-260-29-35.

7.Транспортна стратегія України на період до 2020 року. 2009, 36 с. [online] [cit. 24.01.2020]. Режим доступу: https://www.insat.org.ua/files/anons/2_dod_3.doc.

8.Childs, Dara W. Conkey, Andrew P Dynamics in engineering practice, 11 edition. CRC Press. Taylor & Francis Group. 2015. 209 pp. ISBN 978-1-4822-5025-1.

9.Sapio, V. Advanced Analytical Dynamics. Theory and Applications. Cambridge University Press. 2017. 305 pp. ISBN 978-1-107-17960-8.

10.Сахно В.П. Автомобілі: Тягово-швидкісні властивості та паливна економічність / В.П. Сахно, Г.Б. Безбородова, М.М. Маяк, С.М. Шарай// Навч. посібник/. –К.: В-во «КВІЦ», 2004, 174 с., іл. 15, т. 9, бібл. 30.

11.Раджика, Н. Tire and Vehicle Dynamics. (3rd Edition). Butterworth-Heinemann, Elsevier, 2012. 672 p. ISBN 978-0-0809-7016-5.

12.Сахно В. П. Методика визначення характеристик агрегатів ГСУ та режимів їх роботи для вантажних автомобілів в залежності від умов експлуатації / В. П. Сахно, В. М. Поляков, О. М. Тімков, О.С. Іванов // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія : Математичне моделювання в техніці та технологіях. – 2015. – № 6. – С. 137–147. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vcpimm_2015_6_20.

REFERENCES

1.Hujo, L. & Jablonický, J. & Tkáč, Z. & Angelovič, M. & Rečková, B. Assessment of a Transport Company in Terms of Performance Utilisation of Vehicles, Acta Technologica Agriculturae. 2013. Vol. 16(1), No. 1–4. DOI: <https://doi.org/10.2478/ata-2013-0001>.

2.Toyota Mirai. Вікіпедія. 2021. [Electronic resource] // URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Toyota_Mirai (accessed: 15.02.2021).

3.Larminie J., Lowry J. Electric Vehicle Technology Explained, 2nd Edition / Wiley. John Wiley & Sons, 2003.

4.When the world says goodbye to ICE cars: Auto news from AUTO-Consulting - ICE [Electronic resource]. URL: <https://www.autoconsulting.com.ua/article.php?sid=49689> (accessed: 04.10.2021).

5.Ministry of Infrastructure [online] [cit. 03.08.2021]. Available on the Internet: <http://mtu.gov.ua>.

6. Gryshchuk O.K. Converting the vehicle by replacing the internal combustion engine / O.K. Gryshchuk, V.S. Hladchenko, Yu.M. Overchenko // Motorway of Ukraine, Road transport №4, – 2019, С.29–35. DOI: 10.33868/0365-8392-2019-4-260-29-35.

7.Transport strategy of Ukraine for the period up to 2020. 2009, 36 p. [online] [cit. 24.08.2021]. Available on the Internet: https://www.insat.org.ua/files/anons/2_dod_3.doc.

8.Childs, Dara W. Conkey, Andrew P Dynamics in engineering practice, 11 edition. CRC Press. Taylor & Francis Group. 2015. 209 pp. ISBN 978-1-4822-5025-1.

9.Sapio, V. Advanced Analytical Dynamics. Theory and Applications. Cambridge University Press. 2017. 305 pp. ISBN 978-1-107-17960-8.

10.Sakhno, V.P., Bezborodova, H.B., Mayak, M.M., Sharay, S.M., (2004) Cars: Traction-speed properties and fuel economy. Educ. manual/. – K.: In “KVITs”, 174 p., Fig. 15, Vol. 9, Bibl. 30.

11.Pacejka, H. Tire and Vehicle Dynamics. (3rd Edition). Butterworth-Heinemann, Elsevier, 2012. 672 p. ISBN 978-0-0809-7016-5.

12.Sakhno V.P. Method of determining the characteristics of HEV units and their modes of operation for trucks depending on operating conditions / V.P. Sakhno, V.M. Polyakov, O.M. Timkov, O.S. Ivanov // Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Mathematical modeling in engineering and technology. – 2015. – № 6. – С. 137–147. – [Electronic resource]: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vcpimm_2015_6_20.

Gryshchuk O., Timkov O., Hladchenko V. Search for parameters of the power plant of the re-equipped vehicles

Nowadays, the need to use wheeled vehicles with zero emissions, the share of such vehicles is growing rapidly in developed countries. At the same time, existing re-equipped vehicle with internal combustion engines, have a significant number around the world, create a major environmental problem. One way to overcome this problem is to convert them into hybrid or electric vehicles with lower emissions.

In Ukraine, such re-equipment is very often done by owners of old vehicles, and there are no recommendations on its feasibility.

The lack of a method for calculating the performance of re-equipped vehicles complicates this process, so the development of such a method is an urgent task. The method involves compiling a mathematical model of the movement of vehicles with different types of power plants and different layout schemes. The layout scheme of a hybrid power plant of parallel type is considered in this article. The front axle is driven by the internal combustion engine, the rear by the motor. The method of Lagrange equations was used to compile the equations of motion. As a generalized coordinate, the angular displacement of the motor shaft is considered, to which the parameters of all mechanical elements of the vehicle are given, in accordance with its layout.

Theoretical research of energy properties of the re-equipped vehicle in the conditions of movement of Kyiv is carried out. According to the results of processing the value of the speed of movement, the law of its distribution and its parameters are established. The obtained data were used in the calculations according to the proposed method and the value of the speed for the transition to the movement of the internal combustion engine was determined and the power distribution between the power elements of the power plant was established.

Key words: hybrid vehicles, electromobile, re-equipped, efficiency, mathematical model, power plant, experiment.

ГРИЩУК Олександр Казимирович, кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, e-mail: gryshchuk@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-2993-5566.

ТІМКОВ Олексій Миколайович, доцент, к.т.н., доцент кафедри автомобілів Національного транспортного університету, e-mail: alextimkov@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-7925-7030.

ГЛАДЧЕНКО Володимир Сергійович, аспірант кафедри туризму, Національний транспортний університет, e-mail: v.glad4enko@ukr.net, https://orcid.org/0000-0001-5783-4880.

Oleksandr GRYSHCHUK, Professor, PhD, National Transport University, e-mail: gryshchuk@ntu.edu.ua, https://orcid.org/0000-0003-2993-5566.

Oleksii TIMKOV, Associate professor, PhD, Department of Automobiles National Transport University, e-mail: alextimkov@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-7925-7030.

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

DOI 10.36910/automash.v2i17.636

Кириченко Г.І., Бердніченко Ю.А., Стрелко О.Г.
Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, Україна,

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ РОБОТИ З ВИКОРИСТАННЯМ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

В умовах розвитку транспортного ринку ключовими питаннями для системи залізничних перевезень є: своєчасне забезпечення вагонами відповідного типу усіх відправників вантажу відповідно до їх замовлень; подальше закріплення залізничного транспорту на ринку перевезень шляхом розвитку маркетингу, створення збалансованої тарифної політики; удосконалення організаційних структур управління залізничним транспортом, технології перевізного процесу та організації перевізної роботи на основі широкого впровадження автоматизованих систем управління. Мета статті полягає у дослідженні можливості підвищення ефективності використання парку вагонів, пов'язаного з цим дотримання термінів доставки вантажу, на базі нової методики та принципу розрахунку. Один з основних комплексних показників роботи залізниці є обіг вагону, що відображає час повного циклу роботи вагону. Наразі обіг вагону збільшується, для залізниці це означає невиконання встановлених норм, для отримувачів послуг – клієнтів залізниці – це означає прострочення термінів доставки вантажу, порушення фінансових зобов'язань перед іншими учасниками процесу перевезень. Інформаційні технології залізниці обумовлюють можливість контролю за виконанням нормативу обігу вагону та дотримання термінів доставки вантажу з подальшим вдосконаленням методик та методів визначення показників експлуатаційної роботи. Досліджено підвищення ефективності використання парку вагонів, пов'язаного з цим дотримання термінів доставки вантажу, за рахунок нової методики та принципу розрахунку і прогнозу основних показників роботи. Проаналізовано можливості відійти від умовного визначення обігу за формулами, що використовують балансовий метод та застосовувати сучасні статистичні методи для визначення обігу вагонів як характеристики певного перевезення. Це дозволить встановлювати реальні норми обігу вагонів та терміни доставки вантажів, що забезпечать дотримання технологічних процесів експлуатаційної роботи залізниці при обслуговуванні клієнтів.

Ключові слова: інформаційні технології, терміни доставки, обіг вагонів, технологічний процес, залізниця.

ВСТУП

Основними аспектами стратегії розвитку залізниці України є дотримання термінів доставки вантажів, прискорення обігу вагонів та удосконалення системи управління на базі інформаційних технологій. Виконання термінів доставки вантажів та дотримання норм обігу вагонів, на нашу думку, є ознакою досконалого технологічного процесу, за яким організована експлуатаційна робота. На жаль, на поточний період, і за попередні роки, обіг вагонів постійно збільшується, про що констатують звіти залізниці та дослідження фахівців [8-12]. Невиконання норм обігу вагонів та термінів доставки вантажів вказує на недотримання технології процесів. Крім того, існує значна різниця між плановими та виконаними показниками обігу вагону. Це свідчить про необхідність розробки нових методик та принципів розрахунку, і прогнозу основних показників роботи. Наразі фахівцями розглядаються різні шляхи вирішення задачі адекватного прогнозування процесів перевезення з урахуванням існуючих умов експлуатаційної роботи [1], що дозволить встановлювати реальні терміни доставки вантажів та норми обігу вагонів. Фахівцями-практиками також ставляться задачі зміни принципів нормування при плануванні перевезень з метою виконання термінів доставки вантажів, прискорення обігу вагонів та удосконалення системи управління [2]. Ефективне використання транспортних засобів, прискорення оборотності вагонів, також розглядається у роботах [3, 13-17], присвячених оптимізації виробництва промислових підприємств.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Як відомо, середній (умовний) обіг вагона для мережі залізниць визначається діленням робочого парку вагонів на середньодобове навантаження [4, с.24], а обіг вагона за елементами [4, с.50] визначається за формулою:

$$O_v = \frac{l}{24} \cdot \left(\frac{1}{V_d} + \frac{1}{L_{tex}} \cdot t_{tex} + k \cdot t_{van} \right)$$

де l – повний рейс вагона, км;

V_d – середня дільнична швидкість вагона, км/год.;

L_{tex} – вагонне плече, км;

T_{tex} – середній простій вагона на одній технічній станції, км;

k – коефіцієнт місцевої роботи;

$t_{ван}$ – середній простій вагона на одній станції з вантажними операціями, год.

Вочевидь, певні характеристики перевізного процесу не враховані у наведених формулах, тому і фактичне виконання обігу вагонів значно перевищує нормативи. Так, існуючі формули не враховують час ремонту вагонів, хоча технічний стан вагонного парку суттєво впливає на час циклу роботи вагона. Це є одно з пояснень невиконання запланованого обігу вагонів і постійного його збільшення наразі [5].

Аналогічні задачі існують і в залізничних адміністраціях сусідніх держав (ОАО "РЖД", СНД, країни Балтії). В формули розрахунків обігу фахівцями вводяться коефіцієнти, що оцінюються експертами та використовується прогнозування [6].

В той же час інформаційна система (ІТ) залізниці (АСК ВП УЗ-Є) являє собою гігантське сховище даних, що описують виконану роботу, констатує процеси, що відбулись [7] і містить всі операції з кожним вагоном. Це означає, що існує можливість розрахунку обігу кожного вагону чи розрахунку групи вагонів за якимось окремими характеристиками. Аналогічно у автоматизованій системі наразі розраховується час знаходження кожного вагону під вантажними операціями (для оплати клієнтом), що є однією із складових частин обігу вагону.

При розробці нової методики з визначення показників роботи залізниці запропоновано врахувати наступне:

- не розраховувати обіг за існуючими застарілими формулами, а встановлювати обіг вагону, виходячи з фактичної роботи, що відображається у базі даних АСКВП УЗ-Є;

- обіг вагонів пропонується розраховувати за родом рухомого складу при перевезенні певного роду вантажу (у т.ч.), тобто визначати обіг вагону як показник обслуговування певного вантажопотоку;

- якщо на території однієї із залізниць здійснюється неповний цикл роботи вагону, розраховувати долю (залізниці) в обігу (повному циклі від навантаження до наступного навантаження);

- за даними обігу та роботи слід розраховувати необхідний робочий парк вагонів для перевезення визначеного вантажу у визначеному рухомому складі.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

З метою аналізу показника обігу вагонів у процесах перевезень вантажів були оброблені дані про транспортування маршрутів (та групових відправок) з чорними металами з Кривого Рогу до Одеського порту за декількома маршрутам слідування. Для аналізу даних розроблено таблицю норм руху поїзду за графіком по визначених станціях маршруту, з урахуванням часу обробки на стикових пунктах та станціях зміни тяги або локомотива.

Дані про час слідування вагонів від початкової станції маршруту до станції призначення складають частину показника – обіг вагонів. Продовження циклу роботи вагонів – це час знаходження вагонів на під'їзній колії, що визначається операціями у ІТ з умовною позначкою «ПОГР» або «ВЫГР» (аналізується час здійснення операції). І третю складову частину обігу вагонів додає час слідування під наступне навантаження або вивантаження.

Проаналізовано цикл роботи вагонів при здійсненні технологічних операцій:

Залізниця навантаження вагона – Придніпровська, вивантаження – Одеська залізниця, наступне навантаження – Придніпровська.

Залізниця навантаження вагона – Придніпровська, вивантаження – Одеська залізниця, наступне навантаження – Одеська.

Залізниця навантаження вагона – Придніпровська, вивантаження – Одеська залізниця, наступне навантаження вагону з новим вантажем здійснюється на третій (не Придніпровській, не Одеській) залізниці.

Обіг вагонів залежить від багатьох факторів — зокрема від періоду року (Рис.1).

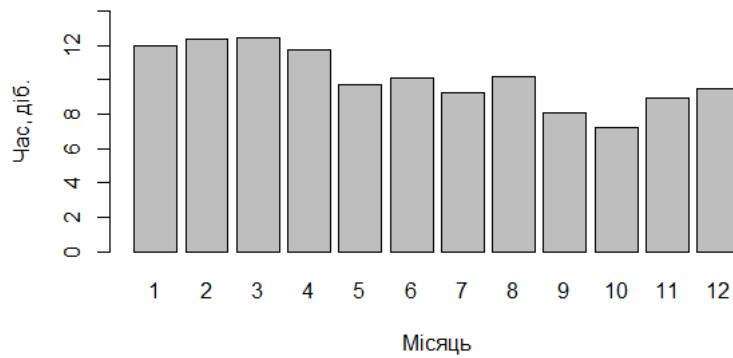


Рисунок 1 – Середній час обігу за місяць

Встановлено, що протягом перших трьох кварталів — зниження медіани, середнього значення, третього квартиля та, особливо, - верхньої межі. В четвертому кварталі — деяке зростання названих показників. Помітна незначна динаміка першого квартиля та певні флуктуації нижньої межі (Рис.2).

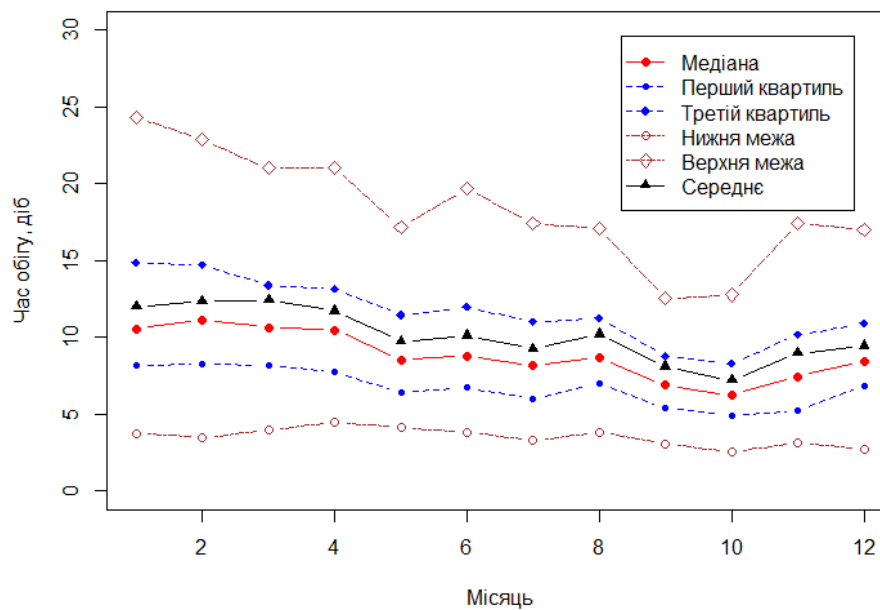


Рисунок 2 – Динаміка часу обігу

Загальні характеристики випадків Придніпровська- Придніпровська (Кількість вагонів – 1632) (Рис.3, 4)).

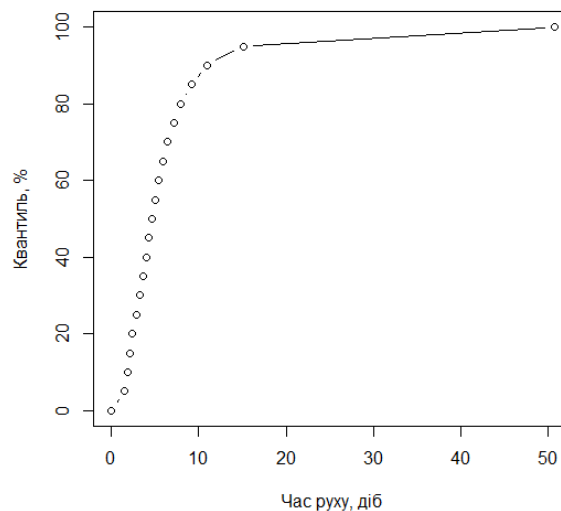


Рисунок 3 – Квантилі часу руху по Придніпровській залізниці

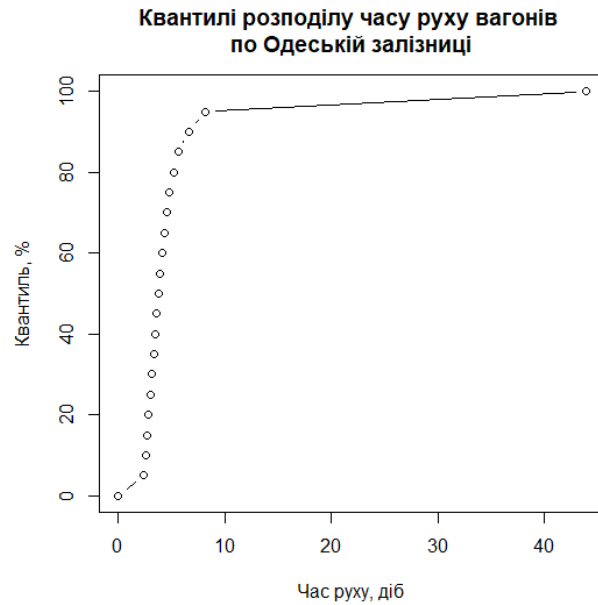


Рисунок 4 – Квантилі розподілу часу руху по Одеській залізниці

З порівняння наявних даних видно, що серед вагонів з часом руху до трьох діб як на Одеській, так і на Придніпровській залізницях рухалося близько 30 % від їх загального числа. Проте на менших часових інтервалах Придніпровська залізниця виявляла більшу оперативність, так для 10% вагонів з найменшим часом руху на Придніпровській він не перевершував 1.8 діб, а на Одеській — 2.58 діб.

Проте на більших часових інтервалах вагони швидше рухались на Одеській залізниці — $t_{0.5}^{Od} = 3.74$ проти $t_{0.5}^{Pr} = 4.65$ на Придніпровській, тобто медіана на Одеській залізниці менша на майже на добу (0.91 доби). А вже 90-й процентиль часу руху по Одеській залізниці на 4,32 доби менший відповідного значення для Придніпровської залізниці (Рис.5).

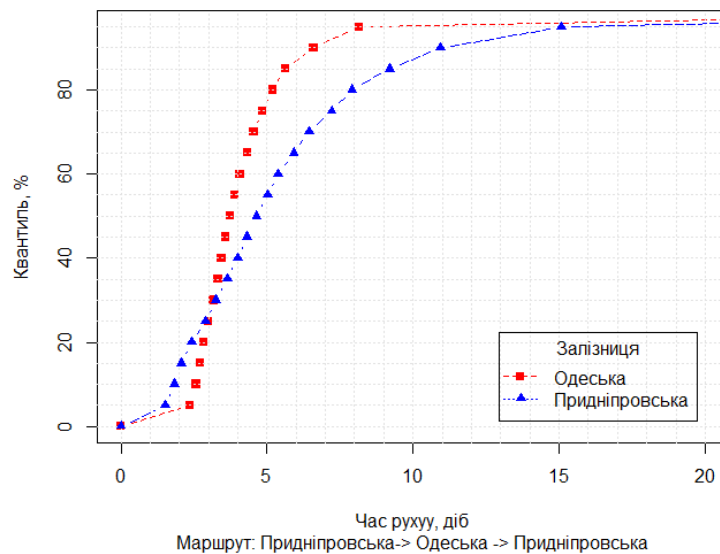


Рисунок 5 – Квантилі розподілу часу руху вагонів

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для аналізу часу знаходження вагонів на залізницях (під час виконання циклу) введемо логічну змінну $b_1 = t^{Od} > bound^{Od}$, яка приймає значення «true» у випадку, якщо час руху вагона по Одеській залізниці t^{Od} більший за значення певної межової характеристики руху по Одеській же залізниці $bound^{Od}$. З аналогічною метою для Придніпровської залізниці введемо змінну $b_2 = t^{Pr} > bound^{Pr}$.

Замість $bound^{Od}$ та $bound^{Pr}$ будемо писати $bound^X$, де $X \in \{Od, Pr\}$.

У таблиці 1 наведено дані про структуру вибірки вагонів відносно межової характеристики руху вагонів $bound^X$ зі значеннями 25-го процентилля, медіани, середнього значення та 75-го процентилля.

Будемо говорити, що вагон відноситься до вагонів типу 1, якщо час його знаходження на Одеській залізниці перевершує значення $bound^{Oo}$, вказане у рядку таблиці, тільки на Одеській залізниці, але не на Придніпровській (тобто на Придніпровській той же вагон має менший час руху, ніж значення $bound^{Ip}$). До вагонів типу 2 — ті, час руху яких перевершує значення $bound^{Ip}$ навпаки тільки на Придніпровській залізниці, а на Одеській час руху менший за $bound^{Oo}$. Вагони типу 3 — це вагони, час руху яких більший за $bound^X$ на кожній із залізниць. І, нарешті, тип 4 — це вагони, час руху яких не перевершує $bound^X$ на кожній із залізниць.

Таблиця 1. Дані про структуру вибірки вагонів відносно межової характеристики руху вагонів

№ рядка	$bound^X$	1, % $b_1 \wedge \bar{b}_2$	2, % $\bar{b}_1 \wedge b_2$	3, % $b_1 \wedge b_2$	4, % $\bar{b}_1 \wedge \bar{b}_2$
1	$t_{0.25}^X$	17,8	18	57	7,2
2	$t_{0.50}^X = median^X$	24,6	24,6	25,4	25,4
3	$mean^X$	21.93	21.93	13.23	42.89
4	$t_{0.75}^X$	18,8	18.3	6.7	56,7

Кожен вагон вибірки потрапляє тільки до одного типу, а об'єднання цих чотирьох типів вагонів становить повну вибірку.

Кількість вагонів типу 1 та 2, як це видно з Таблиці 1, дуже близькі для різних значень $bound^X$. Разом вони дають уявлення про кількість вагонів, які перевершили відповідну межу $bound^X$ тільки на одній із залізниць.

Так у рядку № 2 таблиці бачимо, що майже 50 відсотків вагонів (49,2%) потрапили до половини вагонів з найбільшим часом руху (більшим за медіану на відповідній залізниці) тільки із-за проблем на одній із залізниць. Можливо, спільні проблеми призвели до того, що 25,4% вагонів мали час руху, більший за медіану на обох залізницях одночасно — тип 3. Час руху решти 25,4% вагонів, менший за медіану для кожної із залізниць.

Щодо вагонів з $bound^X = mean^X$, див. рядок № 3 таблиці, легко помітити, що понад 57% вагонів мають час руху, більший за середнє значення руху на відповідній залізниці. При цьому із-за проблем однієї з залізниць — майже 44%, та понад 13% — з одночасним для обох залізниць перевершенням середнього значення часу руху.

Отже, частка вагонів, затримку яких спричинила тільки одна залізниця, становить від 35,8% до 49,2%.

Подібні розрахунки для вагонів, час обігу яких перевершує медіану часу обігу за вказаним маршрутом (8,771 діб), наведені у табл. 2.

Таблиця 2. Розрахунки для вагонів, час обігу яких перевершує медіану часу обігу

№ рядка	$bound^X$	1, % $b_1 \wedge \bar{b}_2$	2, % $\bar{b}_1 \wedge b_2$	3, % $b_1 \wedge b_2$	4, % $\bar{b}_1 \wedge \bar{b}_2$
1	$t_{0.25}^X$	3,6	16,1	79,5	0,1
2	$t_{0.50}^X = median^X$	16,6	34,0	48,4	1,0
3	$mean^X$	26,7	41,0	25,2	7,1
4	$t_{0.75}^X$	27,8	34,7	12,8	24,5

Таких вагонів виявилось 858. Частка вагонів, затримку яких спричинила тільки одна залізниця, становить від 19,7% до 67,7%.

ВИСНОВКИ

Інформаційна система, що функціонує наразі на залізниці, дозволяє вирахувати обіг вагона за кожним його номером, за певними характеристиками перевезення та визначити час знаходження рухомого складу на структурному підрозділі при виконанні всього циклу роботи.

Статистичні дослідження показали наступне:

-тривалість обігу залежить від багатьох факторів, зокрема змінюється на протязі року, в залежності від місяця року;

-складові циклу – час знаходження на залізницях, суттєво відрізняються в залежності від залізниці

-зі структури вибірки вагонів впливає, що відповідальність за перевищення «середньої норми» знаходження вагонів однозначно ідентифікується.

Попередні висновки підтверджуються — керуючий/мотиваційний вплив на залізницю має співвідноситись із обсягами вагонів типу 1, типу 2, мабуть і типу 3, тобто ідентифікованим внеском у збільшення часу обігу порівняно з типовою статистикою.

Використання зазначених положень дасть можливість відійти від умовного визначення обігу за формулами, що використовують балансовий метод та застосовувати сучасні статистичні методи для визначення обігу вагонів як характеристики певного перевезення.

Для визначення нормативного та фактичного обігу вагонів, а також прийняття оперативних заходів управління запропоновано аналізувати час знаходження його на кожному підрозділі (залізниці) за даними інформаційної системи. Це дозволить встановлювати реальні норми обігу вагонів та терміни доставки вантажів, що забезпечать дотримання технологічних процесів експлуатаційної роботи залізниці при обслуговуванні клієнтів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Improvement of the technique of calculating operational parameters using an automated system / Y. Statyvka, H. Kyrychenko, O. Strelko [та ін.] // MATEC Web of Conferences. 2019. № 294. P. 06002 <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929406002>
2. Розпорядження кабінету міністрів України «Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року» від 30 травня 2018 року № 430-р. / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text> (дата звернення: 12.03.2021).
3. Steel product transportation and storage simulation: A combined simulation/optimization approach, / N. Ueno, Y. Nakagawa, S. Morito, Y. Okuno // 1988 Winter Simulation Conference Proceedings. San Diego, CA, USA, 1988. P. 678–683.
4. Макаренко М. В. Краткий справочник показателей эксплуатационной работы железных дорог Украины. Киев: «Юникон-Прес», 2001. 154 с.
5. Богомазова Г. Є. Формування автоматизованої технології управління вагонопотоками на залізничних напрямках: автореферат дис. ... канд. тех. наук: 05.22.20. Харків, 2019. 22 с.
6. Распоряжение ОАО "РЖД" от 18.08.2015 N 2075р «Об утверждении «Методики технического нормирования, учета рабочего парка и времени оборота грузового вагона на инфраструктуре общего пользования» и установлении статистического наблюдения за показателями использования грузовых вагонов на инфраструктуре общего пользования». Москва: ОАО «РЖД», 2015. С. 14–17.
7. Kozachenko D., Bobrovskyi V., Demchenko Y. A method for optimization of time intervals between rolling cuts on sorting humps. *Journal of Modern Transportation*. 2018. №26(3). P. 189–199.
8. Zinder E. Z. SUBD i deystvitelno bolshie sistemyi. Sistemyi upravleniya bazami dannyih: elektron. versiya zhur (Aug. 2018). URL: https://www.osp.ru/news/articles/1997/0801/13031555#part_1 (дата звернення: 12.03.2021).
9. Wang F. Y. Toward a revolution in transportation operations: AI for complex systems. *Intelligent Systems: IEEE*. 2008. № 23 (6). P. 8–13. <https://doi.org/10.1109/MIS.2008.112>
10. Application of Information Technologies for Automation of Railway and Cargo Owner Interaction / O. H. Strelko, H. I. Kyrychenko, Yu. A. Berdnychenko [et al.] // Materials Science and Engineering. 2019. № 582 (1). P. 012029.
11. Алгоритмы оптимизации в задачах планирования на рельсовом транспорте/ Н. А.Кузнецов, Ф. Ф. Пащенко, Н. Г. Рябых [и др.] // *Информационные процессы*. 2014. Том 14, № 4. С. 307–318.
12. Моделювання сценаріїв переміщення вантажу у ланцюгах доставки / Н. І. Куриченко, О. Н. Стрелко, Ю. А. Бердніченко [та ін.] // Транспортні системи та технології перевезень. 2016. № 12. С. 32–37. <https://doi.org/10.15802/tstt2016/85882>.
13. Noia Di, Semantic T. Matchmaking as Non-Monotonic Reasoning A. Description Logic Approach. *Journal of Artificial Intelligence Research*. 2007. №29. P. 269–307.
14. Dávid A. Innovation of handling systems in the world container ports and their terminals *Proceedings of the 17th International Conference Transport Means 2013*. (Kaunas: University of

Technology, 2013). Kaunas, 2013. P. 250–253

15. Petrashevsky O. L., Redzyuk A. M. Alekseenko O. V. Methodology of conceptual-logistic mapping and project modeling of the objectives of the traffic safety management system NTU. *Collection of Scientific Articles*. 2009. № 6(10). С. 76–89.

16. Іващук В. Р. Формування інструментів логістичного забезпечення перевезень вантажів на залізниці. *Залізничний транспорт України*. 2011. №5. С. 20–23.

17. Marinov M., Zunder T., Mortimer P. Rail Freight Services. *World Transport, Policy & Practice*. 2012. № 18(2). P. 30–38.

REFERENCES

1. Statyvka, Y., Kyrychenko, H., Strelko, O., Berdnychenko, Y., Haba, V., Hrushevskaya, T. (2019). Improvement of the technique of calculating operational parameters using an automated system. *MATEC Web of Conferences*, 294(6), 06002. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929406002>

2. Pro skhvalennia Natsionalnoi transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku: Rozporiadzhennia Kabinetu ministriv Ukrainy vid 30 travnia 2018 r. № 430-r. 2018. [On approval of the National Transport Strategy of Ukraine for the period up to 2030: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine from May 30, 2018 № 430-r. 2018.]. Verkhovna Rada Ukrainy. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text> [in Ukraine].

3. Ueno, N., Nakagawa, Y., Morito, S., Okuno, Y. (1988). *Steel product transportation and storage simulation: A combined simulation/optimization approach*. 1988 Winter Simulation Conference Proceedings. San Diego, CA, USA.

4. Makarenko, M. V. (2001). *Kratkiy spravochnik pokazateley ekspluatatsionnoy raboty zheleznykh dorog Ukrainy*. Kiev: Iunikon-Press [in Russia].

5. Bohomazova, H. Ye. (2019). Formuvannia avtomatyzovanoi tekhnologii upravlinnia vahonopotokamy na zaliznychnykh napriamkakh: avtoreferat dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.20 [Formation of automated technology of car traffic control on railway directions]. Kharkiv [in Ukraine].

6. Rasporiazhenie OAO "RZhD" ot 18.08.2015 N 2075r «Ob utverzhdenii «Metodiki tekhnicheskogo normirovaniia, ucheta rabocheho parka i vremeni oborota gruzovogo vagona na infrastrukture obshchego polzovaniia» i ustanovlenii statisticheskogo nabliudeniia za pokazateliami ispolzovaniia gruzovykh vagonov na infrastrukture obshchego polzovaniia» [Order of JSC "Russian Railways" of August 18, 2015 N 2075r "On approval of the" Methodology for technical regulation, accounting of the working fleet and turnover time of a freight car on public infrastructure "and the establishment of statistical monitoring of indicators of the use of freight cars on public infrastructure]. Moskva: OAO «RZhD», 2015 [in Russia].

7. Kozachenko, D., Bobrovskiy, V., Demchenko, Y. A. (2018). Method for optimization of time intervals between rolling cuts on sorting humps. *Journal of Modern Transportation*, 26(3), 189–199.

8. Zinder, E. Z. SUBD i deystvitelno bolshie sistemy. Sistemy upravleniya bazami dannykh: elektron. versiya zhur (Aug. 2018). Retrieved from: https://www.osp.ru/news/articles/1997/0801/13031555#part_1.

9. Wang, F. Y. (2008). Toward a revolution in transportation operations: AI for complex systems. *Intelligent Systems: IEEE*, 23 (6), 8–13. <https://doi.org/10.1109/MIS.2008.112>

10. Strelko, O. H., Kyrychenko, H. I., Berdnychenko, Y. A., Sorochnytska, O. L., Pylypchuk, O. Y. (2019). Application of Information Technologies for Automation of Railway and Cargo Owner Interaction. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 582 (1), 012029.

11. Kuznetsov, N. A., Pashchenko, F. F., Riabykh, N. G., Zakharova, E. M., Minashina, I. K. (2014). Algoritmy optimizatsii v zadachakh planirovaniia na relsivom transporte [Design and analysis of optimization algorithm for multi-agent rail control system]. *Informatcionnye protsessy*, 14(4), 307–318. [in Russia].

12. Kyrychenko, H. I., Strelko, O. H., Berdnychenko, Yu. A., Petrykovets, O. V., Kyrychenko, O. A. (2016). Modeliuvannia stsensariiv peremishchennia vantazhu u lantsiuhakh dostavky [Scenarios modeling of cargo movement in the supply chains]. *Transportni systemy ta tekhnologii perevezen*, 12, 32–37. <https://doi.org/10.15802/tstt2016/85882> [in Ukraine].

13. Noia, Di, Semantic, T. (2007). Matchmaking as Non-Monotonic Reasoning A. Description Logic Approach. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 29, 269–307.

14. Dávid, A. (2013). *Innovation of handling systems in the world container ports and their terminals*. Proceedings of the 17th International Conference Transport Means 2013. Kaunas: University of Technology.

15. Petrashevsky, O. L., Redzyuk, A. M. Alekseenko, O. V. (2009). Methodology of conceptual-logistic mapping and project modeling of the objectives of the traffic safety management system NTU.

Collection of Scientific Articles, 6(10), 76–89.

16. Ivashchuk, V. R. (2011). Formuvannia instrumentiv lohistychnoho zabezpechennia perevezen vantazhiv na zaliznytsi [Formation of tools for logistical support of freight transportation by rail]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy*, 5, 20–23. [in Ukraine].

17. Marinov, M., Zunder, T., Mortimer, P. (2012). Rail Freight Services. *World Transport, Policy & Practice*, 18(2), 30–38.

H. Kyrychenko, Yu. Berdnychenko, O. Strelko: Advances in technology for calculating operational work indicators using an automated system

In the context of the transport market development, the key issues for the railway transportation system are: timely provision of wagons of the appropriate type to all consignors in accordance with their orders; further consolidation of railway transport in the transportation market through the marketing development, the creation of a balanced tariff policy; improving the organizational structures of railway transport management, the technology of the transportation process and the organization of transportation work on the basis of the widespread introduction of automated control systems. The purpose of the article is to study the possibility of increasing the efficiency of using the wagons fleet, related to this the goods delivery time compliance, based on a new methodology and calculation principle. One of the main aggregated factors of the railway operation is the wagon turnover which reflects the time of the wagon's full cycle operation. Now the turnover of wagon is increasing, for the railway this means non-compliance with the established norms, for the services recipients - the railway customers - this means delays in the delivery of goods, violation of financial obligations to other participants in the transportation process. Information technologies on the railway provide for the possibility of monitoring the fulfillment of the standard for the wagons turnover and the observance of the cargo delivery time with further improvement of the methods and techniques for determining the operational work indicators. An increase in the efficiency of using the fleet of wagons, related to this the delivery time compliance, due to the new methodology and principle of calculating and forecasting the main performance indicators, has been investigated. Possibilities to deviate from the conventional definition of the wagons turnover by formulas, which use the balance method, and to apply modern statistical methods to determine the turnover of wagons as a characteristic of certain transportation have been analyzed. This will allow to set real standards for the wagons turnover and the terms of goods delivery, which will ensure compliance with the technological processes of the operational work of the railway when servicing customers.

Key words: information technologies, delivery terms, wagons turnover, technological process, railway.

КИРИЧЕНКО Ганна Іванівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій транспорту та управління процесами перевезень, Державний університет інфраструктури та технологій e-mail: babichanya@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-6883-1877>

БЕРДНИЧЕНКО Юлія Анатоліївна, кандидат історичних наук, доцент кафедри технологій транспорту та управління процесами перевезень, Державний університет інфраструктури та технологій e-mail: yb08@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-7536-7155>

СТРЕЛКО Олег Григорович, доктор історичних наук, професор кафедри технологій транспорту та управління процесами перевезень, Державний університет інфраструктури та технологій e-mail: olehstrelko@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-3173-3373>

Hanna KYRYCHENKO, Ph.D., Associate Professor at the Department of Transport Technologies and Transportation Processes Operation, State University of Infrastructure and Technologies e-mail: babichanya@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-6883-1877>

Yuliia BERDNYCHENKO, Ph.D., Associate Professor at the Department of Transport Technologies and Transportation Processes Operation, State University of Infrastructure and Technologies e-mail: yb08@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-7536-7155>

Oleh STRELKO, Doctor of Historical Sciences, Professor at the Department of Transport Technologies and Transportation Processes Operation, State University of Infrastructure and Technologies e-mail: olehstrelko@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-3173-3373>

DOI 10.36910/automash.v2i17.637

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

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ В АГРЕГАТАХ ТРАНСМІСІЇ ПІДЙОМНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ РЕМОНТУ СВЕРДЛОВИН

Стаття спрямована на вирішення проблеми зниження втрат енергії в трансмісійних агрегатах підйомних установок для ремонту свердловин. Були проаналізовані основні напрямки з скорочення енергоспоживання підйомних установок для ремонту свердловин. Проведений аналіз особливостей конструкції трансмісії підйомних установок для ремонту свердловин. Виконані дослідження в'язкісно-температурних характеристик сучасних трансмісійних оливи та температурного режиму в трансмісійних агрегатах. Був запропонований метод швидкого прогріву та підтримання оптимального температурного режиму в трансмісійних агрегатах підйомних установок за рахунок використання теплоти відпрацьованих газів. Досліджена типова механічна трансмісія підйомної установки для ремонту свердловин на колісному шасі. Наведена методика та засоби експериментальних досліджень енергоефективності трансмісії підйомних установок. Виконані експериментальні дослідження реалізації запропонованого методу зниження втрат енергії в трансмісійних агрегатах. Встановлена залежність зміни температури трансмісійної оливи в коробці перемикання передач при різних режимах обертання первинного валу коробки передач. Одержана залежність втрат потужності в коробці перемикання передач підйомної установки моделі УПА 60/80А в залежності від температури та сорту трансмісійної оливи. Наведені результати розрахунків перевитрат палива в коробці перемикання передач підйомної установки моделі УПА 60/80А з різними силовими приводами та за різних температур трансмісійної оливи.

Ключові слова: підйомна установка для ремонту свердловин, нафтогазовий технологічний транспорт; дизельний двигун; трансмісійний агрегат; коробка перемикання передач; утилізація теплоти; відпрацьовані газу; потужність; питома витрата палива.

ВСТУП

Нафтогазова галузь, поряд з іншими структурами, включає у себе численні виробничі підрозділи технологічного транспорту. Призначення нафтогазового технологічного транспорту – забезпечення неперервної роботи основного виробництва виконанням технологічних операцій та транспортної роботи в заданих обсягах та заданий час. Нафтогазовий технологічний транспорт об'єднує в собі значну номенклатуру установок: для буріння і ремонту свердловин; для гідравлічного розриву пластів, промивні та піскозмішувальні установки; цементувальні та цементозмішувальні агрегати; пересувні компресорні; парогенераторні; для обслуговування та ремонту нафтогазово-промислового обладнання; для ремонту та будівництва газонафтопроводів; для налагоджування та монтажу нафтогазово-промислового обладнання, змащування верстатів-гойдалок; для підігріву та депарафінізації свердловин; для механізації робіт; для геофізичного дослідження свердловин та багато інших типів та моделей. За своєю чисельністю нафтогазовий технологічний транспорт переважає всі інші види технологічного транспорту інших галузей. Тому на особливу увагу заслуговує проблема зниження витрат енергії для нафтогазового технологічного транспорту, зокрема зниження витрат енергії в трансмісіях підйомних установок.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Питання покращення енергоефективності – один із головних пріоритетів України. У 2017 році в Україні було затверджено «Нову Енергетичну стратегію України до 2035 року: безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» – це головний документ, який визначає стратегічні орієнтири розвитку паливно-енергетичного комплексу держави на період до 2035 р. Відповідно до цього нормативного акту передбачається, що частка імпортованих компонентів в структурі загального первинного постачання енергії країни знизиться у 2025-2035 рр. до менш ніж 33 %, зокрема завдяки підвищенню енергоефективності та енергозбереженню з дотриманням сучасних екологічних стандартів та широкому розвитку відновлювальних енергоджерел. Нова енергетична стратегія держави містить три основних етапи, головним результатом яких має бути зменшення енергоємності ВВП до 2035 року порівняно з поточним значенням більше, ніж у вдвічі [1]. Також слід відмітити, що наша держава, як член Енергетичного європейського співтовариства, імплементувала Директиву Євросоюзу 2009/28/ЕС щодо просування відновлюваної енергетики і передбачила в 2020 році введення обов'язкової частки відновлюваної енергії у структурі загального споживання країни на рівні 11 % [2].

Для досягнення поставлених державною енергетичною політикою завдань необхідно максимально знижувати енергоспоживання всіх об'єктів та обладнання, в т.ч. і тих, які експлуатуються в нафтовій і газовій промисловості України. Це повною мірою стосується як в цілому нафтогазового технологічного транспорту, так і також такої важливої його складової, як підйомні установки для ремонту свердловин. Зазначені установки мають малоекономічні, у порівнянні з електроприводом, дизельні силові приводи з механічними трансмісіями, що вимагає, в т.ч., і пошуку нових напрямків покращення паливно-економічних характеристик силових приводів підйомних установок [3].

Витрати на функціонування технологічного транспорту становлять значну частку в собівартості п укції нафтогазової галузі, тому зменшення споживання енергії та собівартості технологічних робіт під час експлуатації силових приводів підйомних установок для ремонту свердловин – актуальне завдання для фахівців нафтогазової промисловості [4]. Основними напрямками з скорочення енергоспоживання підйомних установок для ремонту свердловин, які досліджуються в даній роботі є:

- ефективне використання надлишкової теплоти робочого процесу;
- забезпечення швидкого прогрівання та підтримання оптимального температурного режиму трансмісії.

Для виконання складних робіт з капітального ремонту глибоких свердловин використовуються підйомні установки великої потужності і вишки, що дозволяє виконувати спуско-піднімальні операції з бурильними й обсадними трубами. Комплекс такого устаткування перетворюється в мобільну бурову установку. Таким чином, на базі невеликого числа уніфікованих вузлів будуються конструкції підйомних установок різних призначень і параметрів [5].

Мобільні установки для ремонту свердловин функціонально являють собою систему з одного (частіше всього) чи двох приводних двигунів і трансмісії — перетворювача, що передає і трансформує енергію обертання вала двигуна в енергію гака, що переміщається поступально. Мінімально необхідна кратність регулювання частоти обертання і моментів на валу лебідки підйомників для виконання ними спуско-піднімальних і технологічних операцій знаходиться в межах приблизно 1:4. Із зовнішньої характеристики ДВЗ випливає, що крутний момент, змінюється в меншому інтервалі. У зв'язку з цим виникає необхідність застосування в трансмісії механічних, гід інамічних чи комбінованих перетворювачів [6].

Дослідження ряду авторів [7, 8 та ін.] показали, що температурний режим механічних трансмісій в умовах негативних температур не досягає оптимальних значень робочих температури трансмісійних агрегатів навіть після трьох годин роботи на різних навантажувальних режимах.

Згідно з дослідженнями [9, 10 та ін.], втрати потужності в трансмісії безпосередньо залежать від її температурного режиму роботи, тому що в'язкість трансмісійного масла збільшується з пониженням температури навколишнього середовища. Сучасні оливи характеризуються різними як експлуатаційними, так і в'язкісно-температурними властивостями. Відповідно до результатів досліджень [9], в'язкість мінеральної трансмісійної оливи 80W-90 істотно змінюється вже при температурі нижче +10 °С, при температурах мінус 25...30 °С вона досягає застигання. За представленими дослідженнями зроблено висновок, що при зниженні температури навколишнього повітря в зимовий період експлуатації, внаслідок зменшення середньої температури оливи, її в'язкість в агрегатах значно вище оптимальних значень, що обумовило підвищений знос шестерень.

При дослідженні теплових режимів роботи агрегатів трансмісії автомобілів при експлуатації в умовах від'ємних температур було встановлено, що на величину середньої температури оливи агрегатів значний вплив робить режим роботи автомобіля та швидкість і напрямок повітря, що обдуває автомобіль. При роботі автомобіля за температури навколишнього середовища мінус 20 °С із зупинками, сумарна тривалість яких дорівнює загальному часу руху, зниження середньої температури в коробці перемикання передач складає 19 °С, а в роздавальній коробці на 13 °С [11]. На підставі цього можна зробити висновок, що режим руху із зупинками має істотне значення при розгляді теплового режиму трансмісії при її роботі в умовах негативних температур.

Дослідження пристосованості автомобілів ГАЗ-66, ЗІЛ-131 і ін. за тепловим режимом агрегатів показали, що при температурі навколишнього повітря мінус 40 °С температура оливи в картері коробок перемикання передач має значення від 2 до 33 °С [12].

Оптимальний тепловий режим роботи агрегатів механічної трансмісії підйомних установок заводом-виробником не встановлюється в жорстких рамках. Визначальним фактором є працездатність оливи при певних умовах. Так, наприклад, встановлена максимальна температура трансмісійної оливи ТСП-15К, яка в агрегатах трансмісії автомобілів підйомних установок УПА-60/80 не повинна перевищувати 120 °С [13]. Мінімальне обмеження задається в'язкісно-температурною характеристикою застосовуваної оливи (не нижче мінус 30 °С). За даними авторів [14], оптимальна температура оливи з індексом в'язкості 80W-90 в картері коробки перемикання передач підйомної установки УРБ-2А2 на шасі автомобіля Урал-4320, з точки зору мінімізації втрат енергії, складає 30 °С.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Витрати на функціонування технологічного транспорту становлять значну частку в собівартості п укції нафтогазової галузі, тому зменшення споживання енергії та собівартості технологічних робіт під час експлуатації силових приводів підйомних установок для ремонту свердловин – актуальна проблема для фахівців нафтогазової промисловості.

Тому метою даної статті є встановлення в лабораторних умовах основних закономірностей зміни енергетичних та потужнісних характеристик трансмісій підйомних установок для ремонту свердловин нафтогазової галузі при реалізації запропонованих енергоефективних рішень. Відповідно до мети програма досліджень містить такі задачі: експериментальні дослідження енергетичних витрат в трансмісіях існуючих підйомних установок для ремонту свердловин; експериментальні дослідження енергетичних витрат в трансмісіях удосконалених підйомних установок для ремонту

свердловин з пропонованою високоефективною системою підігріву трансмісійних агрегатів відпрацьованими газами.

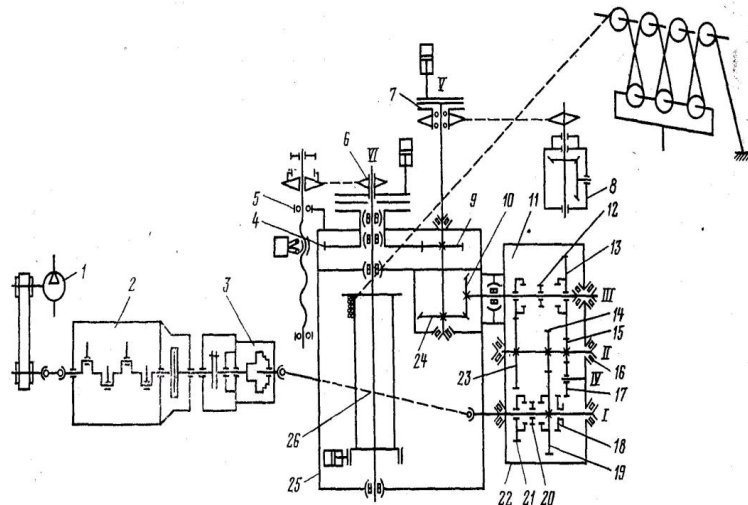
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Типова схема трансмісії

Особливості конструкції підйомних установок визначаються глибиною свердловини, змістом операцій, дорожньо-кліматичними умовами. Умови експлуатації устаткування для ремонтів свердловин ускладнюються низькими або високими температурами навколишнього середовища, станом або наявністю мережі доріг та ін. Ці умови покладені в основу конструювання і виготовлення устаткування, причому особливо жорсткі вимоги до конструкції устаткування для найбільш мобільного процесу - поточного ремонту свердловин. Мобільність процесу ремонту свердловин і складні дорожньо-кліматичні умови в основних районах видобутку нафти і газу в Україні, Європі та світі визначають головну вимогу до устаткування для цього процесу – його високу транспортність.

Транспортування устаткування в літній період в межах України або Європи не представляють складної проблеми, тому що може забезпечуватися звичайними колісними транспортними базами. Транспортування устаткування в умовах сніжної зими, весняного чи осіннього бездоріжжя, традиційно забезпечувалось транспортними базами високої прохідності на гусеничному ході. Однак досвід останніх років показав, що прохідність таких агрегатів, незважаючи на гусеничну базу, мало чим відрізняється від прохідності агрегатів на колісному ході, а іноді і гірше їх, тому що гусеничний транспортер-трактор зберігає високу прохідність, лише коли несе на собі невелике навантаження, значно менше маси агрегатованого на ньому устаткування. Крім того, гусеничні транспортери руйнують дорожнє покриття, мають невисокі швидкості пересування. Тому оптимальною транспортною базою агрегатів для ремонту свердловин не великої вантажопідйомності є стандартний автомобіль високої прохідності, наприклад типу автомобіля КраЗ із трьома ведучими мостами, шинами з можливістю регулювання тиску і достатньо потужним двигуном. Автомобілі цього класу мають достатню прохідність, вантажопідйомність і швидкості пересування.

Як трансмісії та перетворювачі потужності для підйомних установок ремонту свердловин виробництва України, колишнього СНД та закордонного виробництва невеликої вантажопідйомності переважно застосовуються механічні коробки швидкостей, у більшості випадків шестеренчасті, рідше ланцюгові зі ступеневим регулюванням частоти обертання. Типова механічна трансмісія підйомної установки для ремонту свердловин на колісному шасі (УПА 60А 60/80) – наведена на рис. 1.



1 – компресор; 2 – двигун; 3 – коробка відбору потужності; 4, 9 – шестерні передачі обертання барабанному валу; 5 – талевий блок; 6 – фрикційна муфта; 7 – фрикційна муфта дискова; 8 – реверсивний редуктор; 10, 24 – шестерні конічні; 11 – шестерня 3-ї і 4-ї швидкостей; 12 – муфта; 13 – шестерня 1-ї та 2-ї швидкостей; 14, 16, 23 – шестерні проміжного вала; 15 – роликові підшипники; 17, 18 – шестерні оберненого обертання барабана; 19 – шестерня 2-ї та 4-ї швидкостей; 20 – муфта; 21 – шестерня 1-ї і 3-ї швидкостей; 22 – корпус коробки передач; 25 – лебідковий блок; 26 – карданний вал; I – ведучий вал; II – проміжні вали; III – ведений вал; VI – вісь

Рисунок 1 – Типова механічна трансмісія підйомної установки для ремонту свердловин УПА 60А 60/80 на колісному шасі КраЗ

На автомобільній або тракторній транспортній базі часто використовується як перетворювач крутного моменту від двигуна власної штатної коробки перемикачів передач самої транспортної бази. Трансмісія установки для ремонту свердловин складається зі сукупності муфт, валів, ланцюгових передач, лебідки і поліспасти, з'єднаного з гакоблоком. Поліспаст із гаком і блоками, називається талевою системою, яка розміщується на вищій підйомній установці. Число швидкостей і їхнє співвідношення визначаються в залежності від технології спуско-піднімальних операцій. Така схема

підйомної установки, побудована на механічних трансмісіях, у даний час є найбільш поширена в Україні.

Планування експериментальних досліджень

Мета і задачі експериментальних досліджень характеристик підйомних установок для ремонту свердловин визначили вибір необхідного устаткування, вимірювального обладнання і апаратури та об'єктів для випробувань.

Завданням експериментальних досліджень є визначення основних закономірностей енерговитрат штатних трансмісій існуючих підйомних установок та удосконаленої трансмісії з пропонованою системою підігріву трансмісійних агрегатів відпрацьованими газами двигуна. При цьому доцільним є визначення в результаті експериментальних досліджень відповідних систем параметрів, що визначають показники енерговитрат. Вирішенням цього завдання є реалізація багатфакторного експерименту з відтворенням основних умов протікання досліджуваних процесів.

Складання плану експериментальних досліджень відповідно до положень теорії планування експериментів створює умови для збільшення достовірності результатів вимірювань і в багатьох випадках істотне скорочення обсягу експериментальних досліджень та/або стендових випробувань. Але успішне застосування сучасних методів планувань експериментальних досліджень (для прикладу – складання факторних планів) передбачає обов'язкову наявність певного мінімуму відомостей щодо зв'язків між досліджуваними факторами.

Аналіз літературних джерел з даної проблеми показав, що поки немає достовірних відомостей щодо енерговитрат трансмісій підйомних установок для ремонту свердловин нафтогазової галузі. Можна тільки стверджувати, що на показники енерговитрат трансмісій підйомних установок для ремонту свердловин впливають температури навколишнього середовища та агрегатів трансмісії. Але факторні плани гарантують отримання в результаті мінімальної кількості досліджень достовірних значень коефіцієнтів в рівняннях регресії тільки за відомих до початку експериментів порядку регресивного рівняння. Більше того, проведення експериментальних досліджень з використанням факторних планів можливо тільки за достатньо конкретних теоретичних уявлень про досліджувані процеси.

При плануванні досліджень були встановлені наступні завдання:

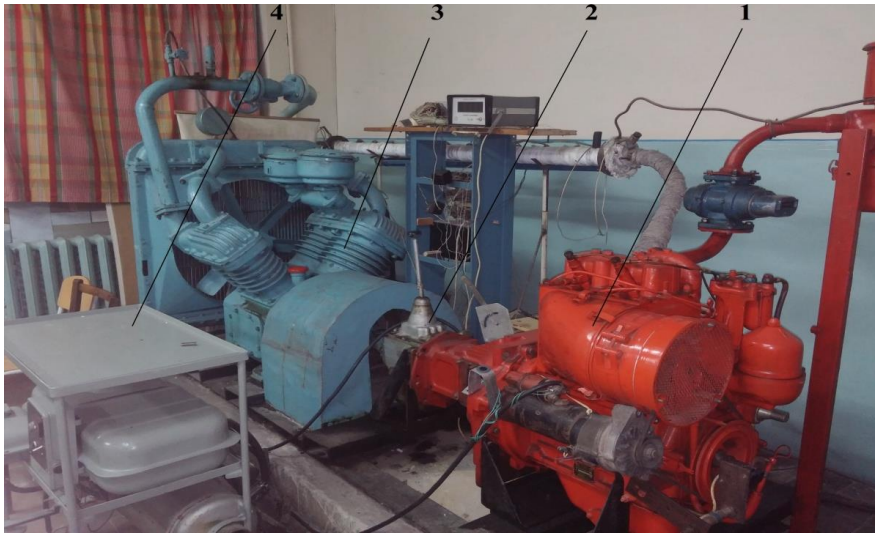
- створити чіткі умови для оцінювання випадкових похибок вимірювань;
- забезпечити мінімальні величини для систематичних помилок і виключити грубі помилки;
- забезпечити адекватності відтворення параметрів експериментів від дослідження і до дослідження;
- забезпечення мінімальних відхилень параметрів, що характеризують умови експериментів (вологість, тиск і температури в експериментальних установках).

Методика експериментальних досліджень

Експериментальна перевірка розроблених теоретичних положень проводилася в умовах лабораторії теплових двигунів кафедри автомобільного транспорту Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу на базі силового приводу дизельного двигуна Д21А1 (рис. 2), що включає в себе вимірювальну апаратуру та коробку перемикачів передач, встановлену на стенді. З огляду на те, що механічна трансмісія має фізичну, геометричну і теплову подібність, отримані результати досліджень можуть бути поширені на коробки передач автомобілів та підйомних установок.

Реєстрація даних, необхідних для визначення теплового режиму коробки перемикачів передач під впливом низької температури проводилася в умовах тієї ж лабораторії на експериментальній установці на базі мобільного кондиціонера Електролюкс.

Для реєстрації температури відпрацьованих газів та трансмісійної оливи використовувався вимірювальний комплекс на базі персонального комп'ютера, восьмиканального мотор-тестера та хромель-копелевих термопар. Один з датчиків встановлювався на виході з випускного колектора (до рекуператора), інший – в агрегатах трансмісії, занурений в оливу. При цьому чутливі елементи датчиків температури (хромель-копель) розташовувалися по центру перетину труби випуску відпрацьованих газів. Покази датчиків температури відпрацьованих газів та трансмісійної оливи реєструвалися неперервно. Реєстрація температури відпрацьованих газів відбувалась за допомогою термопар хромель-копель з межею відхилення $\pm 2^\circ\text{C}$ в інтервалі вимірюваних температур від мінус 20 до плюс 380°C . Вимірювання температури оливи в картері коробки передач і навколишнього повітря відбувалося за допомогою термоперетворювачів опору, що мають допустиме відхилення значень температури $\pm 0,2^\circ\text{C}$.



1 – конвертований на дизельний двигун Д21А1; 2 – трансмісія;
3 – компресор К-5М; 4 – пристрій підігріву повітря

Рисунок 2 – Зовнішній вигляд експериментального стенду на базі дизельного двигуна Д21А1

Для дослідження температури трансмісійної оливи в картер коробки перемикавання передач були встановлені два термодатчика. Датчик № 1 встановлювався в нижньому шарі відділу шестерень першої передачі і заднього ходу, датчик № 2 - у верхньому шарі масла близько шестерень 5-й передачі.

Привід первинного валу коробки передач здійснювався від дизельного двигуна Д21А1. Колінчастий вал дизельного двигуна обертася за допомогою електричного двигуна постійного струму. Для цього штатний стартер дизельного двигуна Д21А1 був замінений на спеціальний редукторний електродвигун постійного струму. Живлення електродвигуна відбувалося від блока живлення на 14 В та 500 А.

Вимірювання втрат потужності в коробці перемикавання передач відбувалося за допомогою вимірювання напруги та сили струму на привідному електродвигуні. Втрати потужності в коробці перемикавання передач вираховували за формулою

$$N_{кп} = U_{\deltaв+кп} \cdot I_{\deltaв+кп} - U_{\deltaв} \cdot I_{\deltaв}, \text{ Вт}, \quad (1)$$

де $U_{\deltaв+кп}$ - напруга, що падає на привідному електродвигуні при прокручування дизельного двигуна з приєднаною через зчеплення коробкою перемикавання передач, В;

$I_{\deltaв+кп}$ - сила струму, що споживається на привідному електродвигуні при прокручування дизельного двигуна з приєднаною через зчеплення коробкою перемикавання передач, А;

$U_{\deltaв}$ - напруга, що падає на привідному електродвигуні при прокручування дизельного двигуна з від'єднанням через зчеплення коробкою перемикавання передач, В;

$I_{\deltaв}$ - сила струму, що споживається на привідному електродвигуні при прокручування дизельного двигуна з від'єднанням через зчеплення коробкою перемикавання передач, А.

Вибір параметру оптимізації здійснювався на підставі завдань досліджень, відповідно до яких необхідно отримати експериментальні дані про сукупний вплив ряду факторів (швидкості обертання шестерень, час роботи коробки передач, температури навколишнього повітря, технічного стану агрегату трансмісії, в'язкості масла, геометричних розмірів та ін.) на втрати потужності коробки передач.

В якості основних досліджуваних параметрів були обрані температура оливи в трансмісійному агрегаті, температура навколишнього повітря, температура відпрацьованих газів, час роботи агрегатів, частота обертання первинного валу агрегату, які задовольняє всім необхідним вимогам: кількісної мірою оцінки; однозначністю кількісного оцінювання; ефективністю в статистичному сенсі, тобто визначення з високою точністю; доступності вимірювання та універсальності; однозначності при всіх станах досліджуваного об'єкта. В якості інших чинників були обрані: сорт масла, технічний стан коробки передач та ін., які підтримувалися на постійному рівні.

Для експериментального підтвердження можливості реалізації пропонованих заходів з скорочення часу нагрівання оливи масла в коробці передач підйомної установки при роботі двигуна в процесі експерименту реєструвалися поточні значення наступних параметрів: температура відпрацьованих газів двигуна; температура оливи в картері коробки передач; температура навколишнього середовища; час роботи двигуна без та спільно з системою теплопостачання.

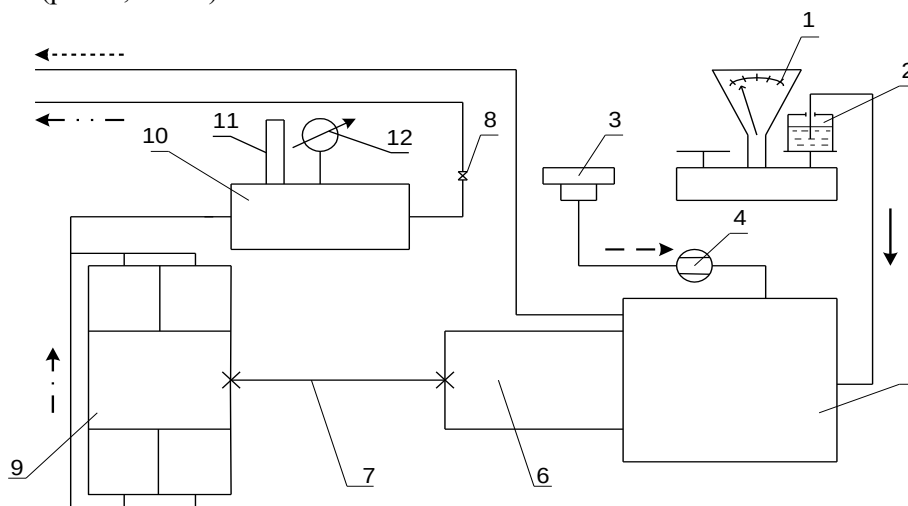
Засоби експериментальних досліджень енергоефективності трансмісій підйомних установок

Стендові дослідження проводились на експериментальній установці, що включала в себе серійний дизельний двигун Д21А1 та серійну коробку передач від автомобіля ЗіЛ-130 моделі 130-1700010-10. В табл. 1 наведена коротка технічна характеристика двигуна Д21А1. Схема дослідної установки на базі дизельного двигуна Д21А1 зображена на рис. 2.

Таблиця 1 – Основна технічна характеристика експериментального конвертованого двигуна Д21А1

№ п/п	Назва параметрів двигуна	Одиниця вимірювання	Значення
1	Тип двигуна	-	Двоциліндровий, дизельний, чотирьохтактний, з повітряним охолодженням
2	Робочий об'єм двигуна	л	2,080
3	Маса двигуна	кг	283
4	Спосіб сумішоутворення базового двигуна	-	Впорскуванням дизельного палива, з нероздільною камерою згорання
5	Спосіб сумішоутворення конвертованого двигуна	-	Впорскуванням паливної суміші, нероздільна камера згорання
6	Номінальна потужність двигуна	кВт (к.с.)	18 (25)
7	Ефективна питома витрата палива	г/кВтгод (г/к.с.год)	253 (186)
8	Частота обертання колінчастого вала двигуна, за номінальної потужності	об./хв.	1775-1825
9	Частота обертання колінчастого вала двигуна на оборотах холостого ходу	об./хв.	775-825
10	Коробка перемикавання передач	-	130-1700010-10
11	Передавальні відношення КПП	-	I-6,45; II-3,56; III-1,98; IV-1,275; V-1,00; 3X-7,09
12	Маса КПП	кг	115

Навантаження для експериментального двигуна Д21А1 (рис. 3, поз. 5) створюється за допомогою чотирьохступінчатого чотирьохциліндрового повітряного компресора моделі К-5М (рис. 3, поз. 9). Потужність на колінчастому валу компресора К-5М може регулюватись в діапазоні 1...30 кВт, що дозволяло на 100 % навантажувати експериментальний конвертований двигун та коробку перемикавання передач. Крутний момент від конвертованого двигуна Д21А1 до компресора передавався за допомогою карданної передачі (рис. 3, поз. 7) та коробки перемикавання передач моделі 130-1700010-10 (рис. 3, поз. 6).



→ - напрямки руху палива в системі живлення дослідної установки; → - напрямки руху повітря в системі живлення дослідної установки; → - рух повітря від компресора до ресивера; ← - рух відпрацьованих газів двигуна на КПП та в навколишнє середовище; ← - рух повітря з ресивера в навколишнє середовище; 1 – вага вимірювання витрати палива; 2 – ємність для альтернативного палива; 3 – фільтр очищення повітря; 4 – лічильник газів; 5 – експериментальний спиртогазовий двигун; 6 – коробка перемикавання передач; 7 – карданна передача; 8 – дросельний патрубок; 9 – навантаження (компресор); 10 – ресивер; 11 – термометр вимірювання температури навколишнього середовища; 12 – манометр газовий.

Рисунок 3 – Схема експериментальної установки на базі дизельного двигуна Д21А1

Дизельний двигун Д21А1 було переобладнано для роботи на альтернативній спиртогазовій суміші. Для цього з головок блоку були демонтовані штатні дизельні форсунки, нарізана додаткова різьба М14х1,25 в каналах розпилювачів форсунок та встановлені свічки запалення. Конструкція головок двигуна перероблена таким чином, що замість свічки запалення легко вкрутити назад дизельну форсунку. Конвертований таким чином двигун дозволяє за час близько 10 хвилин переходити на різні види палива, міняючи місцями свічки запалення та дизельні форсунки. Переобладнані з дизельного палива на газове головки блока двигуна Д21А1 показані на рис. 4.



а) б)
1 – головка блока до переобладнання з встановленою дизельною форсункою; 2 – головка блока після переобладнання з демонтованою дизельною форсункою та встановленою свічкою запалення;

Рисунок 4 – Дизельний двигун Д21А1 з демонтованими головками блока (а) та переобладнані з дизельного палива на газове паливо головки блока ГРМ (б)

На експериментальний дизельний двигун була також змонтована газова редукторна система живлення та мікропроцесорна система запалення власної розробки. Переобладнана з дизельного палива на газове паливо система живлення двигуна Д21А1 зображена на рис. 5.



1 – електронний блок управління; 2 – комутатор системи запалення; 3 – модуль запалення; 4 – електродвигун; 5 – високовольтні дроти; 6 – свічки запалення; 7 – датчик положення колінвала
Рисунок 5 – Переобладнана з дизельного палива на газове паливо система живлення двигуна Д21А1

Розроблена оригінальна електронна система запалення складається з блоку управління 1 (рис. 4), який змінює кут випередження запалення в залежності від режиму роботи двигуна, комутатора 2, модуля запалення 3, високовольтних дротів 4 та свічок запалення 5. Паливна суміш для живлення переобладнаного двигуна складалась з спиртогазової суміші, який подавався з конвектора. Маса витраченого дизпалива визначалась за допомогою електронної ваги. Для вимірювання об'ємної витрати та тиску відпрацьованих газів використовувались витратомір та манометр (рис. 6). Основні вимірювальні прилади та реструвальна апаратура зображені на рис. 7.



Рисунок 6 – Витратомір для вимірювання об'ємної витрати відпрацьованих газів та манометр для визначення тиску газу



1 – підсилювач ПТ-4-01М; 2 – універсальний вимірювач RCL-3; 3 – магазин змінних опорів МССР-60М; 4 – електронний строботометр ТСт-100; 5 – цифровий вольтметр В7-20; 6 – амперметр ЕТП-М; 7 – логометр УП-2А; 8 – універсальний блок живлення УП-2

Рисунок 7 – Вимірювальні прилади та реєструюча апаратура

Результати експериментальних досліджень зміни температур пропонованої схеми енергозбереження в агрегатах трансмісії

Метою даних експериментальних випробувань було одержання функціональних залежностей впливу факторів навколишнього середовища і часу роботи на температуру оливи в механічній коробці передач при роботі без або з системою теплопостачання.

При проведенні експериментальних досліджень пропонованої схеми енергозбереження в агрегатах трансмісії за рахунок підігріву відпрацьованими газами відбувалось визначення зміни температур трансмісійної оливи та енергетичних втрат в трансмісії. Даний етап досліджень присвячено визначенню раціональних конструктивних параметрів елементів системи теплопостачання, розрахунок яких по ряду причин ускладнений, а також уточнення і перевірки розрахункових параметрів для розробки рекомендацій щодо підвищення ефективності роботи системи підігріву агрегатів трансмісії. Для ефективної роботи системи теплопостачання в перші хвилини роботи двигуна необхідно забезпечити максимальну передачу теплоти від відпрацьованих газів до трансмісійних агрегатів. Для виконання зазначеної задачі були проведені дослідження теплопередачі від відпрацьованих газів до трансмісійної оливи.

При визначенні теплового режиму роботи механічної коробки передач було встановлено, що температура навколишнього повітря значно впливає як на інтенсивність зміни температури трансмісійної оливи, так і на тривалість періоду виходу трансмісійного агрегату на стабільний температурний режим. Так встановлено (рис. 8), що при прокручуванні ведучого валу коробки передач на холостих оборотах (800 хв^{-1}) при температурі навколишнього середовища 263 К (мінус 10°C), температура оливи коробки передач підвищується за 140 хв. до 302 К (29°C). При прокручуванні ведучого валу коробки передач на холостих оборотах за той самий час від температур 275 К (плюс 2°C) і 283 К (плюс 10°C), температура оливи коробки передач підвищується, відповідно, до 308 К (35°C) та 312 К (39°C). Час нагріву для оптимального температурного режиму 30°C трансмісійного агрегату при температурі навколишнього середовища 263 К (мінус 10°C) складає 146 хв.

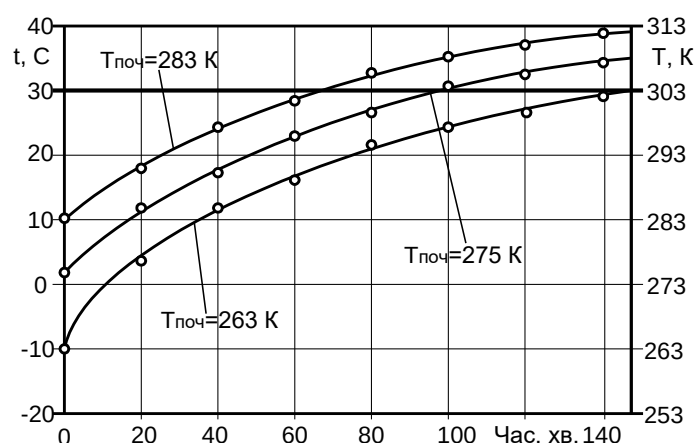


Рисунок 8 – Експериментальна залежність зміни температури мінеральної трансмісійної оливи в коробці перемикачів передач

Визначення теплового режиму механічної коробки передач при різних швидкісних режимах відбувалося шляхом збільшення частоти обертання первинного валу коробки передач до 1000 хв^{-1} , 1200 хв^{-1} , 1400 хв^{-1} , 1600 хв^{-1} . Результати випробування наведені на рис. 9.

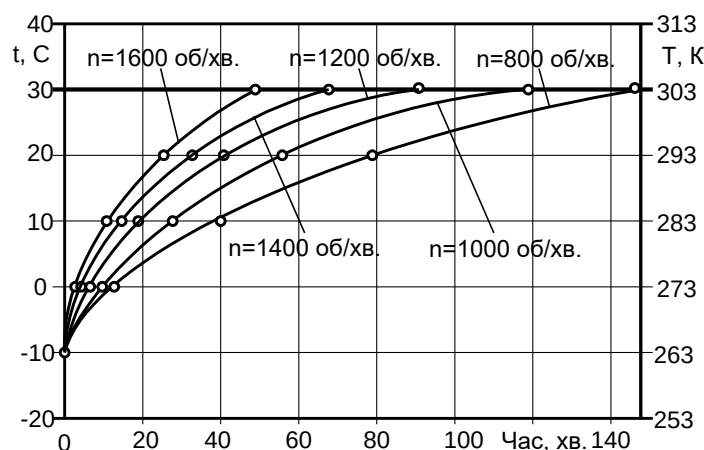


Рисунок 9 – Експериментальні залежності зміни температури мінеральної трансмісійної оливи в коробці перемикачів передач при різних режимах обертання первинного валу коробки передач

З графіка видно, що збільшення частоти обертання первинного валу механічної коробки передач призводить до значного підвищення температури її оливи. При цьому при частотах обертання первинного валу коробки передач 1000 хв^{-1} , 1200 хв^{-1} , 1400 хв^{-1} , 1600 хв^{-1} час нагрівання до оптимального температурного режиму $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ трансмісійного агрегату при температурі навколишнього середовища 263 K (мінус $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$) складає, відповідно, 118, 91, 68 та 48 хв.

Результати експериментальних досліджень теплового стану коробки передач без підігрівання відпрацьованими газами (штатний режим існуючих підйомних установок) та з підігріванням відпрацьованими газами (пропонований режим удосконалених підйомних установок) зображені на рис. 10. З одержаних результатів випливає, що в штатному режимі існуючих підйомних установок оптимальна температура $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ досягається через 146 хв., а в пропонованому режимі удосконалених підйомних установок оптимальна температура $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ досягається через 34 хв., через 45 хвилин досягається температура $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ і режим примусового підігріву вимикається.

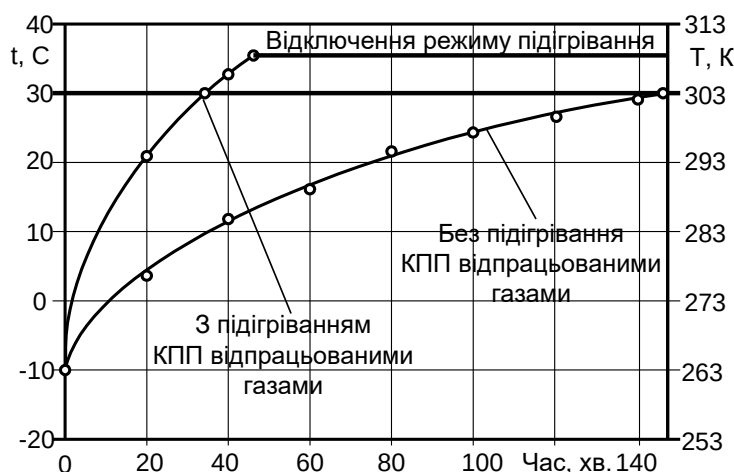


Рисунок 10 – Експериментальні залежності зміни температури мінеральної трансмісійної оливи в коробці перемикачів передач при режимах обертання первинного валу КПП з/без підігрівання відпрацьованими газами

Під час досліджень було встановлено, що основними факторами, що впливають на тепловий стан механічної коробки перемикачів передач при заданій частоті обертання, є час роботи, температура відпрацьованих газів, температура оливи коробки передач. Крім того, було встановлено, що температура оливи в коробці передач в деяких випадках при роботі двигуна силового приводу на оборотах холостого ходу не досягає необхідного оптимального значення 313 К навіть після 3 годин роботи. Виходячи з цього, для підвищення температури оливи в механічній коробці перемикачів передач використовується система підігріву відпрацьованими газами.

В процесі обробки експериментальних залежностей температури оливи в механічній КП від температури відпрацьованих газів і часу роботи спільно з системою теплопостачання (рис. 10) встановлено, що при роботі двигуна з мінімальною частотою обертання колінчастого вала на оборотах холостого ходу (800 хв^{-1}) температура навколишнього повітря значно впливає як на динаміку температури трансмісійного масла в механічній коробці передач, так і на час нагрівання трансмісійної оливи до оптимальних температур 303-313 К.

Аналіз одержаних даних показує, що переданий від відпрацьованих газів середній тепловий потік за 30 хв. суттєво змінюється при збільшенні частоти обертання колінчастого вала від 800 до 1600 хв^{-1} . Особливо в перші 20 хв. роботи спостерігається істотне підвищення значень передачі теплової енергії, а другий етап роботи (20-45 хв.) характеризується зниженням переданого теплового потоку. Це пов'язано з інтенсивністю збільшення температури оливи в коробці перемикачів передач, при цьому середня різниця температур теплоносіїв зі збільшенням частоти обертання колінчастого вала змінюється в меншій мірі.

Аналіз отриманих даних показав, що зниження температури навколишнього середовища призводить до зниження динаміки температури оливи, причому можна стверджувати, що дана залежність має нелінійний характер. При цьому в міру прогрівання коробки передач вплив температури навколишнього повітря стає не таким значним. Одержані дані дозволяють також визначити необхідний час нагрівання оливи КП до оптимальних температур 303-313 К при зміні температури навколишнього середовища з 253 до 283 К.

Порівняльні випробування теплового стану коробки передач при роботі як з системою теплопостачання, так і без неї показали, що передана теплота впливає як на швидкість зміни температури, так і на час нагрівання температури оливи до оптимальних температур 303-313 К і виходу КПП на стабільний температурний режим.

Результати експериментальних досліджень зниження втрат енергії пропонованої схеми енергозбереження в агрегатах трансмісії за рахунок підігріву відпрацьованими газами

Дослідження втрат потужності з механічною коробкою передач включало в себе визначення загальних втрат (гідравлічних і механічних) на подолання сил опору обертання в залежності від температури трансмісійної оливи. Втрати в коробці перемикачів передач автомобіля аналогічні витратам потужності, споживаної електродвигуном установки з врахуванням потужності механічних втрат, що втрачається в самому привідному двигуні. Для досліджень використовувалось дві марки найбільш використовуваних трансмісійних олив: мінеральна ТАп-15В SAE 80W-90 API GL-3 та напівсинтетична ТМ-5-18 SAE 75W90 API GL-5. Перша олива використовується в нафтогазовій промисловості України для трансмісій підйомних установок виробництва країн колишнього СНД, друга олива - для трансмісій підйомних установок виробництва США, Канади та країн Європи.

В результаті дослідження було встановлено, що потужність, необхідна для прокручування коробки передач, при температурі навколишнього середовища 263 К в момент пуску двигуна для мінерального масла ТАп-15В складала 902 Вт, для напівсинтетичного ТМ-5-18 - 625 Вт (рис. 11). Подальше прокручування коробки передач при 273 К приводило до зниження витрат потужності, досягнувши 720 Вт для оливи ТАп-15В і 540 Вт для ТМ-5-18. При температурі оливи 303 К втрати

потужності при використанні олив різних сортів практично зрівнялися і склали для мінеральної і напівсинтетичної оливи, відповідно, 448 і 425 Вт.

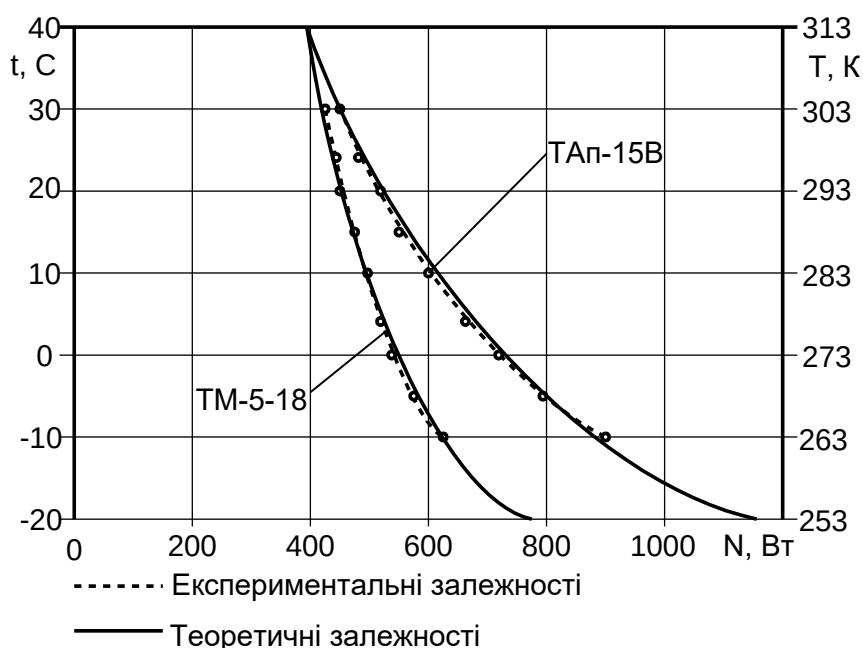


Рисунок 11 – Залежність втрат потужності в коробці перемикачів передач в залежності від температури та сорту трансмісійної оливи

Для перевірки адекватності отриманої аналітичної моделі на рис. 11 були поміщені теоретичні залежності зміни втрат потужності в коробці перемикачів передач від температури трансмісійної оливи. Поєднання теоретичних і експериментальних залежностей показало, що максимальна розбіжність щодо діапазону зміни втрат потужності від температури не перевищує 6 %. Це свідчить про задовільну адекватності отриманої математичної моделі.

На підставі розробленої та підтвердженої математичної моделі для підйомної установки для ремонту свердловин УПА 60/80А на шасі КрАЗ-63221-04 (рис. 12) були проведені розрахунки для втрат потужності в коробці перемикачів передач. Підйомна установка УПА 60/80А на шасі КрАЗ-63221-04 може бути обладнана двигуном потужністю 176 кВт (240 к.с.) або двигуном потужністю 220 кВт (300 к.с.).



Рисунок 12 – Підйомна установка для ремонту свердловин моделі УПА 60/80А

В результаті дослідження було встановлено (рис. 13), що потужність, необхідна для прокручування коробки передач, при температурі навколишнього середовища 253 К в момент пуску двигуна для мінерального масла ТАп-15В складає 14,20 кВт, для напівсинтетичного ТМ-5-18 – 9,50 кВт. Подальше прокручування коробки передач при 273 К приводить до зниження витрат потужності, досягнувши 9,30 кВт для оливи ТАп-15В і 6,95 кВт для ТМ-5-18. При температурі оливи

313 К втрати потужності при використанні олив різних сортів практично зрівнюються і складають для мінеральної і напівсинтетичної оливи, відповідно, 4,85 і 4,80 кВт.

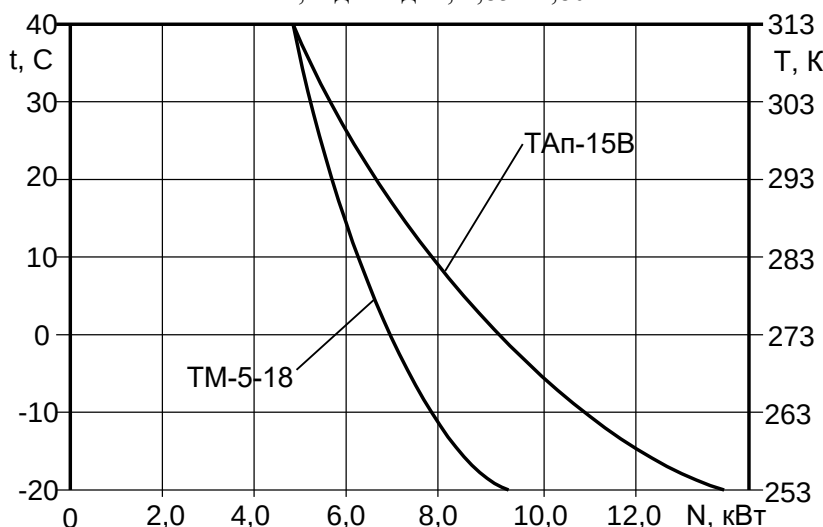


Рисунок 13 – Теоретична залежність втрат потужності в коробці перемикачів передач підйомної установки моделі УПА 60/80А в залежності від температури та сорту трансмісійної оливи

Проведемо розрахунки перевитрат палива в коробці перемикачів передач підйомної установки моделі УПА 60/80А з різними силовими приводами та за різних температур трансмісійної оливи (таб. 2).

Таблиця 2 – Результати розрахунків перевитрат палива в коробці перемикачів передач підйомної установки моделі УПА 60/80А з різними силовими приводами та за різних температур трансмісійної оливи

Температура, К	Витрати потужності в КПП, кВт		Двигун / величини мінімальної ефективної питомої витрати палива, г/(кВт · год).		Витрати палива на привід КПП, напів-синтетична олива, кг/год.	Витрати палива на привід КПП, мінеральна олива, г/год.
	Напів-синтетична олива	Мінеральна олива	ЯМЗ-238БЕ2	ЯМЗ-238ВМ		
313	4,80	4,85	195	214	0,93-1,02	0,94-1,04
273	6,95	9,30			1,36-1,49	1,81-1,99
253	9,50	14,20			1,85-2,03	2,77-3,03

На основних технологічних режимах, пов'язаних з бурінням та ремонтом свердловин можна прийняти середню питому витрату палива 220 г/(кВт · год). Величини мінімальної ефективної питомої витрати палива атмосферних двигунів ЯМЗ-238ВМ потужністю 176 кВт на оборотах колінчастого валу двигуна 1300 хв⁻¹ склали 214 г/(кВт · год); номінальної ефективної питомої витрати палива атмосферних двигунів ЯМЗ-238ВМ на оборотах колінчастого валу двигуна 2100 хв⁻¹ – 259 г/(кВт · год). Величини мінімальної ефективної питомої витрати палива наддувних двигунів ЯМЗ-238БЕ2 потужністю 220 кВт на оборотах колінчастого валу двигуна 1400 хв⁻¹ дорівнювали 195 г/(кВт · год); номінальної ефективної питомої витрати палива наддувних двигунів ЯМЗ-238БЕ2 на оборотах колінчастого валу двигуна 2100 хв⁻¹ – 238 г/(кВт · год).

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проведені дослідження показали, що зниження витрат енергії в трансмісіях підйомних установок для ремонту свердловин шляхом використання теплоти відпрацьованих газів для забезпечення швидкого прогрівання трансмісійних агрегатів та підтримування оптимального теплового режиму є досить вигідним.

В результаті розрахунків було встановлено, що перевитрата палива, необхідна для прокручування коробки передач підйомної установки моделі УПА 60/80А з різними силовими приводами, при температурі навколишнього середовища 253 К в момент пуску для мінерального масла ТАп-15В складає 1,83-1,99 кг, для напівсинтетичного ТМ-5-18 – 0,92-1,01 кг у порівнянні з температурою 313 К. Подальше прокручування коробки передач при 273 К приводить до зниження витрат палива, досягнувши 0,87-0,95 кг для оливи ТАп-15В і 0,43-0,47 кг для ТМ-5-18 у порівнянні з температурою 313 К.

Отже, аналіз одержаних експериментальних даних показав, що високу ефективність теплопередачі до агрегатів трансмісії та зниження витрат енергії в трансмісії можна досягти за рахунок різниці температур відпрацьованих газів і трансмісійної оливи. Суттєвим стимулом подальшого розвитку подібних систем є те, що вони обумовлюють можливість сукупного вдосконалення характеристик транспортного засобу за комплексом показників. Їх реалізація на транспортних засобах дозволяє утилізувати відхідну теплову енергію та знижувати витрати палива нафтогазовим технологічним транспортом.

ВИСНОВКИ

Отже, аналіз одержаних експериментальних даних показав, що високу ефективність теплопередачі до агрегатів трансмісії та зниження витрат енергії в трансмісії можна досягти за рахунок різниці температур відпрацьованих газів і трансмісійної оливи. Суттєвим стимулом подальшого розвитку подібних систем є те, що вони обумовлюють можливість сукупного вдосконалення характеристик транспортного засобу за комплексом показників. Їх реалізація на транспортних засобах дозволяє утилізувати відхідну теплову енергію та знижувати витрати палива нафтогазовим технологічним транспортом.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 року / Схвалена розпорядженням КМУ 15 березня 2006 р. № 145. - Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/145-2006-p>
2. Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання: ДСТУ ISO 50001:2014. – К.: Мінекономрозвитку України, 2014. 26 с.
3. Шевцов В.М. Теоретичне дослідження безступінчастої трансмісії автомобіля КрАЗ 63221-02 для ремонту нафтогазових свердловин. / О.О. Островерх, А.П. Кожушко, В.М. Шевцов // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2017. – №6 (1228). – С. 45 – 51.
4. Денисюк С.П. Формування політики підвищення енергетичної ефективності – сучасні виклики та європейські орієнтири. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2013. № 2. С. 7–22
5. Вирвінський П.П., Хоменко В.Л. Ремонт свердловин: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. – 219 с.
6. Бухаленко Е.И. Нефтепромысловое оборудование. Справочник. Москва: Недра, 1990.
7. Samorodov V. B., Ostroverch A. O., Kozhushko A. P. Development and analysis of stepless two-flow hydrostatic-mechanical transmission by criterion of greatest efficiency for cars used to repair oil and gas wells. Visnyk Natsional'nogo tekhnichnogo universytetu «KhPI» [The bulletin of the National Technical University "KhPI"]. 2012, vol. 60, pp. 105–111.
8. Samorodov V. B., Ostroverch A. O., Kozhushko A. P. Analysis of the technological mode of operation of a continuous hydrovolume-mechanical transmission using native hydro-units of a car used to repair oil and gas wells]. Visnyk Natsional'nogo tekhnichnogo universytetu «KhPI» [The bulletin of the National Technical University "KhPI"]. 2013, vol. 30, pp. 23–31.
9. Разяпов М.М. Повышение работоспособности агрегатов трансмиссии автотракторной техники в условиях низких температур: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.М. Разяпов. – Уфа, 2013. – 16 с.
10. Пустозеров Ю.И. Исследование эксплуатационных режимов работы трансмиссии трактора ДТ-75 в условиях низких температур: автореф. дис. канд. техн. наук / Ю.И. Пустозеров – Новосибирск, 2003. – 23с.
11. Селиванов Н.И. Повышение эффективности работы тракторных агрегатов в зимних условиях АПК Восточной Сибири: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Н.И. Селиванов. – Красноярск, 2006.
12. Карпов П. М. Повышение топливной экономичности сельскохозяйственных тракторов в зимних условиях путем улучшения режимов смазки трансмиссий (на примере трактора ДТ-75М): автореф. дис. ... канд. техн. наук / П.М. Карпов. – Ульяновск, 1988. – 25 с.
13. Кутлин А.А. Исследование влияния режима движения автомобилей на температуру их основных агрегатов и расход топлива в зимних условиях эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.А. Кутлин. – Киев, 1981. – 20 с.
14. Разяпов М.М. Повышение работоспособности агрегатов трансмиссии автотракторной техники в условиях низких температур: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.М. Разяпов. – Уфа, 2013. – 16 с.

REFERENCES

1. Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2030 roku / Skhvalena rozporiadzhenniam KМУ 15 bereznia 2006 r. № 145. - Rezhym dostupu: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/145-2006-r>
2. Enerhozberezhennia. Systemy enerhetychnoho menedzhmentu. Vymohy ta nstanova shchodo vykorystannia: DSTU ISO 50001:2014. – K.: Minekonomrozvytku Ukrainy, 2014. 26 s.
3. Shevtsov V.M. Teoretychne doslidzhennia bezstupinchastoi transmisii avtomobilia KrAZ 63221-02 dlia remontu naftohazovykh sverdlovyn. / O.O. Ostroverkh, A.P. Kozhushko, V.M. Shevtsov // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnogo universytetu "KhPI". – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2017. – №6 (1228). – S. 45 – 51.

4. Denysiuk S.P. Formuvannia polityky pidvyshchennia enerhetychnoi efektyvnosti – suchasni vyklyky ta yevropeiski oriientyry. Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia. 2013. № 2. S. 7–22
5. Vyrvynskyi P.P., Khomenko V.L. Remont sverdlodyn: Navchalnyi posibnyk. – Dnipro-petrovsk: Natsionalnyi hirnychi universytet, 2003. – 219 s.
6. Bukhalenko E.Y. Neftepromyslovoe oborudovanye. Spravochnyk. Moskva: Nedra, 1990.
7. Samorodov V. B., Ostroverch A. O., Kozhushko A. P. Development and analysis of stepless two-flow hydrostatic-mechanical transmission by criterion of greatest efficiency for cars used to repair oil and gas wells. Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu «KhPI» [The bulletin of the National Technical University "KhPI"]. 2012, vol. 60, pp. 105–111.
8. Samorodov V. B., Ostroverch A. O., Kozhushko A. P. Analysis of the technological mode of operation of a continuous hydrovolume-mechanical transmission using native hydro-units of a car used to repair oil and gas wells. Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu «KhPI» [The bulletin of the National Technical University "KhPI"]. 2013, vol. 30, pp. 23–31.
9. Raziapov M.M. Povyshenye rabotosposobnosti ahrehatov transmyssy avtotraktornoj tekhniki v usloviakh nizkikh temperatur: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk / M.M. Raziapov. – Ufa, 2013. – 16 s.
10. Pustozarov Yu.Y. Yssledovanye ekspluatatsyonnykh rezhymov raboty transmyssy traktora DT-75 v usloviakh nizkikh temperatur: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk / Yu.Y. Pustozarov – Novosibirsk, 2003. – 23s.
11. Selyvanov N.Y. Povyshenye efektyvnosti raboty traktornykh ahrehatov v zymnykh usloviakh APK Vostochnoi Sybyry: avtoref. dys. ... d-ra tekhn. nauk / N.Y. Selyvanov. – Krasnoyarsk, 2006.
12. Karpov P. M. Povyshenye toplyvnoi ekonomichnosti selskokhoziaistvennykh traktorov v zymnykh usloviakh putem uluchsheniya rezhymov smazky transmyssy (na prymere traktora DT-75M): avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk / P.M. Karpov. – Ulianovsk, 1988. – 25 s.
13. Kutlyn A.A. Yssledovanye vliyaniya rezhyma dvizheniya avtomobilei na temperaturu ykh osnovnykh ahrehatov y rashod toplyva v zymnykh usloviakh ekspluatatsyy: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk / A.A. Kutlyn. – Kiev, 1981. – 20 s.
14. Raziapov M.M. Povyshenye rabotosposobnosti ahrehatov transmyssy avtotraktornoj tekhniki v usloviakh nizkikh temperatur: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk / M.M. Raziapov. – Ufa, 2013. – 16 s.

Kryshtopa Sviatoslav, Kryshtopa Liudmyla, Ivan Mykytii, Hnyp Mariia, Kozak Fedir. Experimental researches of reduction of energy losses in transmission units lifting installations for well repair

The article is aimed at solving the problem of reducing energy losses in transmission units of lifting installations for well repair. The main directions for reducing the energy consumption of hoists for repairing wells were analyzed. The analysis of features of a design of transmissions of lifting installations for repair of wells is carried out. Studies of viscosity-temperature characteristics of modern transmission oils and temperature regime in transmission units have been performed. A method of rapid heating and maintaining the optimal temperature in the transmission units of lifting units by using the heat of the exhaust gases was proposed. A typical mechanical transmission of a hoisting installation for repairing wells on a wheeled chassis has been studied. The technique and means of experimental researches of energy efficiency of transmissions of lifting installations are resulted. Experimental studies of the implementation of the proposed method of reducing energy losses in transmission units. The dependence of the change in the temperature of the transmission oil in the gearbox at different modes of rotation of the primary shaft of the gearbox. The optimum thermal mode of operation of units of mechanical transmission of lifting installations by the manufacturer is not established in rigid frameworks. The determining factor is the efficiency of the oil under certain conditions. The dependence of power losses in the gearbox of the lifting unit of the UPA 60 / 80A model depending on the temperature and grade of transmission oil is obtained. The results of calculations of fuel consumption in the gearbox of the lifting unit of the UPA 60 / 80A model with different power drives and at different temperatures of transmission oil are given.

Key words: lifting installation for well repair, oil and gas technological transport; diesel engine; transmission unit; gearbox; heat utilization; exhaust gases; power; specific fuel consumption.

КРИШТОПА Святослав Ігорович, доктор технічних наук, професор, завкафедрою автомобільного транспорту, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

E-mail: auto.ifntung@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7899-8817>

КРИШТОПА Людмила Іванівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, E-mail: l.i.kryshtopa@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5274-0217>

МИКИТИЙ Іван Михайлович, аспірант, кафедра автомобільного транспорту, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, E-mail: 7ivan1@i.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8925-6349>

ГНИП Марія Михайлівна, доктор філософії, асистент кафедри автомобільного транспорту, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, E-mail: marichka_gnip@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3662-0941>

КОЗАК Федір Васильович, кандидат технічних наук, професор, професор кафедри автомобільного транспорту, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, E-mail: auto.ifntung@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9147-883X>

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

Liudmyla KRYSHTOPIA, PhD, Associate Professor, Department of Automobile Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, E-mail: l.i.kryshtopa@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5274-0217>

Ivan MYKYTII, Postgraduate student, Department of Automobile Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, E-mail: 7ivan1@i.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8925-6349>

Mariia HNYP, Postgraduate student, Department of Automobile Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, E-mail: marichka_gnip@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3662-0941>

Fedir KOZAK, PhD, Professor, Department of Automobile Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, E-mail: auto.ifntung@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9147-883X>

DOI 10.36910/automash.v2i17.638

Марчук В.Є.¹, Костюченко Л.В.¹, Гармаш О.М.¹, Передерій Н.М.¹,
Градиський Ю.О.²¹Національний авіаційний університет (м. Київ)²Державний біотехнологічний університет (м. Харків)

КЛЮЧОВІ ЕЛЕМЕНТИ ЛОГІСТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ЗАКУПІВЛЯМИ ДЛЯ ОБОРОННОЇ СФЕРИ

Досліджено ключові елементи логістичного управління закупівлями для оборонного сектору у просторі. Встановлено, що тривалість процедури закупівлі на усіх стадіях займає часу набагато більше ніж фізична доставка предмету закупівлі. Причиною цього є де-факто відсутність логістичного управління системою матеріально-технічного забезпечення. Як наслідок – низький рівень практичного запровадження принципів логістики спрямованих на системне управління постачанням, що відповідає концепції логістики НАТО. Логістичне управління закупівлями для оборонного сектору дозволить скоординувати ресурси, техніку, інформацію і людей, оперативно, точно і злагоджено вирішувати поставлені завдання в умовах постійної нестабільності і зміни часових параметрів.

Ключові слова: логістичне управління, закупівлі, система матеріально-технічного забезпечення, принципи логістики постачання, оборонний сектор.

ВСТУП

Сучасні військово-політичні реалії України потребують формування єдиної ефективної системи логістики сил оборони. Основні стратегічні цілі нашої держави в рамках оборонної реформи окреслено у Стратегічному оборонному бюлетені України [1, 2] і відповідають Стратегії національної безпеки України щодо забезпечення інтеграції України до Європейського Союзу та формування умов для вступу в НАТО [3, 4]. Отже, стратегічні цілі держави відносно оборонного сектору, мають корелюватися із керівними положеннями, стандартами та інструкціями НАТО з логістики. Принциповою метою логістичної системи оборонної сфери є забезпечення нормального і безперешкодного щоденного життя і підготовки військовослужбовців, а також виконання термінових завдань, які виникають зі специфіки конкретного військового підрозділу чи об'єднання.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Вимоги до формування ефективної політики управління оборонними закупівлями належать до п'яти основних стратегічних цілей в рамках оборонної реформи (п. 4.2. Розділу IV Стратегічного оборонного бюлетеня України до 2020 р.) [2]. Види, причини та наслідки корупційні ризики в державних оборонних закупівлях детально проаналізовані у роботах Голоти О.П. [5] та Бурака М.В. [6]. Вивчення процедур матеріально-технічного забезпечення та закупівель у військовій логістиці є предметом дослідження науковців та практиків з різних сфер та напрямів, у даному матеріалі використані публікації [7-9]. Крім того, в рамках предмета дослідження, автором використано аналіз зміни підходів до управління закупівель у бізнес-середовищі з огляду на глобальні економічні, політичні, інформаційні, соціо-культурні тощо зміни останніх років [10]. В ході опрацювання наукових робіт зазначених авторів, а також низки нормативно-законодавчих актів [11-14], які з-поміж решти трактують вимоги до рівня якості, фінансової ефективності, безпеки закупівель тощо, варто відмітити, що практично відсутнє регулювання часових термінів виконання процедур з матеріально-технічного забезпечення.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

З огляду на наведене постає завдання детальнішого дослідження ключових елементів логістичного управління закупівлями для оборонного сектору у просторі та часі й розробки практичних рекомендацій щодо логістичного управління організацією оборонних закупівель.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Логістична система забезпечується переважно засобом злагодженої роботи елементів макрологістичної системи, але також частково і з цивільного зовнішнього оточення. Залучення підприємств різної форми власності до процесів матеріально-технічного забезпечення підрозділів Збройних Сил вимагає постійного вдосконалення організації і процедур закупівлі товарів, робіт і послуг за державні кошти. Створення у червні 2007 р., відповідно до Закону «Про закупівлю товарів, робіт і послуг за державні кошти» та на підставі рішення Колегії Міністерства оборони єдиний Тендерний комітет Міністерства оборони, дозволило забезпечити більшу прозорість і суворе

дотримання економічних і правових засад закупівель, раціональне використання державних коштів, посилення контролю на всіх стадіях закупівель, зосередження інформації про централізовані закупівлі в єдиному органі [7]. Однак, державні оборонні закупівлі наразі все ще залишаються «сферою оборонної діяльності, яка є найбільш вразливою до корупційного ризику, причому цей ризик може виникнути на будь-якому етапі закупівельного циклу. Отже, нині в Україні сектор оборони належить до найбільш фінансово містких, оскільки наша держава вимушена захищати свою незалежність, відстоювати територіальну цілісність. На жаль, непосильні для держави оборонні фінансові витрати (понад 80 млрд. грн. на рік) не завжди є транспарентними в практичному використанні» [6].

З огляду на специфіку функціонування сектору оборони спробуємо порівняти рівень та інтенсивність еволюції підходів до управління закупівлями сектору оборони та цивільного бізнес-середовища (див. табл. 1).

Таблиця 1. – Етапи еволюції підходів до управління закупівлями

Сфера Етап	Цивільне бізнес-середовище	Сектор оборони
1	Виділення закупівельної функції та окремих напрямків закупівель	Закупівлі – одна з-поміж решти операцій матеріально-технічного забезпечення підрозділів ЗСУ
2	Освітні платформи для фахівців із закупівель	Освіта в рамках стандартних навчальних планів військових ВНЗ
3	Фокус на ланцюгу поставок і стратегічній функції закупівель	Фокус на виконанні закупівлі за окремим договором постачання у відриві від решти закупівель.
4	Діджиталізація закупівель	Цілісний контроль за виконання незалежно від реалізаційного періоду постачання
5	Консалтинг та аутсорсинг у закупівлях	Часткова діджиталізація закупівель

Джерело: зведено авторами на основі [6, 7, 10]

Міністерство оборони України здійснює державні закупівлі як централізовано, так і децентралізовано. Причому централізовано здійснює більшість закупівель – на них припадає 90 % потреб [5, с. 8]. Умовно цикл державних оборонних закупівель поділяють на стадії:

1) визначення потреби в певних послугах, обладнанні або роботах (завдання на закупівлю) і планування необхідних закупівель;

2) визначення шляхів придбання необхідного обладнання або послуг для забезпечення цих потреб (визначення процедури закупівлі, вибір джерела постачання, дотримання тендерних процедур);

3) придбання необхідного обладнання або послуг (укладання договору (контракту), управління контрактом, перевірка якості, повноти та своєчасності постачання предмета контракту тощо).

Відповідно до Бюджетного кодексу України, якщо предмет закупівлі не містить відомостей з державної таємниці, закупівельний процес керується законами України «Про публічні закупівлі» та «Про особливості здійснення закупівель товарів, робіт і послуг для гарантованого забезпечення потреб оборони» [7]. Цей Закон регулює своєчасність й ефективність проведення закупівель для потреб Збройних сил України та інших військових формувань в особливий період, період надзвичайного стану та проведення операції Об'єднаних сил [12]. Він передбачає, що під час здійснення закупівель через систему електронних закупівель ProZorro буде істотно посилено відповідальність постачальників за порушення процедури закупівлі та порушення термінів постачання (недобросовісні учасники тендерів нестимуть фінансову відповідальність, втрачатимуть свою репутацію); також відповідно до цього Закону скорочено строки проведення процедур закупівель із 60-ти до 14 днів [6]. Тобто, впроваджено переговорну процедуру на особливий період з використанням системи електронних закупівель. Відтак участь компаній у тендерах здійснюватиметься під банківські гарантії, а в разі порушення процедури закупівлі, постачання неякісної продукції або зриву терміну її постачання банк, який надав гарантію учаснику, сплачуватиме Міністерству оборони України 3 % від вартості закупівлі [6, 12]. Недобросовісні

постачальники змушені будуть сплатити гарантійне забезпечення – банківську гарантію, якщо порушать процедуру закупівлі. Також вони потраплять до дискваліфікаційного списку та протягом року не матимуть змоги брати участь у процедурах закупівель Міністерства оборони України та інших силових відомств. Ці фірми оприлюднюватимуть у відповідному розділі порталу державних закупівель [6].

Досліджуючи сутність логістичного забезпечення оборонного сектору, варто розглянути функціонал військової логістики загалом [8]. До таких основних функцій за даними NATO School є наступні [3]:

- доставка;
- матеріально-технічне забезпечення;
- сервіс;
- технічне обслуговування та ремонт обладнання;
- отримання, планування і подальше переміщення ресурсів;
- переміщення та перевезення;
- забезпечення нафтопродуктами; забезпечення надання медичної допомоги;
- укладення угод;
- підтримка країни, на території якої дислокуються об'єднані сили.

Реалізація логістичного забезпечення оборонного сектору даними NATO School [3] ґрунтується на досягненні виконання таких умов:

1) створенні тимчасової транспортної інфраструктури (мережі маршрутів та вузлів), спроможної оптимально доставляти предмети логістичного забезпечення споживачам;

2) досягненні умови (обмеження), що чисельність та оснащеність сил на театрі бойових дій не більша ніж вимагає ситуація (зона розташування і передислокації);

3) чітко вибудована послідовність сил за 4 R (правильні сили, з потрібним обладнанням, у потрібний час, у потрібному місці") – головним правилом військової логістики.

Загалом логістичне управління закупівлями для оборонного сектору (за термінологією НАТО – військова логістика) включає п'ять сфер [3]:

1) проектну – проектування і розробка, придбання, зберігання, транспортування, розподіл, догляд, евакуація і розташування озброєння і техніки;

2) транспортну – транспортування особового складу, доставка матеріально-технічних ресурсів;

3) забезпечувальна (постачальницька) – пошук джерел, придбання, будівництво, обслуговування, експлуатація та розташування об'єктів.

4) сервісну – надання різного роду послуг;

5) медичну – матеріально-технічне забезпечення медичних підрозділів.

За даними NATO School [3] за об'єктом спрямованості військової логістики поділяється на два види: колективну та багатонаціональну:

- Колективна логістика передбачає реалізацію національних логістичних можливостей (потужностей) та логістичних можливостей (потужностей) НАТО щодо забезпечення ресурсами та заходами шляхом використання загальних процесів і структур.

- Багатонаціональна логістика передбачає виконання таких операцій:

а) визначення провідної країни у сфері логістики, її роль як логістичного експерта та ролі інших країн-учасниць;

б) створення багатонаціонального об'єднаного підрозділу з логістики;

в) організацію тилового забезпечення операцій силами і засобами підрядника.

Зазначений вище функціонал реалізується через виконання параметрів – так званих «5 D» [3]:

1) Destination (призначення) - визначення параметрів потреби;

2) Distance (віддаленість) - визначення стану шляхів сполучення (LOC);

3) Demand (вимога) – визначення ступеня важливості потреби;

4) Duration (тривалість) – визначення необхідної експлуатаційної надійності та необхідності інвестування для потреб забезпечення;

5) Dispersal (розосередження) – визначення загрози LOCs (шляхам сполучення) / MSRs (основним маршрутам постачання).

Невід'ємною умовою реалізації описаних вище функцій і правил є постійне виконання розрахунків оптимізації логістичних компонентів (складових) зони військової присутності, що власне можна вважати метою військової логістики [8]. До прикладу, повноваження з управління військовою

логістикою надаються командувачу НАТО над тилловими частинами і організаціями, включаючи Національні елементи підтримки (NSE), які дозволяють йому синхронізувати, надати перевагу та інтегрувати функції логістики, необхідні для виконання спільної місії. Це не надає владу над ресурсами, що знаходяться в національній власності, якими володіє NSE, за винятком випадків, узгоджених з передачею повноважень або відповідно до принципів і політики НАТО. По суті, командна структура НАТО погоджує потреби і контролює матеріально-технічне забезпечення для проведення операцій, а країни-партнери мають фізичні можливості для забезпечення власної логістики. Таке співробітництво починається на стадії планування, визначаються загальні завдання й рішення та інформаційні потреби, а вже потім здійснюється планування ресурсного розподілу [2]. Іншими словами, за політикою НАТО, управління логістичною системою оборонної сфери базується на координації усього ланцюга постачання, а власне закупівлі набувають рівня стратегічної функції.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Грунтуючись на наведеному, приходимо до висновку, що логістичне управління закупівлями для оборонного сектору, відповідно до призначення системи логістичного забезпечення готовності до військових операцій, повинна бути спроможною координувати ресурси, техніку, інформацію і людей оперативно, точно, злагоджено в умовах постійної нестабільності і зміни часових параметрів. З метою досягнення такої властивості системи логістичного забезпечення військові логісти пропонують інтегрувати проекти NATO Logistics шляхом створення нової структури з питань закупівель, приєднання до послуг підтримки та постачання [9].

Дослідження ключових елементів логістичного управління закупівлями для оборонного сектору у просторі та часі показало, що тривалість процедури закупівлі, а саме усіх її стадій, на практиці займає часу набагато більше ніж фізична доставка предмету закупівлі. Причиною цього є де-факто відсутність логістичного управління системою матеріально-технічного забезпечення оборонного сектору. Як наслідок – низький рівень практичного запровадження принципів логістики спрямованих на системне управління постачанням, що відповідає концепції логістики НАТО (NATO Logistics).

ВИСНОВКИ

Перспективні наукові дослідження авторів спрямовані на детальне вивчення операцій закупівель та інших процедур матеріально-технічного забезпечення оборонного сектору у просторі та часі. Визначення «вузьких місць», головних чинників та оцінки їхнього впливу на результати їх виконання. Розробка алгоритму логістичного управління організацією оборонних закупівель в Україні та розробка механізму оптимізації системи управління матеріально-технічним забезпеченням оборонного сектору загалом.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Вонсович О. С. Стратегічний оборонний бюлетень України до 2020 р.: аналітичні оцінки. Гілея: науковий вісник. 2016, Вип. 110. – С. 364-369.
2. Ukrainian Military Pages. Стратегічний бюлетень 2016: система логістики і система медичного забезпечення. [сайт]. URL: <https://www.ukrmilitary.com/2016/06/sob2016-logistik-and-medicine.html>
3. Дре Керстьєнс. Логістичне планування НАТО та сучасні виклики. NATO School (22.04.2016). Головна сторінка Національного університету оборони України ім. І. Черняхівського [сайт]. URL: <https://nuou.org.ua/assets/documents/logstichne-planuvannya-nato-ta-suchasn-vikliki.pdf>
4. NATO Logistics Handbook/ Third Edition: October 1997, [сайт]. URL: <https://www.nato.int/docu/logi-en/logist97.htm>
5. Голота О. П. Ризики корупції в державних оборонних закупівлях. Науковий центр проблем запобігання корупції в секторі безпеки та оборони, Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського. 2018. [сайт]. URL: http://bitec.nuou.org.ua/wp-content/uploads/2018/12/MOD_AC_BITEC_Presentation_ukr.pdf
6. Бурак М. В. Корупційні ризики в державних оборонних закупівлях: шляхи мінімізації. Юридичний часопис Національної академії внутрішніх справ № 2 (18) 2019. С. 103–115. [сайт]. URL: <http://elar.naiu.kiev.ua/bitstream/123456789/15126/1/14.pdf>
7. Неуров І.В. Постачання та закупівлі у військовій логістиці. Системи озброєння і військова техніка: Військово-технічні проблеми, 2008, № 2(14). С. 58–60.
8. Kostyuchenko L., Solomon D. (2020) “The basic terminology of the modern military logistics”. Intellectualization of logistics and Supply Chain Management. [Online], vol.1, p.91-98, available at:

<https://smart-scm.org/en/journal-1-2020/lesia-kostiuchenko-solomon-dmitry-the-basic-terminology-of-the-modern-military-logistics/> (Accessed 30 May 2020).

9. Kostiuchenko L.V., Kostiuchenko A.V. (2020) "The logistical support system elements for the preparedness for military operations". Intellectualization of logistics and Supply Chain Management. [Online], vol.2, pp.16-31, available at: <https://smart-scm.org/en/journal-2-2020/lesia-kostiuchenko-andrii-kostiuchenko-the-logistical-support-system-elements-for-the-preparedness-for-military-operations/> (Accessed 24 July 2020).

10. Трепова М. Еволюція закупівель: топ-5 змін в Україні: Діджиталізація і аутсорсинг: як змінилися закупівлі в Україні за 10 років. 2020. [сайт]. URL: <https://mind.ua/openmind/20208464-evolyuciya-zakupivel-top-5-zmin-v-ukrayini>

11. Про Стратегію національної безпеки України: Указ президента України за станом на 14 вересня 2020 року [сайт]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/392/2020#Text> (Указ президенту України)

12. Про особливості здійснення закупівель товарів, робіт і послуг для гарантованого забезпечення потреб оборони: Закон України за станом на 12 травня 2016 р. № 1356-VIII. [сайт]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1356-19>

13. Про публічні закупівлі: Закон України за станом на 25 грудня 2015 р. № 922-VIII. [сайт]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/922-19>

14. Про реформування оборонно-промислового комплексу та підвищення рівня прозорості виконання державного оборонного замовлення : Указ Президента України за станом на 15 березня 2019 р. № 79/2019. [сайт]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0001525-19>.

REFERENCES

1. Vonsovych O. S. Stratehichnyy oboronnyy byuleten Ukrayiny do 2020 r.: analitychni otsinky. Hileya: naukovyy visnyk. 2016, Vyp. 110. – S. 364-369.

2. Ukrainian Military Pages. Stratehichnyy byuleten 2016: systema lohistyky i systema medychnoho zabezpechennya. [sayt]. URL: <https://www.ukrmilitary.com/2016/06/sob2016-logistik-and-medicine.html>

3. Dre Kerstyens. Lohistychne planuvannya NATO ta suchasni vyklyky. NATO School (22.04.2016). Holovna storinka Natsionalnoho universytetu oborony Ukrayiny im. I. Chernyakhovskoho [sayt]. URL: <https://nuou.org.ua/assets/documents/logstichne-planuvannya-nato-ta-suchasn-viklyki.pdf>

4. NATO Logistics Handbook/ Third Edition: October 1997, [sayt]. URL: <https://www.nato.int/docu/logi-en/logist97.htm>

5. Holota O. P. Ryzyky koruptsiyi v derzhavnykh oboronnykh zakupivlyakh. Naukovyy tsentr problem zapobihannya koruptsiyi v sektori bezpeky ta oborony, Natsionalnyy universytet oborony Ukrayiny imeni Ivana Chernyakhovskoho. 2018. [sayt]. URL: http://bitec.nuou.org.ua/wp-content/uploads/2018/12/MOD_AC_BITEC_Presentation_ukr.pdf

6. Burak M. V. Koruptsiyni ryzyky v derzhavnykh oboronnykh zakupivlyakh: shlyakhy minimizatsiyi. Yurydychnyy chasopys Natsionalnoyi akademiyi vnutrishnikh sprav № 2 (18) 2019. S. 103–115. [sayt]. URL: <http://elar.naiu.kiev.ua/bitstream/123456789/15126/1/14.pdf>

7. Neurov I.V. Postachannya ta zakupivli u viyskoviy lohistytsi. Systemy ozbroynennya i viyskova tekhnika: Viyskovo-tekhichni problemy, 2008, № 2(14). S. 58–60.

8. Kostyuchenko L., Solomon D. (2020) "The basic terminology of the modern military logistics". Intellectualization of logistics and Supply Chain Management. [Online], vol. 1, p. 91-98, available at: <https://smart-scm.org/en/journal-1-2020/lesia-kostiuchenko-solomon-dmitry-the-basic-terminology-of-the-modern-military-logistics/> (Accessed 30 May 2020).

9. Kostiuchenko L.V., Kostiuchenko A.V. (2020) "The logistical support system elements for the preparedness for military operations". Intellectualization of logistics and Supply Chain Management. [Online], vol. 2, pp. 16-31, available at: <https://smart-scm.org/en/journal-2-2020/lesia-kostiuchenko-andrii-kostiuchenko-the-logistical-support-system-elements-for-the-preparedness-for-military-operations/> (Accessed 24 July 2020).

10. Trepova M. Evolyutsiya zakupivel: top-5 zmin v Ukrayini: Didzhytalizatsiya i aut-sorsynh: yak zminylasya zakupivli v Ukrayini za 10 rokiv. 2020. [sayt]. URL: <https://mind.ua/openmind/20208464-evolyuciya-zakupivel-top-5-zmin-v-ukrayini>

11. Pro Stratehiyu natsionalnoyi bezpeky Ukrayiny: Ukaz prezydenta Ukrayiny za stanom na 14 veresnya 2020 roku [sayt]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/392/2020#Text> (Ukaz prezydentu Ukrayiny)

12. Pro osoblyvosti zdiysnennya zakupivel tovariv, robit i posluh dlya harantovanoho zabezpechennya potreb oborony: Zakon Ukrainy za stanom na 12 travnya 2016 r. № 1356-VIII. [sayt]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1356-19>

13. Pro publichni zakupivli: Zakon Ukrainy za stanom na 25 hrudnya 2015 r. № 922-VIII. [sayt]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/922-19>

14. Pro reformuvannya oboronno-promyslovoho kompleksu ta pidvyshchennya rivnya prozorosti vykonannya derzhavnogo oboronnoho zamovlennya : Ukaz Prezydenta Ukrainy za stanom na 15 bereznia 2019 r. № 79/2019. [sayt]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0001525-19>.

V. Marchuk, L. Kostyuchenko, O. Garmash, N. Perederiy, Y. Gradysky. Key elements of logistic procurement management for the defense sphere.

The key elements of logistics procurement management for the defense sector in space are studied. It is established that the duration of the procurement procedure at all stages takes much longer than the physical delivery of the subject of procurement. The reason for this is the de facto lack of logistics management of the logistics system. As a result, there is a low level of practical implementation of logistics principles aimed at systematic supply management, which is in line with the concept of NATO logistics. Logistics procurement management for the defense sector will allow to coordinate resources, equipment, information and people, quickly, accurately and coherently solve the tasks in conditions of constant instability and changes in time parameters.

The study of key elements of logistics procurement management for the defense sector in space and time showed that the duration of the procurement procedure, namely all its stages, in practice takes much longer than the physical delivery of the subject of procurement. The reason for this is the de facto lack of logistical management of the logistics system of the defense sector. As a result, there is a low level of practical implementation of logistics principles aimed at systematic supply management, which is in line with the concept of NATO logistics (NATO Logistics).

Promising research of the authors is aimed at a detailed study of procurement operations and other procedures of logistics of the defense sector in space and time. Identification of "bottlenecks", the main factors and assessment of their impact on the results of their implementation. Development of an algorithm for logistics management of the organization of defense procurement in Ukraine and development of a mechanism for optimizing the management system of logistics of the defense sector in general.

Key words: logistics management, procurement, logistics system, principles of supply logistics, defense sector.

МАРЧУК Володимир Єфремович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри логістики, Національний авіаційний університет, (м. Київ) e-mail: sunduk_2005@ukr.net <https://orcid.org/0000-0003-0140-5416>

КОСТЮЧЕНКО Леся Вячеславівна, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри логістики, Національний авіаційний університет, (м. Київ) e-mail: lesia.kost@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-7635-5153>

ГАРМАШ Олег Миколайович, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри логістики, Національний авіаційний університет, (м. Київ) e-mail: oleh.harmash@npp.nau.edu.ua <https://orcid.org/0000-0003-4324-4411>

ПЕРЕДЕРІЙ Надія Миколаївна, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри організації авіаційних перевезень, Національний авіаційний університет (м. Київ) e-mail: nadiyka.gavriljuk@gmail.com <https://orcid.org/0000-0003-4173-9445>

ГРАДИСЬКИЙ Юрій Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри деревооброблювальних технологій та системотехніки лісового комплексу, Державний біотехнологічний університет (м. Харків) e-mail: gradiskiy@btu.kharkov.ua <https://orcid.org/0000-0002-5226-6252>

Volodymyr MARCHUK, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Logistics, National Aviation University, Kyiv e-mail: sunduk_2005@ukr.net <https://orcid.org/0000-0003-0140-5416>

DOI 10.36910/automash.v2i17.639

Мельнікова Ю. І., Клименко І. Ю., Весела М. А.

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна***ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ УКРАЇНИ В УМОВАХ ПАНДЕМІЇ**

Робота присвячена виявленню основних проблем транспортної логістики в галузі автомобільного транспорту. На основі статистичних даних за останні п'ять років був виявлений сталий ріст обсягу перевезень автомобільного транспорту, що доводить його затребуваність на ринку вантажних перевезень України. Виявлено, що сучасні ринкові умови гальмують процес розвитку транспортної логістики. Досліджено основні тенденції в галузі автомобільного транспорту, що спричинені змінами у світовій економіці внаслідок COVID-19. Результати проведеного дослідження свідчать, що економічна криза, спровокована пандемією COVID-19, негативно вплинула на всю світову економіку. Автомобільний транспорт відчув негативний вплив коронавірусу. На основі отриманих результатів досліджень окреслені перспективи розвитку ринку транспортної логістики України. Після проведеного аналізу малюється песимістична картина розвитку транспортної галузі, але необхідно відмітити, що попри всі перепони автомобільний транспорт України збільшує обсяги перевезень. Тенденція переваги транспортно-експедиційних компаній, що не мають свого рухомого складу, над іншими транспортними компаніями на вітчизняному ринку ще буде зберігатися тривалий час.

Запропоновано шляхи вирішення виявлених проблем з урахуванням особливостей ринку вантажних перевезень України. Реалізація цих заходів призведе до прискорення доставки вантажу з найменшими втратами. Також виявлена обнадійлива перспектива перенесення виробництв європейських компаній з Китаю ближче до ринку збуту дає надію на залучення іноземних інвестицій в економіку України і в транспортну галузь зокрема.

Результати дослідження можуть бути використані менеджерами транспортних компаній при плануванні їх діяльності.

Ключові слова: транспортна логістика, автомобільний транспорт, пандемія, вантажні перевезення, тенденції.

ВСТУП

В сучасних умовах жорсткої конкуренції не залишилось видів діяльності, де недооцінена сфера обігу. Тому застосування принципів логістики, в тому числі і транспортної, формують конкурентні переваги будь-якого підприємства. Найбільший успіх на ринку мають підприємства, що забезпечують своєчасну і якісну доставку продукції до місця призначення. Отже, основною метою транспортної логістики є усунення перебоїв і зайвих витрат при переміщенні транспортних засобів з товарами до пункту призначення [1]. Логістика має велике значення як фактор, що формує переваги при виході компанії на ринки. Отже, роль транспорту у веденні бізнесу постійно посилюється, а залучення автомобільного транспорту при побудові ланцюгів постачання набуває все більшої популярності.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Проблеми розвитку транспортної логістики висвітлювались багатьма вченими у своїх роботах: Борисова Л. П. [1], Устенко М. О. [2], Попович П. В. [3], Бойченко М.В. [4], Чухрай Н. І. [5], Лебединська О. І. [6]. На даний момент існує недостатньо досліджень, що висвітлюють вплив пандемії на розвиток транспортної логістики (робота Гірної О.Б. [7]). Непередбачувальний характер впливу наслідків боротьби людства з COVID-19 на соціально-економічне становище світу засвідчує про доцільність продовження дослідження з обраної теми.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідити стан і тенденції впливу COVID-19 на транспортну логістику в галузі автомобільного транспорту України.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

З кожним роком конкурентна боротьба стає все жорсткішою у всіх сферах діяльності людства. Сучасному вітчизняному ринку притаманні мінливість попиту на транспортні послуги, низький рівень рентабельності, підвищення вимог до якості надаваних послуг. Кожного дня на ринку відбуваються нові процеси, що формують умови функціонування транспортних компаній. Вплив пандемії, не оминув і галузь автомобільного транспорту.

Розглянемо ситуацію, що склалася на вітчизняному ринку транспортних послуг, а саме динаміку обсягу перевезень за 2016-2020 рр. за всіма видами транспорту (рис. 1).

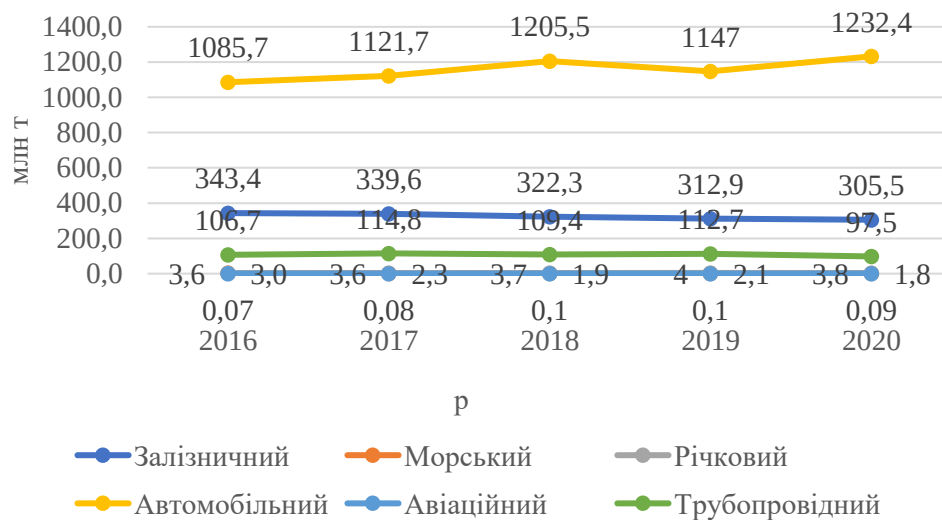


Рисунок 1. Динаміка обсягу перевезень за видами транспорту 2016 - 2020 р. [8]

На основі статистичних даних (рис. 1) за аналізований період можна спостерігати сталий ріст обсягу перевезень автомобільним транспортом, при цьому темп росту складає 113,5%. З одного боку такий темп росту неможна назвати високим, а з іншого - необхідно відмітити, що серйозний економічний шок, спричинений пандемією, який перегукується зі світовою фінансовою кризою 2008р. не призвів до стрімкого скорочення попиту на послуги і понесення значних втрат, як це відбулося у багатьох галузях економіки.

За останні п'ять років спостерігається збільшення долі перевезень автомобільним транспортом (рис. 2), у 2016 р. він складав 70,4%, а у 2020 р - 75,1% [8]. Отже, можна з впевненістю стверджувати, що автомобільний транспорт затребуваний на ринку транспортних послуг.

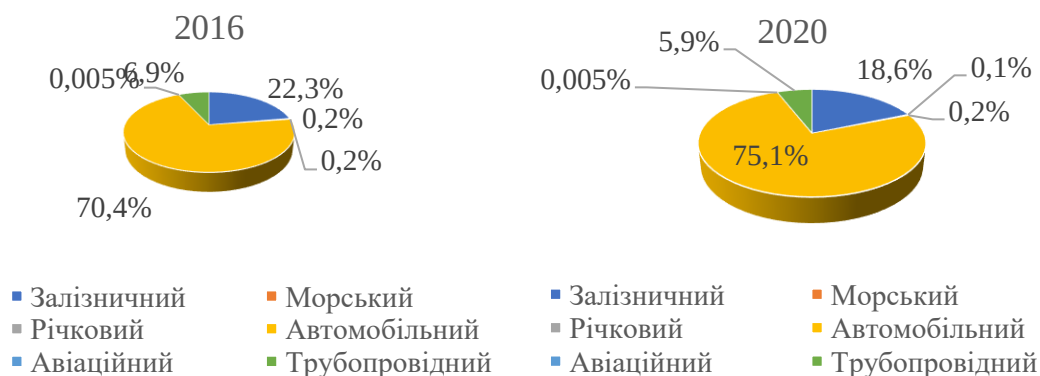


Рисунок 2 – Порівняння структури обсягу перевезень за видами транспорту 2016 р. з 2020 р. [8]

До переваг автомобільного транспорту, що підтверджують доцільність використання саме даного виду транспорту, відносяться: доступність рухомого складу, можливість доставки товару «від дверей до дверей», низькі договірні тарифи через їх демпінгування великою кількістю гравців на ринку, висока маневреність і гнучкість, висока швидкість доставки, вибір різноманітних маршрутів і схем перевезення вантажів, можливість перевезення вантажу різного обсягу.

Отже, виходячи з вищевказаного, можна відмітити, що автомобільний транспорт є найбільш доступним для споживачів і швидко адаптується до мінливих ринкових умов. Автомобільний транспорт займає вагомe місце в галузі і має непогані перспективи розвитку. Але розвиток автомобільної транспортної логістики України гальмують проблеми, що виникли ще задовго до пандемії. До них можна віднести:

1. Низький рівень розвитку транспортної інфраструктури України, який не відповідає потребам як вітчизняного так і міжнародного ринку. Довгий час якість покриття і невідповідність пропускних спроможностей певних доріг та відсутність об'їзних доріг у деяких містах України були болючою проблемою як для транспортних компаній, так і для громадян. Реалізація національної стратегії «Drive Ukraine 2030» частково покращила ситуацію, але не вирішила проблему. За 2020 р. було

виконано роботи з будівництва, реконструкції, капітального і поточного ремонту на загальній протяжності 4056 км доріг [9]. Але необхідно відмітити, що певні дороги, що поєднують Україну з країнами ЄС, планують зробити платними. Кабінет Міністрів України затвердив максимальний розмір плати за разовий проїзд дорогою постановою № 1312 від 23.12.2020 р. Цей факт викликає багато питань, на які не можна отримати чіткої відповіді на даний час:

- якої якості будуть альтернативні безкоштовні дороги?
- на яку максимальну вантажопідйомність будуть розраховані платні дороги?
- на скільки раціонально розпоряджається Дорожній фонд коштами, що надходять від платників податків при купівлі палива?
- і т. д.

Незадовільний стан доріг є не єдиною причиною вважати транспортну інфраструктуру України нерозвинутою. Обмежена кількість та низький рівень якості обслуговуючих комплексів придорожнього сервісу, недостатня кількість терміналів, розподільчих центрів досі залишається невирішеним питанням.

Отже, нерозвинута інфраструктура гальмує швидкість доставки вантажу, що знижує конкурентоспроможність вітчизняних транспортних компаній.

1. Високий рівень зносу автомобільного парку України. Розмір, структура та стан рухомого складу характеризує рівень виробничого потенціалу та конкурентоспроможності як автотранспортного підприємства, так і транспортного комплексу країни. Ця проблема стосується всього наземного транспорту України. У 2019 р ступінь зносу основних засобів наземного транспорту склав 59,2% [8]. Процес оновлення автомобільного парку є дуже болючим питанням, так як від стану рухомого складу залежить безпека та якість перевезень, екологічна безпека та рівень рентабельності перевезень. Отже, на даний час мала доля перевізників може вступати у конкурентну боротьбу з перевізниками країн ЄС.

2. Переважна більшість перевізників є представниками малого бізнесу. У 2019 р. тільки 90 млн. т із 1147 млн т вантажу було перевезено автотранспортними підприємствами, отже 92,2% обсягу перевезень здійснюється фізичними особами-підприємцями [8]. Більшість з них мають мінімальні накладні витрати і низький рівень знань щодо формування собівартості перевезень, що призводить до демпінгування тарифів на ринку автомобільних вантажних перевезень. Транспортним компаніям, що мають власний автомобільний парк, майже неможливо досягти високого рівня прибутковості перевезень через дану ситуацію. Тому більшість гравців на українському ринку автомобільних вантажних перевезень є транспортно-експедиційними компаніями, які не мають власного автомобільного парку. Наслідком цього є розрізненість учасників ринку, їх низький рівень конкурентоспроможності, брак коштів для розвитку бізнесу і т. д.

3. Брак кваліфікованої робочої сили в галузі автомобільного транспорту. Автомобільний транспорт є трудомісткою галуззю. Тому проблема дефіциту кваліфікованих трудових ресурсів є нагальною для транспортних компаній. З одного боку на ринку праці спостерігається дефіцит у кваліфікованих і професійних водіях, а з іншого – низький рівень якості управлінського персоналу в сфері автомобільного транспорту. На водіїв покладений високий рівень відповідальності, так як процес перевезення здійснюється поза межами підприємства в умовах підвищеної аварійності.

Також спостерігається брак кваліфікованих логістів. Поєднання сучасних теоретичних знань в логістиці з досвідом практичної діяльності в умовах сьогодення зустрічається на ринку праці дуже рідко. Цей факт негативно впливає на ефективність перевізного процесу.

4. Низький рівень ефективності організації перевізного процесу є результатом негативного впливу проблеми логістичного менеджменту. На багатьох підприємствах досі впровадження логістичних методів полягає у пошуку варіанту доставки вантажу з найкоротшою відстанню, що визначається найчастіше логістом на основі власного досвіду, без застосування програмного забезпечення. Мізерна доля транспортних компаній відправляє свій персонал на семінари і курси підвищення кваліфікації, на яких логісти можуть оволодіти сучасними засобами оптимізації перевізного процесу.

5. Низький рівень узгодженості роботи учасників ланцюгів постачання. Непродуктивні простой автомобілів, в першу чергу, викликані невідповідністю пропускної спроможності розподільчих центрів, складів підприємств, митних пунктів пропуску. Практика застосування штрафних санкцій для усунення непродуктивних простоїв на даний момент на вітчизняному ринку є не дуже розповсюдженою. А простой автомобілів при проходженні митних постів є болючим питанням не тільки для вітчизняних перевізників. Багато транспортних компаній країн ЄС прокладають маршрут,

омінаючи Україну як транзитну країну, при цьому довжина маршруту може бути значно більша. Закордонні підприємці вважають доцільним доставити швидше вантаж і збільшити матеріальні витрати, ніж скоротити продуктивність автомобіля і збільшити долю амортизації у собівартості перевезень в результаті непродуктивних простоїв.

Попри всі існуючі проблеми в автомобільному транспорті України, позитивним є те, що попит на вантажні перевезення поступово зростає. Для збереження цієї тенденції необхідно врахувати нові тренди світової економіки, що викликані пандемією коронавірусної хвороби.

Пандемія, що зумовлена COVID-19, негативно вплинула на економічну ситуацію у світі. Галузь автомобільного транспорту не залишилась осторонь. Робити довгострокові прогнози дуже важко, бо на сьогодні немає чіткого бачення шляхів подолання вірусу. Але виявити основні тренди, що будуть впливати на розвиток вітчизняної галузі автомобільного транспорту в найближчий час можливо. До таких можна віднести:

1. Вибуття слабких гравців з ринку автомобільних перевезень. Найближчим часом на ринку залишаться тільки ті компанії, які встигнуть переорієнтувати діяльність під мінливі умови, що формує пандемія. В даний час значно легше виживати компаніям, що не мають власного транспорту, бо їх постійні витрати набагато менші ніж у власників автомобільних парків.

2. Перерозподіл вантажопотоків. Зміни викликані об'єктивними процесами, що відбуваються у світі. По-перше, коливання темпів економічного росту. МВФ оцінив світове скорочення ВВП на 3,5% у 2020 р, у 2021 р – зростання на 5,5%, а у 2022 р. очікується ріст на 4,2% [10].

По-друге, зміна поведінки та вподобань споживачів. Пандемія значно вплинула на платоспроможність і поведінку споживачів, що спричинило зміну структури споживчого кошику.

По-третє, істотне подорожчання морського фрахту із Китаю. Удорожчання морського фрахту на 370% через нестачу контейнерів змушує компанії шукати інші способи доставки товару (зміна маршруту доставки вантажу, виду транспорту) або змінювати постачальників з більш вигідним географічним розташуванням [11].

Всі перелічені обставини безпосередньо впливають на зміну географії вантажовідправників і вантажоотримувачів, періодичність та обсяг доставки. Саме під час пандемії виявився високий рівень залежності виробництв багатьох країн від Китаю. Тому менеджери багатьох компаній розглядають можливість перенесення виробничих потужностей ближче до ринку збуту для скорочення транспортних витрат. Суттєве здороження вартості доставки лишило основної конкурентної переваги морський транспорт і посилює конкурентоспроможність інших видів транспорту. Для доставки вантажу з Китаю все частіше використовують залізничний, авіаційний та автомобільний транспорт.

3. Посилення обмежень діяльності транспортних компаній в країнах ЄС. Особливо болючим питанням ще до пандемії для перевізників було отримання дозволів на міжнародні вантажні перевезення. Після локдауну 2020 року уряд країн ЄС посилив захист своїх виробників. Така картина негативно вплинула не тільки на автомобільну галузь, а й на всю економіку країни. Розвиток економіки України в більшій мірі залежить від попиту на експортну продукцію, який в умовах світової кризи падає.

Польща у 2020 році українським перевізникам видала критично мало дозволів на перевезення вантажів автомобільним транспортом у міжнародному сполученні (160 тис. од.). На даний момент постійно ведуться перемови з урядами різних країн про отримання додаткових дозволів на міжнародні перевезення. У 2021р є певні позитивні зміни (Болгарія збільшила кількість дозволів на 25%, Італія – на 6%) [12], але на стратегічно важливих напрямках, де проходять основні торгівельні потоки, суттєвих зрушень не відбулось.

4. Посилення дефіциту водіїв. Проблема трудової міграції українців обговорювалась на всеукраїнському форумі «Україна 30. Трудові ресурси». Україна є лідером серед європейських країн за кількістю працездатного населення, яке їде працювати за кордон [13]. За даними дослідницької компанії Transport Intelligence, у 2020 році лише у Європі компаніям, що займаються вантажними перевезеннями, бракувало понад 400 тис. кваліфікованих водіїв [14]. Основні причини трудової міграції водіїв не відрізняються від інших професій: соціальна незахищеність, нестабільний фінансово-економічний стан України, кращі умови праці, більша заробітна плата та перспективи в майбутньому еміграції в країни ЄС. Значний дефіцит водіїв призведе до зриву ланцюгів постачання, що буде гальмувати відновлення економіки країни.

5. Ріст попиту інвесторів на менш ризикові активи. Інвестиційний клімат України залишається непривабливим. Основними причинами такої ситуації є нестабільні умови ведення бізнесу, нестабільність у відносинах з іноземними партнерами, податковий тиск, криза, яка спричинена

коронавірусом і т. д. Непередбачувана перспектива економічного розвитку в світі змушує потенційних інвесторів обирати найменш ризикові варіанти, до яких галузь автомобільних перевезень не відноситься.

1. Поява нової вимоги споживачів до транспортних компаній - можливість зробити онлайн заявку на здійснення перевезення вантажу. Керівництво транспортних компаній розуміє необхідність даної опції в умовах пандемії, тому більшість компаній вже її мають.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для успішного пристосування до похитлих ринкових умов сьогодення керівництву транспортних компаній при здійсненні управлінської діяльності необхідно враховувати тенденції, що зумовлені COVID-19. Тому основною метою менеджерів є успішне подолання безлічі труднощів. Цей шлях можна пройти за допомогою:

- підвищення рівня сервісу за рахунок гнучкості в обслуговуванні;
- застосування різноманітних способів доставки вантажу (перевезення збірних вантажів, змішані перевезення і т. д.);
- автоматизації процесу оптимізації вантажних перевезень.

Необхідно відмітити, що втілити запропоновані заходи не так легко.

Високий рівень гнучкості в обслуговуванні в сучасних українських реаліях найлегше досягти, використовуючи найманий рухомий склад будь-якого типу і вантажопідйомності. Тому тенденція верховенства компаній, які не мають власного автомобільного парку, на вітчизняному ринку ще буде зберігатися. Цей варіант дозволяє значно скоротити постійні витрати компанії, але якість надаваних послуг залежить від власника рухомого складу. Однак необхідно відмітити, що кожна компанія має список недобросовісних перевізників, з якими воліє не вступати у ділові відносини.

Втілення перевезення збірних вантажів і автоматизації процесу оптимізації вантажних перевезень гальмують дві основних проблеми: брак інвестицій і дефіцит кваліфікованих логістів.

Доцільність застосування програмного забезпечення для вибору оптимального маршруту доставки та використання розподільчих центрів при певних маршрутах є безперечною, але для їх застосування необхідні чималі гроші. Так як переважна більшість граків на ринку є представниками малого бізнесу, то брак коштів не дозволяє реалізувати запропоновані заходи. В умовах економічної кризи знайти інвесторів є майже нездійсненою задачею.

Керівництву транспортних компаній необхідно приділити велику увагу підвищенню професіоналізму і розвитку «логістичної інтуїції» персоналу. Логіст повинен прогнозувати зміни попиту на транспортні послуги при виборі маршруту і виду транспорту, враховувати вимоги клієнта, інтенсивність руху транспортних коридорів, тривалість проведення певних операцій, кліматичні умови та ін. Отже, при побудові ланцюгу постачань людський фактор грає велике значення.

ВИСНОВКИ

В результаті аналізу маюється песимістична картина розвитку транспортної галузі в Україні, але необхідно відмітити, що попри всі перепони автомобільний транспорт України збільшує обсяги перевезень. У першому півріччі 2021 р. (78,2 млн. т.) було перевезено вантажу на 21,4% більше ніж за аналогічний період 2020 р. (64,4 млн. т) [8]. Перспектива перенесення виробництв європейських компаній з Китаю ближче до ринку збуту дає надію на залучення іноземних інвестицій в економіку України і в транспортну галузь зокрема.

Отже, підвищення стійкості транспортних компаній можна забезпечити за допомогою високого рівня сервісу, застосування різних способів доставки вантажів, автоматизації процесу побудови ланцюгів постачань, підвищення професіоналізму персоналу, що призведе до прискорення доставки вантажу з найменшими втратами.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. [Борисова Л. П.](#) Основные проблемы и перспективы развития транспортной логистики в Украине / Л. П. Борисова. // [Економіка. Управління. Інновації. Серія : Економічні науки](#). - 2013. - № 2. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eui_2013_2_13
2. [Устенко М. О.](#) Основні напрямки розвитку та завдання транспортної логістики / М. О. Устенко // [Вісник економіки транспорту і промисловості](#). - 2018. - № 62. - С. 138-144.
3. [Попович П. В.](#) Дослідження тенденцій розвитку ринку вантажних автомобільних перевезень у сучасних умовах / П. В. Попович, О. С. Шевчук, А. Й. Матвіїшин, В. М. Лотоцька // [Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки](#). - 2016. - № 2. - С. 224-229.

4. М.В. Бойченко Проблеми транспортної логістики вантажних перевезень в Україні / М.В. Бойченко // Вісник економічної науки України. — 2018. — № 2 (35). — С. 22-26.
5. Чухрай Н. І. Оцінювання функціонування ланцюга поставок: сутність та концептуальні підходи / Н. І. Чухрай // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". - 2009. - № 647. - С. 276-285.
6. Лебединська О.І. Особливості міжнародної логістики в умовах глобалізації. Вісник ХНАУ. Серія «Економічні науки». 2017. № 3. С. 195–201
7. Гірна О.Б., Кобилюх О.Я. Реалії та перспективи пандемії COVID-19 для транспортної логістики. Науковий журнал «Молодий вчений». 2020. №7 (83) липень. С. 208-214.
8. Державний комітет статистики України [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/tr.htm
9. Звіт Державного агентства автомобільних доріг України за 2020 р. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://ukravrtdor.gov.ua/press/news/publicnyi_zvit_holovy_derzhavnoho_ahentstva_avtomobilnykh_dorih_ukrainy_oleksandra_kubrakova_za_2020_rik_video/zvit_pro_dialnist_derzhavnoho_ahentstva_avtomobilnykh_dorih_ukrainy_za_2020_rik.pdf
10. МВФ: Світовий ВВП у 2020 році впав на 3,5%, у 2021 році зросте на 5,5%. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://finbalance.com.ua/news/mvf-polipshiv-prohnoz-zrostannya-svitovo-ekonomiki-v-2021-rotsi-do-55>
11. Чому злетіли ціни на морські перевезення та як це позначиться на Україні. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/publications/2021/08/30/677292/>
12. Міністерство інфраструктури України. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/news/32958.html>
13. Трудова міграція українців — як запобігти відтоку людей, обговорюють на "Україна 30". [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://kanal-dom.tv/uk/trudovaya-migraciya-ukrainczev-kak-predotvratit-ottok-lyudej-obsuzhdayut-na-ukraina-30-video/>
14. У світі не вистачає далекобійників: куди поділися водії та які країни заманюють українців на роботу. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/publications/2021/09/17/677904/>

REFERENCES

1. Borisova L. P. Osnovnye problemy i perspektivy razvitiya transportnoj logistiki v Ukraine / L. P. Borisova. // Ekonomika. Upravlinnya. Innovacii. Seriya : Ekonomichni nauki. - 2013. - № 2. - Rezhim dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eui_2013_2_13
2. Ustenko M. O. Osnovni napriamky rozvytku ta zavdannia transportnoi lohistyky / M. O. Ustenko // Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti. - 2018. - № 62. - S. 138-144.
3. Popovych P. V. Doslidzhennia tendentsii rozvytku rynku vantazhnykh avtomobilnykh perevezen u suchasnykh umovakh / P. V. Popovych, O. S. Shevchuk, A. Y. Matviishyn, V. M. Lototska // Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriya : Tekhnichni nauky. - 2016. - № 2. - S. 224-229.
4. M.V. Boichenko Problemy transportnoi lohistyky vantazhnykh perevezen v Ukraini / M.V. Boichenko // Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy. — 2018. — № 2 (35). — S. 22-26.
5. Chukhray N. I. Otsiniuvannia funktsionuvannia lantsiua postavok: sutnist ta kontseptualni pidkhody / N. I. Chukhray // Visn. Nats. un-tu "Lviv. politekhnika". - 2009. - № 647. - S. 276-285.
6. Lebedynska O.I. Osoblyvosti mizhnarodnoi lohistyky v umovakh hlobalizatsii. Visnyk KhNAU. Seriya «Ekonomichni nauky». 2017. № 3. S. 195–201
7. Гірна О.Б., Кобилюх О.Я. Реалії та перспективи пандемії COVID-19 для транспортної логістики. Науковий журнал «Молодий вчений». 2020. №7 (83) липень. С. 208-214.
8. Derzhavnyi komitet statystyky Ukrainy [Elektron. resurs]. – Rezhym dostupu: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/tr.htm
9. Zvit Derzhavnoho ahentstva avtomobilnykh dorih Ukrainy za 2020 r. [Elektron. resurs]. – Rezhym dostupu: https://ukravrtdor.gov.ua/press/news/publicnyi_zvit_holovy_derzhavnoho_ahentstva_avtomobilnykh_dorih_ukrainy_oleksandra_kubrakova_za_2020_rik_video/zvit_pro_dialnist_derzhavnoho_ahentstva_avtomobilnykh_dorih_ukrainy_za_2020_rik.pdf

10. MVF: Svitovyi VVP u 2020 rotsi vpav na 3,5%, u 2021 rotsi zroste na 5,5%. [Elektron. resurs]. – Rezhyim dostupu: <https://finbalance.com.ua/news/mvf-polipshiv-prohnoz-zrostantnya-svitovo-ekonomiki-v-2021-rotsi-do-55>
11. Chomu zletily tsyny na morski perevezennia ta yak tse poznachytsia na Ukraini. [Elektron. resurs]. – Rezhyim dostupu: <https://www.epravda.com.ua/publications/2021/08/30/677292/>
12. Ministerstvo infrastruktury Ukrainy. [Elektron. resurs]. – Rezhyim dostupu: <https://mtu.gov.ua/news/32958.html>
13. Trudova mihratsiia ukraintsiv — yak zapobihty vidtoku liudei, obhovoriuiut na "Ukraina 30". [Elektron. resurs]. – Rezhyim dostupu: <https://kanal-dom.tv/uk/trudovaya-migracziya-ukrainczev-kak-predotvratit-ottok-lyudej-obsuzhdayut-na-ukraina-30-video/>
14. U sviti ne vystachaie dalekobiinykiv: kudy podilysia vodii ta yaki krainy zamaniuiut ukraintsiv na robotu. [Elektron. resurs]. – Rezhyim dostupu: <https://www.epravda.com.ua/publications/2021/09/17/677904/>

Y. Melnikova, I. Klymenko, M. Vesela. Problems of the development of transport logistics of Ukraine in terms of pandemic

The study deals with the identification of key problems of transport logistics in the field of motor transport. The statistic data for the recent five years have helped to specify sustainable growth in the motor transportation; it proves that the motor transport is in demand on the cargo transportation market of Ukraine. It has been defined that current market conditions decelerates the process of transportation logistics development. Basic tendencies in the field of motor transport, caused by the changes in world economy due to COVID-19, have been analyzed. The research results show that the economic crisis provoked by COVID-19 pandemic has influences negatively the worldwide economy on the whole. In particular, motor transport has experienced negative impact of the coronavirus. The obtained results have made it possible to outline the prospects of further development of the Ukrainian transport logistics market. The carried out analysis has demonstrated a pessimistic pattern of the transport logistics development; however, it should be noted that despite all the obstacles, Ukrainian motor transport is increasing its transportation volumes. There will be still a long-time tendency of certain advantage of transportation-dispatch companies, having no own motor equipment, over other transportation companies on the national market.

Certain methods to solve the identified problems have been proposed taking into consideration features of the cargo transportation market. Implementation of those methods will result in the accelerated cargo delivery with the least costs. Moreover, the encouraging prospects as for the transfer of production facilities of European countries from China closer to the market outlets bring certain hope for the involvement of foreign investment in the Ukrainian economy in general and transportation field in particular.

The research results can be used by managers of transportation companies while planning the enterprise activities.

Key words: *transport logistics, road transport, pandemic, freight transportation, trends.*

МЕЛЬНИКОВА Юлія Ігорівна, старший викладач кафедри «Управління на транспорті», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», e-mail: yulaskripa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7023-023X>

КЛИМЕНКО Ірина Юріївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Управління на транспорті», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», e-mail: klymenkoiiy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6263-0951>

ВЕСЕЛА Марія Анатоліївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Управління на транспорті», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», e-mail: mves357@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-9318-9110>

Yuliia MELNIKOVA, Senior Lecturer of Transport Management Department, Dnipro University of Technology, e-mail: yulaskripa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7023-023X>

Iryna KLYMENKO, Candidate of Technical Science, associate professor of Transport Management Department, Dnipro University of Technology, e-mail: klymenkoiiy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6263-0951>

Mariia VESELA, Candidate of Technical Science, associate professor of Transport Management Department, Dnipro University of Technology, e-mail: mves357@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-9318-9110>

DOI 10.36910/automash.v2i17.640

Попович Д.П.¹, Петриків А.Р.¹, Чепесюк Л. В.¹, Шевчук О.С.²,
Фалович Н.М.², Маяк М.М.³, Петринюк Н.А.².

¹Тернопільський національний медичний університет, Тернопіль, Україна; ²Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна; ³Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

ВИМІРЮВАННЯ КОМФОРТУ В ГРОМАДСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ

Хоча комфорт є одним з найважливіших чинників, що формують попит на громадський транспорт, чинники зручності часто не помічаються при проектуванні транспортної мережі та оцінці ефективності. У міському пасажирському транспорті, особливо у містах середнього розміру, вибір способу подорожі пасажирів залежить від багатьох важливих показників, окрім тривалості подорожі. Для того, щоб покращити розуміння кількісних та якісних показників у використанні громадського транспорту, дизайн транспортних послуг повинен відповідати рівню обслуговування, очікуваному клієнтами, що забезпечить найкращу капіталізацію впровадження транспортних послуг. Це дослідження є основою для формулювання політики пасажирських перевезень у громадському транспорті з точки зору максимального комфорту населення та розробило основу для вимірювання найважливіших факторів зручності громадського транспорту, мінімального дискомфорту та максимальної безпеки. На основі польових досліджень із застосуванням детермінант дискомфорту та ваги визначено кількісний показник сприйняття комфорту в мережі громадського транспорту Тернополя, за допомогою якого можна прогнозувати поведінку пасажирів при користуванні міським громадським транспортом. Такий показник можна використовувати для прогнозування поведінки пасажирів під час користування громадським транспортом. Результати дослідження можуть бути використані як інструмент для планування та функціонування міської транспортної мережі. Визначення загального комфорту системи громадського транспорту є змінним, що залежить від факторів, найважливішим з яких є щільність пасажирів у салонах переповнених транспортних засобів. З огляду на багатостандартний аналіз транспортної мережі типових міст, показників руху громади – дискомфорту, завантаженості транспортних засобів, середнього часу руху, середньої відстані, оптимізаційний проект мережі громадського транспорту рекомендується розглядати цю групу індикатори комфорту. Результати дослідження є основою для розуміння ставлення пасажирів та сприйняття комфорту громадського транспорту та можуть бути використані як інструмент для планування та функціонування мережі міського транспорту середніх розмірів.

Ключові слова: пасажирські перевезення, маршрут, рівень комфорту, громадський транспорт, пасажиропотік, транспортна мережа

ВСТУП

На основі польових досліджень із застосуванням детермінант дискомфорту та ваги визначено кількісний показник сприйняття комфорту в мережі громадського транспорту Тернополя, за допомогою якого можна прогнозувати поведінку пасажирів при користуванні міським громадським транспортом. Визначення загального комфорту системи громадського транспорту Тернополя залежить від багатьох факторів, найважливішим з яких є щільність пасажирів у салоні в години пік, хоча для оптимального проектування мережі громадського транспорту рекомендується враховувати багато показників комфорту. Результати дослідження є основою для розуміння ставлення пасажирів та сприйняття комфорту громадського транспорту та можуть бути використані як інструмент для планування та функціонування мережі міського транспорту середніх розмірів.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Щоб підвищити рівень безпеки та зменшити дискомфорт у громадському транспорті, дизайн транспортних послуг має максимально відповідати очікуванням пасажирів [1-9]. Дослідження з використанням моделі дискомфорту можуть дозволити пасажирам правильно спрогнозувати вибір транспорту та їхню поведінку під час користування громадським транспортом у середніх містах, але вони мають певні очевидні недоліки – дослідження пасажиропотоку – це інформаційна послуга за допомогою непрямих методів [9, 10, 11, 12], на цій основі, через неточність і припущення, щоб оцінити задоволеність пасажирів на основі ряду факторів, таких як зручність, доступність, інформація, час/тривалість, обслуговування клієнтів, комфорт водіння, безпека та вплив на навколишнє середовище, відбудеться багато серйозних помилок. ISO 2631-1 регулює відповідність механічних параметрів (рівень шуму котячих коліс тощо), тому його використовують у проектуванні транспортних засобів. Як ми всі знаємо, в Україні при проектуванні транспортної мережі враховується лише час подорожі пасажирів до пункту призначення. Хоча зручність і безпека пасажирів є основними чинниками попиту на громадський транспорт, такі показники, як зручність,

часто ігноруються при проектуванні середніх транспортних систем. На практиці вибір пасажирів громадського транспорту визначається багатьма факторами.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Як ми всі знаємо: мережа маршрутів - це сукупність усіх маршрутів маршруту громадського пасажирського транспорту. Беручи до уваги обмеження руху в будь-якому напрямку, маршрут - це напрямок руху транспортного засобу між відправною точкою та кінцевою станцією та відправною точкою є точка стартового транспортного засобу. Під час початкової зупинки в літак сідають пасажирів. Проміжна точка зупинки використовується для зупинки транспортного засобу, щоб пасажирів могли сісти та вийти. Кінцева зупинка є кінцевою точкою, де транспортний засіб рухається по маршруту. Під час простою пасажирів висадилися. Обертовий політ-рух літака вперед і назад від початкової точки до кінцевої точки зупинки. В Україні існує близько 70 міст [3, 4], які можна віднести до середніх [3] з населенням від 50 000 до 300 000 у містах площею 65 квадратних кілометрів. Для таких міст, як Тернопіль, основний пасажиропотік характеризується радіальним або радіальним, а щільність населення знаходиться в межах 113,1 людини на квадратний кілометр. Відповідно до пунктів [5, 6, 7, 8], у місті є 38 транспортних зон, а загалом 37 автобусних маршрутів громадського транспорту обслуговують 197 одиниць. Автобусів, кількість зупинок-218 одиниць, загальна довжина мережі автобусних маршрутів-647,7 км. Визначено, що автобусний парк громадського транспорту обладнаний автомобілями "Богдан А092", "Еталон" та іншими невеликими легковими автомобілями, кожен з яких може перевозити 42 пасажирів. Перевантаження транспорту спостерігається в години пік у всіх мережах громадського транспорту-коефіцієнт заповнення перевищує 100%, причому середньодобовий коефіцієнт знаходився в межах 60-80%.

Під пасажиропотоком розуміється навантаження на мережу ліній у напрямку руху пасажирів за певний проміжок часу (години, дні). особливості: ▪ Він змінюється в залежності від годин дня, днів тижня, довжини маршруту та напрямку руху; ▪ Характеризується нерівномірністю в часі та просторі. Метою даної роботи є отримання вихідних даних для дослідження пасажиропотоку на Тернопільському пасажирському маршруті загального користування. Період розслідування: 10.09.2020-14.09.2020. Час іспиту: 6:30-19:30. Тип іспиту: ▪ Підрахуйте кількість пасажирів, які сідають/виходять на кожній зупинці. ▪ Обстеження пасажирів у великих транспортних вузлах. Об'єкт огляду: літак обертається і летить. Об'єкт огляду: літак обертається і летить. Період розслідування: 10.09.2020-14.09.2020. Загальний час розслідування: 6:30 – 19:30. [1] ключові етапи проведення обстеження:

- ранковий період «пік»: 6:30 – 10:00 – мінімум 2 обертових рейса на одному маршруті.
- міжпіковий період: 10:00 – 16:00 – мінімум 2 обертових рейса на одному маршруті.
- вечірній період «пік»: 16:00 – 19:30 – мінімум 2 обертових рейса на одному маршруті.

Як ми всі знаємо, у міських пасажирських перевезеннях рекомендується заповнити салон на 16 осіб відповідно до максимальної місткості пасажирів, передбаченої конструкцією транспортного засобу. Необхідно вдосконалити політику міського транспорту, щоб комфорт громадського транспорту досяг найкращого рівня-це єдиний показник, який впливає на вибір пасажирів перевезень [9-11]. Дослідження проводилося у два етапи-внутрішній та експериментальний-для збору та обробки даних, отриманих під час обстежень пасажиропотоку. Постійне польове дослідження табличним методом є найбільш трудомістким у порівнянні з існуючими методами, але єдиним, яке може забезпечити найбільш точну інформацію про пасажирів для подальшої внутрішньої обробки статистичних даних досліджуваної системи громадського транспорту Тернопільський автобусний маршрут. Важливо, що дані досліджень пасажиропотоку на маршрутах громадського транспорту міста Тернополя проводяться як безперервне природне дослідження за допомогою табличного методу. Для аналізу вивчаються шість ротаційних рейсів на кожному існуючому маршруті міської транспортної мережі: пік ранку-з 6.30 до 10.00, період піку-з 10.00 до 16.00, пік вечора-з 16.00 до 19.30. Характеристики пасажиропотоку базуються на годинах доби, днях тижня, нерівномірності потоку пасажирів у часі та просторі від станції відправлення до терміналу в місті, а також оцінці основної пересадки міста. бали та спосіб оплати проїзду Спосіб: готівковий або безконтактний, пільговий. Навчальний період – 7 календарних днів, з 04.11.19 по 11.11.19, для визначення зміни пасажиропотоку у будні та вихідні відповідно. Час: 6.30-19.30 У салоні є бухгалтер, який працює на маршрутному транспорті з першої зупинки, за задніми дверима автобуса. Всі отримані дані про пасажирообіг і способи оплати, а також інформацію про досліджуваний вид перевезення, номер маршруту, напрямок руху транспортних засобів вперед або назад, час початку і закінчення, час між автобусними зупинками, локомотиви, транспортні засоби, облік самостійно,

фактично записані на обліковій картці, сформованій дослідниками. Згідно з дослідженнями, кількість хвилин, які пасажирів вважають найкраще витратити на маршрут. Дослідження мережі громадського транспорту Тернополя визначило основні основні показники мобільності пасажирів. Це може бути типовим показником середніх міст і має хорошу кореляцію з [1, 17] :

-Швидкість припливу пасажирів між годинами пік становить 1 прохід / хв, а піковий час -4 проходи / хв.;

-Час очікування автомобіля до 10 хвилин;

-Час у дорозі з околиць до центру-30-35 хвилин;

-час подорожі між прилеглими територіями становить до 60 хвилин;

-Піковий час 8.00-9.00, вечір 16.30-18.30;

-Орієнтовна швидкість пасажирів міського автобуса становить 15-20 км/год.

Введіть отриману інформацію на карту облікового запису, яка була сформована для подальшої обробки, а потім обчисліть місце переміщення між зупинками кожного маршруту зйомки інформації (табл. 1)

Таблиця 1.

Анкетні для обстеження маршрутів громадського транспорту у місті

Дата 11.Sep Маршрут № 18-3В
 Початковий пункт рейсу Містечко Шляховиків
 Кінцевий пункт рейсу ТРЦ Подольня
 Час початку рейсу 19:00 Вид транспорту: автобус

№	Код	Зупиночний пункт (ЗП)	Кількість пасажирів		Спосіб оплати проїзду	Час простою
			зайшло	вийшло		
1	2	3	4	4	6	7
1	9692	Містечко Шляховиків	2		2г	
2	9693	с. Велика Березовиця	2		2е	
3	959	Газопровід	1		1е	
4	941	Цукровий завод	4		1г 3е	
5	9694	АТП-1961		2		
6	9695	Тубдиспансер	1	1	1е	
7	9696	ПАТ Ватра	1	5	1е	
1	2	3	4	4	6	7
8	9764	СТО	2		1г 1е	
9	9747	АТП-16154	6	5	6е	
10	169	вул. Князя Остроського	6	7	3г 3е	
11	20	Міська лікарня №1	5		5е	
12	138	Стадіон	4	1	4е	
13	6500	Обласна лікарня	2	5	2г	
14	9702	вул. Слівенська	2		1г 1е	
15	9698	вул. Монастирського	10		3г 7е	
16	27	вул. Лесі Українки	6	8	6е	
17	3600	Школа №14	4	6	1г 3г	
18	553	пр. Степана Бандери	2	1	2г	

19	9741	бул. Петлюри	6	2	5г 1е	
20	9736	вул. 15-го Квітня	6	3	6е	
21	9735	вул. Київська	2	2	2е	
Продовження таблиці 1						
1	2	3	4	5	6	7
22	596	вул. Володимира Великого		2		
23	59	вул. Володимира Великого	1	4	1г	
24	3198	вул. Леся Курбаса	2	9	2г 1е	
25	61	вул. Морозенка		5		
26	350	ТРЦ Подоляни		9		
27						
ПЕРЕВЕЗЕНО			77	77	0	
Час закінчення рейсу			19:45			
Марка (модель) тр. засобу			Іван			
Держ. номер тр. засобу			BO1247AA			
Загальна місткість тр. засобу			39			
ОБЛКОВЕЦЬ			Попович Д			

Дослідження мережі громадського транспорту Тернополя визначило основні основні показники мобільності пасажирів. Це може бути типовим показником середніх міст і має хорошу кореляцію з [17 17], наприклад, більше нуля, менше 45 та бажано 16 -Згідно з дослідженнями, кількість хвилин, які пасажирів вважають найкраще витратити на маршрут. так: -Швидкість припливу пасажирів між годинами пік становить 1 прохід / хв, а піковий час -4 проходи / хв. -Час очікування автомобіля до 10 хвилин; -Час у дорозі з околиць до центру-30-35 хвилин; -час подорожі між між собою. [17 5], Дослідження показують, що, крім пільгових груп, безконтактні (банківська картка, Google Pay) тарифи становлять від 60% до 74% від загальної кількості пасажирів, що оплачують проїзд. Транспортні засоби між ділянками міських доріг, для всіх суб'єктів, в межах 2-2,3 хвилин, в залежності від дорожньої ситуації, кордоном ділянки дороги є станція громадського транспорту. Багатостандартний аналіз створеної транспортної мережі: коефіцієнт перевезення пасажирів 1,1; нелінійний коефіцієнт 1, 76; середній час очікування 5,8 хвилини; коефіцієнт шляху 4,60; середній час у дорозі 33 хвилини; середня відстань у дорозі становить 4,3 кілометра, що відрізняється від раніше дані.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

З точки зору оптимальних стандартів комфорту та розумної оптимізації заторів, громадський транспорт формує оптимальний вибір міської транспортної політики – застосування цих досліджень. З точки зору найбільших заторів у замкнутому просторі-маршруті салони є найскладнішими для людей Транспорт . Для цього маршруту нелінійний коефіцієнт, середній час очікування, середній час у дорозі та середня відстань подорожі вище, ніж вище середнього.

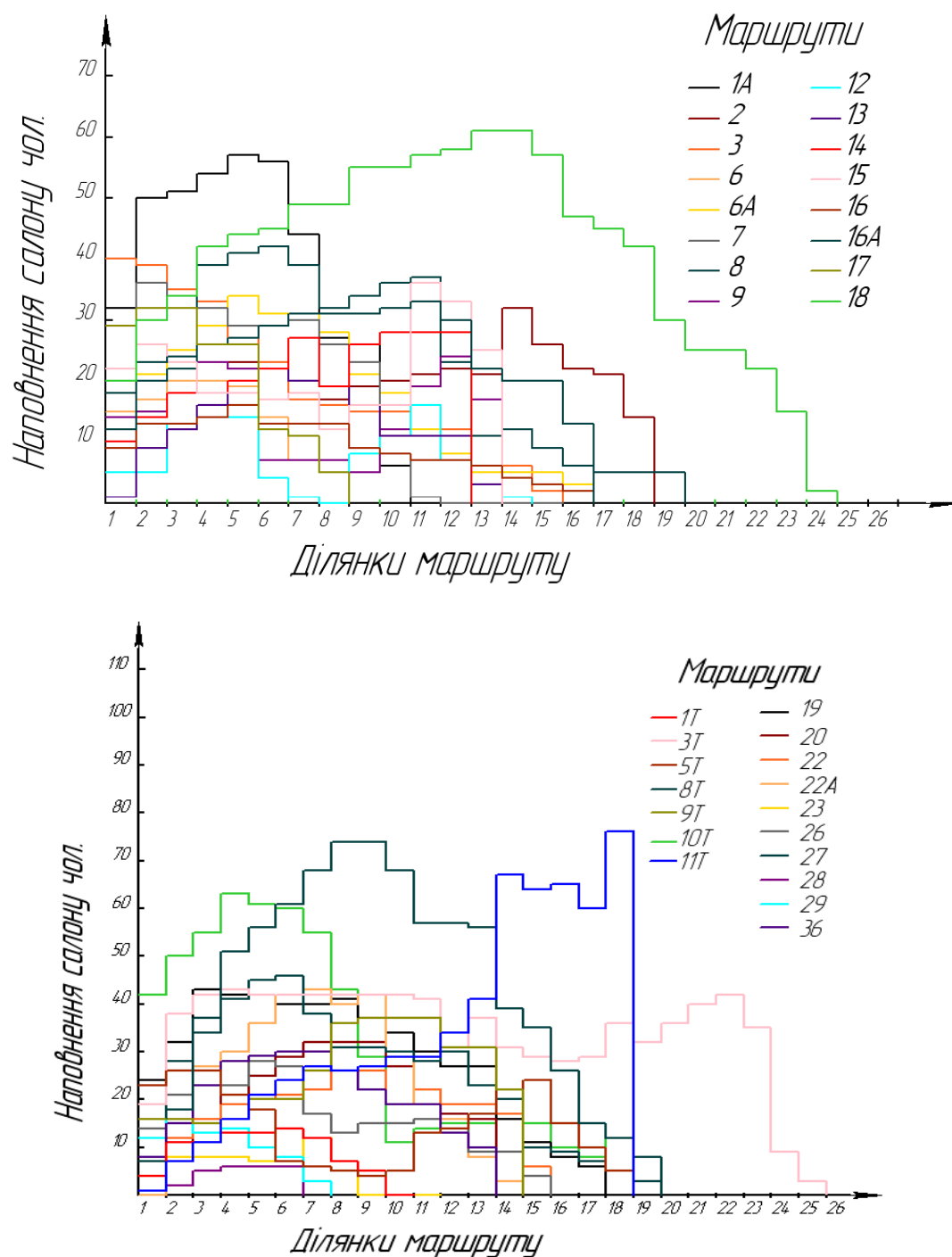


Рисунок 1. Нерівномірність пасажиропотоку за ділянками маршрутів

У [17 9], розрахунок функції переповненості як функції дискомфорту враховує кількість пасажирів, кількість місць і тривалість поїздки. Враховуючи різні варіанти проїзду, перший не має вільних місць, другий – одне місце, а третій варіант, через велику кількість пасажирів, використовується 100% пасажиромісткості транспортного засобу. У роботі [10], рекомендується оцінювати ступінь переповненості, вимірюючи значення коефіцієнта завантаженості та кількості стоячих пасажирів на квадратний метр, хоча це число зазвичай стандартизовано і враховується виробником автомобіля на етапі проектування. Буде перевищувати умови таке порогове значення, але за законом показників [17 10] функція буде незручною. Можливо, доцільно апроксимувати закон варіації функції дискомфорту за допомогою полінома третього (четвертого) ступеня, моделюючи дану ситуацію.

Щоб відобразити сприйняття пасажирями комфорту громадського транспорту, у [17 11] дискомфорт лінійно зростає до порогу, а при його перевищенні – експоненціально. Ступінь дискомфорту на малюнках 2 і 3 є функцією розрахованої щільності пасажирів у вагоні [17 11]

$$x = \begin{cases} \alpha & \text{if } \alpha \leq 1 \\ e^\alpha & \text{if } \alpha > 1 \end{cases} (1)$$

де рівень кількості пасажирів в транспортному засобі (x) обчислюється на основі показника α

$$\alpha = \frac{\text{Number of passengers in vehicle}}{\text{Vehicle capacity}} (2)$$

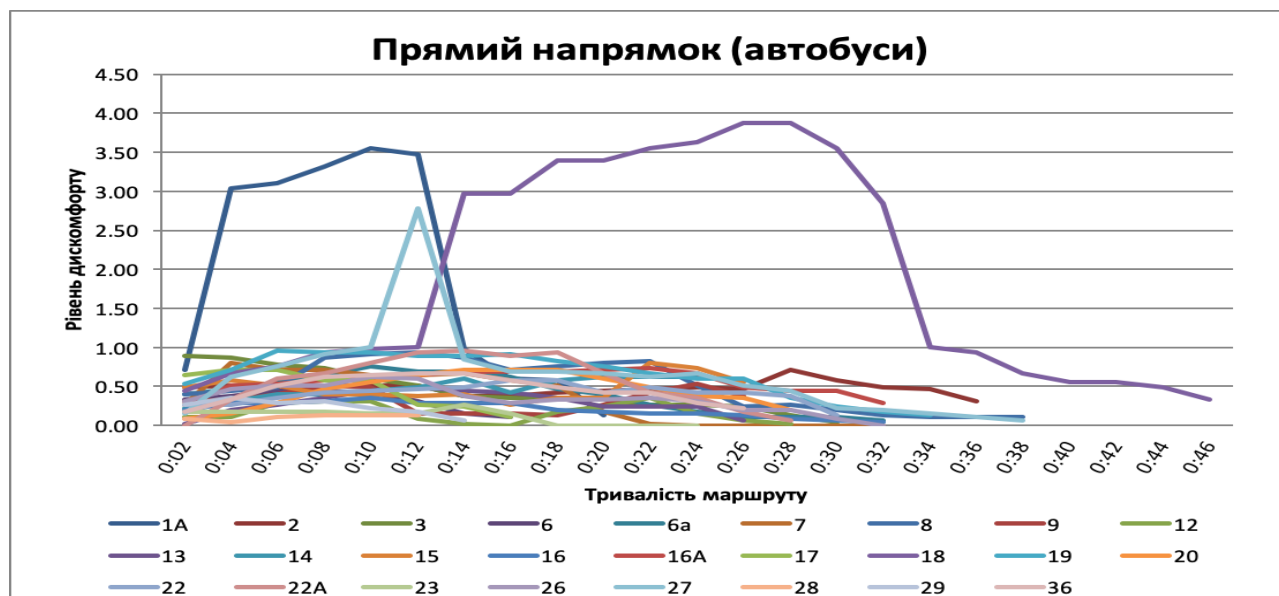


Рисунок 2. Загальний рівень дискомфорту (автобуси) як функція щільності пасажирів за часом у поїздки маршрутом громадського пасажирського транспорту

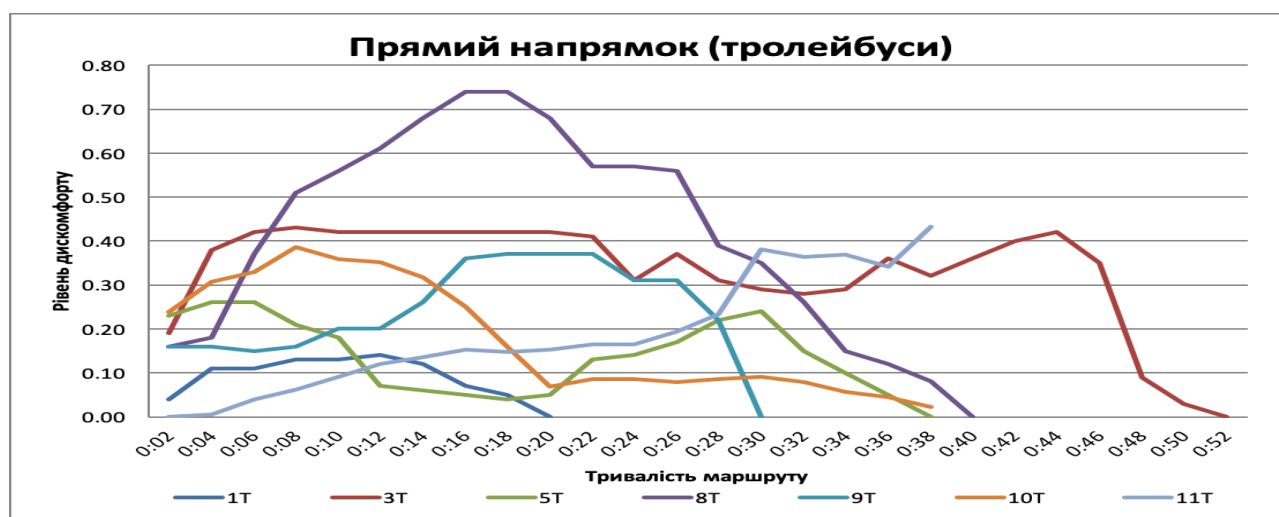


Рисунок 3. Загальний рівень дискомфорту як функція щільності пасажирів за часом у поїздки маршрутом громадського пасажирського транспорту

У реалізації (1) і (2) на рисунках 2, 3 і 4 графічно показано функціональний зв'язок між загальним дискомфортом і щільністю пасажирів у транспортному засобі, на прямих і зворотних маршрутах визначеного досліджуваного режиму перевезення. Для подальшої оцінки дискомфорту рекомендується використовувати метод зважування, який дозволить отримати кусково-лінійну форму, а загальний рівень дискомфорту пасажирів у вагоні під час перевезення [17 11]

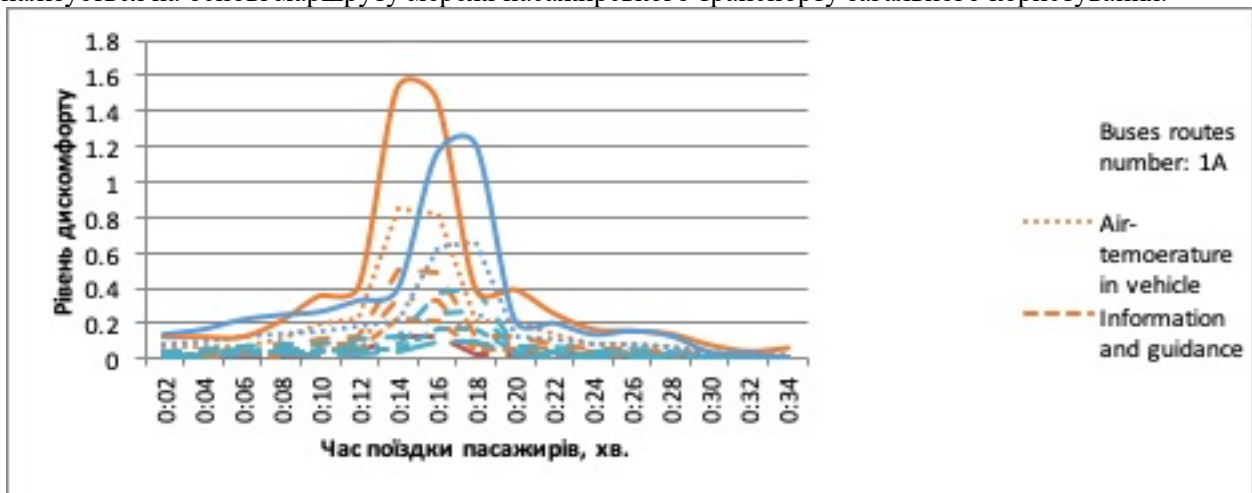
$$f(x) = \sum_i w_i \cdot x_{it} (3)$$

де x_{it} - значення i -го визначника дискомфорту в t -й відлік часу, w_i - величина i -го вагового коефіцієнта, x_{it} обчислюється з (1).

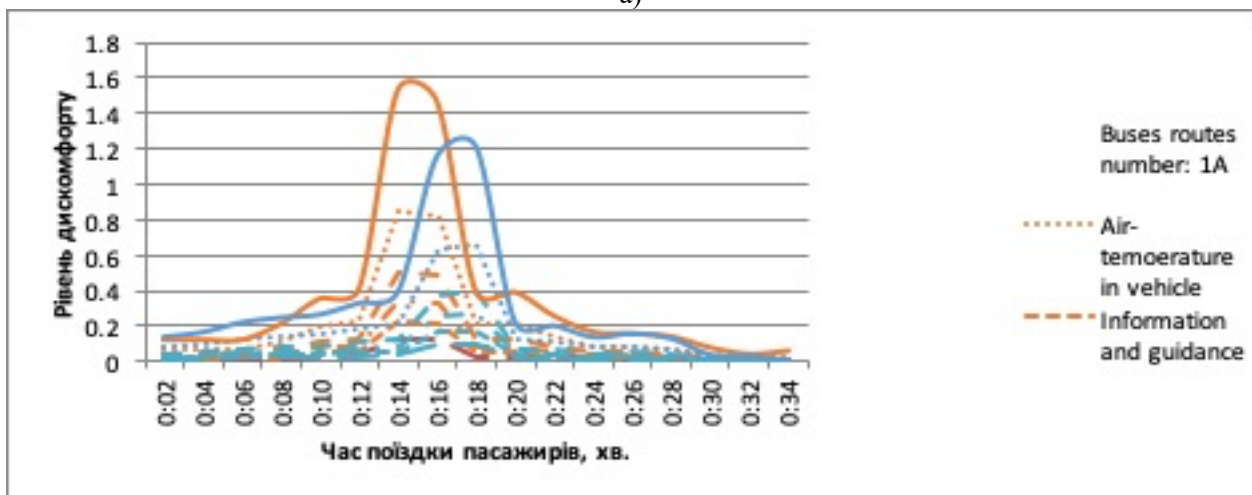
За словами слідчих, які проводили опитування в Тернополі, при виборі легкового автомобіля та можливих маршрутів важливо вимірювати рівень комфорту від сидіння до подорожі. Опитані пасажери сподіваються комфортно пересуватися в салоні. Ступінь низький. Беручи до уваги дані опитування, а також дані дослідження Şükrü İmre та Dilay Çelebi [17, 11], ми прийняли значення комфорту сидіння 0,0556, що, очевидно, пов'язане з рівнем комфорту сидіння 0,0615 для T1 і 0,0762 для M2 [1, 17, 11]. Отже, значення вагового коефіцієнта становить: завантаженість транспортного засобу 0,4053; температура транспортного засобу 0,2243, комфорт сидіння 0,0556, інформація та опис 0,0590; чистота транспортного засобу 0,1324; технічний стан транспортного засобу 0,0899; 0,0335 [1, 17, 11].

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для маршрутів, що перевищують умовний поріг (Рис. 4): 1A, 18, 22, ступінь дискомфорту аналізується на основі маршруту мережі пасажирського транспорту загального користування.



а)



б)

Рисунок 4. Аналіз рівня дискомфорту за часом у поїздки маршрутом громадського пасажирського транспорту: а) прямі маршрути; б) зворотні маршрути

При реалізації (3) рис. 4. компонентний аналіз використовується для вивчення функції дискомфорту під час процесу подорожі прямим і зворотним маршрутом визначеного досліджуваного виду транспорту. Функція дискомфорту під час подорожі показана на рисунках 4 і 5. З малюнка видно, що кількісний показник комфорту не змінює тривалість поїздки, відповідно до температури повітря в салоні та салону та комфорту сидіння. Однак зручне транспортування не обов'язково означає вибір пасажирів. Індекс також можна використовувати для порівняння комфортності громадського транспорту в конкретному досліджуваному місті.

Дослідження підтверджує, що приватні автомобілі є дуже важливими, оскільки право власності та подорожі на приватних автомобілях представляють традиційні культурні та психологічні цінності та статус, а самостійне керування є психологічною перевагою перед громадським транспортом. Тому деякі групи ні довше вибирайте автомобільні телефони.

ВИСНОВКИ

Попит на міський транспорт є однією з основних потреб, які необхідно задовольнити. На основі польових досліджень детермінант та вагових коефіцієнтів використання комфорту в Тернополі визначено кількісні показники комфортності в мережі громадського транспорту Тернополя, його можна використовувати для прогнозування поведінки пасажирів під час користування громадським транспортом у середніх містах. Результати дослідження можуть бути використані як інструмент для планування та функціонування міської транспортної мережі. Визначення загального комфорту системи громадського транспорту Тернополя є змінним, що залежить від семи факторів, найважливішим з яких є щільність пасажирів у салонах переповнених транспортних засобів. З огляду на багатостандартний аналіз транспортної мережі, типових середніх міст, показників руху громади – дискомфорту, завантаженості транспортних засобів, середнього часу руху, середньої відстані, оптимізаційний проект мережі громадського транспорту рекомендується розглядати цю групу індикатори комфорту.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1.Попович П.В.. Дослідження комфорту в громадському транспорті м. Тернополя. Побережний Л., Мурований І., Шевчук О., та ін. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2020. Том 2. № 15. Ст. 88-98.
- 2.Шевчук О. С. Порушення при облаштуванні паркувальних місць транспортних засобів на вулично-дорожній мережі міста. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2016. № 1. С. 167-171.
- 3.ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій. URL: https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212_planuvannya.pdf
- 4.http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ_new1/2019/zb_chnn2019.pdf
- 5.https://businessforsmartcities.com/load/118/presentation/7_sergiy_nadal_6_852c9.pdf
- 6.<https://www.eway.in.ua/ua/cities/ternopil>
- 7.<http://bus.ck.ua/avtobus.html>
- 8.Шевчук О.С. Вплив показників ефективності на безпеку руху вулично-дорожніми мережами. *Вісник ХНТУСГ*. Харків, 2016. № 169. С. 205– 209.
- 9.Palma, A. d., Kilani, M., & Proost, S. (2014). Discomfort in mass transit and its implication for scheduling and pricing . *Transportation Research Part B* , 1-18.
- 10.Qin, F. (2014). Investigating the In-Vehicle Crowding Cost Functions for Public Transit Modes. *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering* , 1-13.
- 11.Şükrü İmre and Dilay Çelebi. Measuring Comfort in Public Transport: A case study for Istanbul. *Transportation Research Procedia*, 25, 2017. P. 2441–2449.
- 12.Popovych P, Lyashuk O, Shevchuk O, et al. Influence of organic operation environment on corrosion properties of metal structure materials of vehicles. *INMATEH – Agric Eng*,52(2), 2017. P. 113–118.
- 13.Lytvynenko, I.V., Maruschak, P.O., Lupenko, Popovych P.V. (2016). Modeling of the Ordered Surface Topography of Statically Deformed Aluminum Alloy. *Mater Science*, 52, 113-122.
- 14.Popovych, P., Shevchuk, O., Dzyura, V., Poberezhna, L., Dozorsky, V., Hrytsanchuk, A.(2018). Assessment of the Influence of Corrosive Aggressive Cargo Transportation on Vehicle Reliability. *International Journal of Engineering Research in Africa* 38, 17–25.
- 15.Maruschak, P., Poberezhny, L., Prentkovskis, O., Bishchak, R., Sorochak, A., & Baran, D. (2018). Physical and mechanical aspects of corrosion damage of distribution gas pipelines after long-term operation. *Journal of failure analysis and prevention*, 18(3), 562-567.
- 16.Yavorskyi, A. V., Karpash, M. O., Zhovtulia, L. Y., Poberezhny, L. Y., Maruschak, P. O., & Prentkovskis, O. (2016). Risk management of a safe operation of engineering structures in the oil and gas sector. In *Proceedings of the 20th International Scientific Conference „Transport Means*, 370-373.
- 17.B. Sokil, O. Lyashuk, M. Sokil, et.al(2018). Dynamic Effect of Cushion Part of Wheeled Vehicles on Their Steerability. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 15.1, 4880-4892.

- 18.Sekulić, D., Dedović, V., Rusov, S., Obradović, A., Šalinić, S. (2016). Definition and determination of the bus oscillatory comfort zones. *Int. J. Ind. Ergon.* 53, 328–339.
- 19.https://www.citylab.com/transportation/2020/05/commute-car-traffic-transit-bike-remote-work-coronavirus/611365/?fbclid=IwAR3Ykbyf9yWC9jJhI-5tMk49jecimXa7zsOy1TgBUpBVUM1ZSxeHjNpMS_I
- 20.Міністерство інфраструктури України URL: <http://www.mintrans.gov.ua>

REFERENCES

- 1.Pavlo Popovich. Doslidzhennya komfortu v gromads'komu transporti m. Ternopolya //Lyubomir Poberezhnij, Igor Murovanij, Oksana Shevchuk, Pavlo Prognij, Lyubov Poberezhna, Volodimir Plotitsya/ Suchasni tekhnologii v mashinobuduvanni ta transporti - 2020. - Tom 2 - No 15.- St. 88-98
- 2.Shevchuk, O.S. (2016). Porushennya pry`oblashtuvanni parkuval`ny`x miscz`transportny`x zasobiv na vuly`chno-dorozhnij merezhi mista. Suchasni tekhnologiyi v mashy`nobuduvanni ta transporti, 1, 167-171.
- 3.DBN B.2.2-12:2019 Planuvannya ta zabudova tery`torij: https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212_planuvannya.pdf
- 4.http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ_new1/2019/zb_chnn2019.pdf
- 5.https://businessforsmartcities.com/load/118/presentation/7_sergiy_nadal_6_852c9.pdf
- 6.<https://www.eway.in.ua/ua/cities/ternopil>
- 7.<http://bus.ck.ua/avtobus.html>
- 8.Shevchuk, O.S. (2016). Vplyv pokaznykiv efektyvnosti na bezpeku ruhu vulychno-dorozhnymy merezhamy. *Visnyk HNTUSG*, 169, 205–209.
- 9.Palma, A. d., Kilani, M., & Proost, S. (2014). Discomfort in mass transit and its implication for scheduling and pricing . *Transportation Research Part B* , 1-18.
- 10.Qin, F. (2014). Investigating the In-Vehicle Crowding Cost Functions for Public Transit Modes. *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering* , 1-13.
- 11.Şükrü İmre and Dilay Çelebi. (2017). Measuring Comfort in Public Transport: A case study for Istanbul. *Transportation Research Procedia*, 25, 2441–2449.
- 12.Popovych P, Lyashuk O, Shevchuk O, et al. (2017). Influence of organic operation environment on corrosion properties of metal structure materials of vehicles. *INMATEH – Agric Eng*,52(2), 113–118.
- 13.Lytvynenko, I.V., Maruschak, P.O., Lupenko, Popovych P.V. (2016). Modeling of the Ordered Surface Topography of Statically Deformed Aluminum Alloy. *Mater Sciense*, 52, 113-122.
- 14.Popovych, P., Shevchuk, O., Dzyura, V., Poberezhna, L., Dozorsky, V., Hrytsanchuk, A.(2018). Assessment of the Influence of Corrosive Aggressive Cargo Transportation on Vehicle Reliability. *International Journal of Engineering Research in Africa* 38, 17–25.
- 15.Maruschak, P., Poberezhny, L., Prentkovskis, O., Bishchak, R., Sorochak, A., & Baran, D. (2018). Physical and mechanical aspects of corrosion damage of distribution gas pipelines after long-term operation. *Journal of failure analysis and prevention*, 18(3), 562-567.
- 16.Yavorskyi, A. V., Karpash, M. O., Zhovtulia, L. Y., Poberezhny, L. Y., Maruschak, P. O., & Prentkovskis, O. (2016). Risk management of a safe operation of engineering structures in the oil and gas sector. In *Proceedings of the 20th International Scientific Conference „Transport Means*, 370-373.
- 17.B. Sokil, O. Lyashuk, M. Sokil, et.al(2018). Dynamic Effect of Cushion Part of Wheeled Vehicles on Their Steerability. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 15.1, 4880-4892.
- 18.Sekulić, D., Dedović, V., Rusov, S., Obradović, A., Šalinić, S. (2016). Definition and determination of the bus oscillatory comfort zones. *Int. J. Ind. Ergon.* 53, 328–339.
- 19.https://www.citylab.com/transportation/2020/05/commute-car-traffic-transit-bike-remote-work-coronavirus/611365/?fbclid=IwAR3Ykbyf9yWC9jJhI-5tMk49jecimXa7zsOy1TgBUpBVUM1ZSxeHjNpMS_I
- 20.Ministerstvo infrastruktury Ukrai'ny, official website, available at: www.mintrans.gov.ua

D.Popovych, A. Petrykiv, L. Chepesyuk, O. Shevchuk, N. Falovych, M. Maiak, N. Petrinuk. Research of comfort in public transport of Ternopil

Comfort is one of the most important factors shaping the demand for public transport, but convenience factors are often overlooked when designing a transport network and evaluating efficiency. In urban passenger transport, especially in medium-sized cities, the choice of passenger mode depends on many important indicators, in addition to the duration of the trip. In order to improve the understanding of quantitative and qualitative indicators when using public transport, the design of transport services should

correspond to the level of service expected by customers, which will ensure optimal capitalization of transport services. This study is the basis for public transport to formulate passenger transport policy in terms of maximum comfort of the population and develops a basis for measuring the most important factors of public transport convenience, minimum discomfort and maximum safety. Based on field research on the determinants of discomfort and weight, a quantitative indicator of the perception of comfort in the public transport network of Ternopil was determined, which can be used to predict the behavior of passengers when using public transport. It can be determined that the overall comfort of the public transport system of Ternopil depends on many factors, the most important of which is the density of passengers in cars during rush hour, although it is advisable to optimize the design of public transport network taking into account many comfort indicators. Personal cars are very important because owning and traveling with such vehicles is a traditional cultural and psychological value and status, and self-driving is a psychological advantage over public transport, so some groups stop choosing cars. The results of the study are the basis for understanding the attitude of passengers and the perception of the comfort of urban public transport and can be used as a tool for planning and operation of medium-sized urban transport networks.

Key words: passenger transportation, route, comfort, public transport, passenger transportation^ transport networks

ПОПОВИЧ Данило Павлович, студент групи ММ-209, Тернопільський національний медичний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: popovych_danpav@tdmu.edu.ua.

ПЕТРИКІВ Анастасія Романівна, студентка групи ММ-204, Тернопільський національний медичний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: petrykiv_anarom@tdmu.edu.ua

ЧЕПЕСЮК Леся Степанівна, студентка групи ММ-204, Тернопільський національний медичний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: chepesyuk_lesvik@tdmu.edu.ua

ШЕВЧУК Оксана Степанівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: oksana_shevchuk84@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8283-4620>

ФАЛОВИЧ Наталя Миколаївна, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: n.falovych@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1651-3022>

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

ПЕТРИНЮК Наталя Андріївна, аспірант кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: nshavyko0502@gmail.com

Danylo POPOVYCH, student of MM-209 group, Ternopil National Medical University, Ternopil, Ukraine, e-mail: popovych_danpav@tdmu.edu.ua.

Anastasia PETRYKIV, student of MM-204 group, Ternopil National Medical University, Ternopil, Ukraine, e-mail: petrykiv_anarom@tdmu.edu.ua.

Lesya CHEPESYUK, student of MM-204 group, Ternopil National Medical University, Ternopil, Ukraine, e-mail: chepesyuk_lesvik@tdmu.edu.ua.

Oksana SHEVCHUK, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Transport and Logistics, Western Ukrainian National University e-mail: oksana_shevchuk84@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8283-4620>

Nataliia FALOVYCH, PhD in Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Logistics, Western Ukrainian National University e-mail: n.falovych@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5784-0233>

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

Natalia PETRYNYUK, Postgraduate Student, Department of Transport and Logistics, Western Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: nshavyko0502@gmail.com

DOI 10.36910/automash.v2i17.641

**РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНУ ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ МОДЕЛЕЙ
ТРОЛЕЙБУСІВ НА МАРШРУТАХ МІСЬКОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ**

Робота присвячена розробці оптимізаційної моделі ефективного використання наявних у підприємств електротранспорту марок тролейбусів на маршрутній мережі міста за електронними таблицями (на прикладі парку тролейбусів у м. Луцьку).

Завдання підвищення ефективності роботи міського пасажирського транспорту може бути вирішене або за рахунок оновлення транспортних засобів, або за рахунок підвищення ефективності роботи наявного рухомого складу. Але, щоб знизити витрати підприємств на виконання транспортної роботи, необхідно удосконалити підходи до її планування, і, як наслідок цього, забезпечити зниження собівартості перевезень і поліпшення якості обслуговування.

Для забезпечення найбільш ефективного транспортного обслуговування населення із пасажирських перевезень, організації дорожнього руху, необхідно, щоб транспортна система найбільш оптимально відповідала потребам міста. Існує два шляхи підвищення такої ефективності: або збільшення пропускної спроможності міської транспортної мережі, або раціональне використання існуючої мережі та наявного рухомого складу для перевезення пасажирів.

Перше рішення пов'язане із великими матеріальними витратами на реконструкцію транспортних вузлів і магістралей. Другий напрям - раціоналізація використання існуючих транспортних систем і оптимізація процесів перерозподілу навантажень як на транспортну мережу, так і на різні типи транспортних засобів, що здійснюють пасажирські перевезення.

У зв'язку із цим, в даній публікації, виконана спроба обійти протиріччя між теоретичними моделями і реальними можливостями транспортного підприємства щодо ефективного використання наявного парку тролейбусів на маршрутах міста та швидкого динамічного перерахунку оптимальних рішень. Актуальність роботи полягає у розробці простих і ефективних методів оптимізації роботи наявного рухомого складу тролейбусів для перевезення пасажирів на міських маршрутах.

Для створення моделі оптимізації, проаналізовані маршрути міської транспортної мережі Луцька та здійснено аналіз наявного парку транспортних засобів ЛПЕ, його функціональних та технологічних можливостей для забезпечення транспортного попиту населення.

Запропоновано постановку задачі мінімізації цільової функції витрат для оптимального плану розподілу тролейбусів по маршрутах. Побудована модель та розроблені алгоритми її впровадження в електронні таблиці.

Розроблені алгоритми та програмна реалізація внесення обмежень відносного порядку при використанні різних моделей тролейбусів на маршрутах. Це забезпечило у процесі моделювання розрахунок цілої низки можливих планів перевезень. Такі плани у роботі запропоновано називати раціональними планами, тобто локально оптимальними за даних обмежень.

Ключові слова: оптимізаційна модель, транспортна мережа міста, парк електротранспорту, транспортний попит населення, обмеження відносного порядку.

ВСТУП

За роки реформ транспортної системи України, у міських пасажирських перевезеннях сталися значні зміни. І хоча на сьогодні доля міського громадського пасажирського транспорту складає практично 70% усіх пасажирських перевезень, оновлення парку транспортних засобів іде ще надто повільно, особливо це видно по «соціальному» їх виду – яким є тролейбуси. В Україні для міських пасажирських перевезень нині використовуються тролейбуси, більше половини яких суттєво зношені, а практично 40% із них вимагає списання. Тому, проблема перевезення пасажирів у середніх, за кількістю населення, містах істотно загострюється [12].

Завдання підвищення ефективності роботи міського пасажирського транспорту в принципі може бути вирішене як за рахунок оновлення транспорту, так і за рахунок підвищення ефективності роботи наявного рухомого складу. Але, щоб понизити витрати підприємств на виконання транспортної роботи, необхідно удосконалити підходи до її планування, і, як наслідок цього, забезпечити зниження собівартості перевезень і поліпшення якості обслуговування.

Для того, щоб понизити витрати на перевезення пасажирів і добитися мінімізації бюджетних витрат при забезпеченні нормативної якості, необхідно розробити систему дій із поліпшення умов роботи усіх учасників перевізного процесу [1, 9]. У середніх містах, та і не тільки, маршрутні схеми склалися історично, у міру росту міст і вимог населення. Це поступово обумовлює збільшення витрат на перевезення пасажирів, при умові забезпечення перевізниками відповідної доступності

маршрутних схем. Та і самі пасажирів, із-за недосконалості маршрутної мережі, мають збільшений час очікування на зупинках.

Середнє місто України - це місто із числом жителів 150-300 тис., із обмеженим числом видів транспорту, місто, у якому переважна більшість поїздок виконуються без пересадок.

Для забезпечення найбільш ефективного транспортного обслуговування населення із пасажирських перевезень, організації дорожнього руху, необхідно, щоб транспортна система найбільш оптимально відповідала потребам міста. Існує два шляхи збільшення такої ефективності: або збільшення пропускної спроможності міської транспортної мережі, або раціональне використання існуючої мережі та наявного рухомого складу для перевезення пасажирів.

Перше рішення пов'язане із великими матеріальними витратами на реконструкцію транспортних вузлів і магістралей. Другий напрям - раціоналізація використання існуючих транспортних систем і оптимізація процесів перерозподілу навантажень як на транспортну мережу, так і на різні типи транспортних засобів, що здійснюють пасажирські перевезення.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Будь-яка математична модель, у тому числі і функціонування транспортної системи міських пасажирських перевезень, ґрунтується на великому багатоконпонентному об'ємі початкових даних, отримання яких пов'язане, як зі значними труднощами їх фіксації, так і з ситуацією у місті, що швидко змінюється, а від так робить подібні дані неактуальними і застарілими. Саме це і є основною проблемою для створення транспортних моделей великих та середніх міст [11,15].

Фактичну відсутність надійної системи координат, відповідних аналітичних показників для оцінки якості ефективності функціонування існуючих транспортних систем міст можна пояснити, в першу чергу, відсутністю сучасних і простих інструментів оцінки можливостей для оптимізації роботи транспортного підприємства.

На відміну від завдань організації дорожнього руху, де використовуються, в основному, імітаційні моделі руху транспорту, в транспортному плануванні підприємствами використовуються прогнозні моделі. У цих моделях базовими параметрами є: швидкість транспортних потоків, інтенсивність транспортних потоків, інтенсивність пасажиропотоків [13].

Відома значна кількість робіт [2, 3, 6, 8, 15, 16], присвячених оптимізації маршрутів як міських тролейбусів, так і транспорту в цілому. В той же час, як показує досвід, призначення маршрутів не може спиратися тільки на емпіричні розрахунки, доводиться враховувати традиції, звички, екологічні і інші чинники. Тому в реальному житті, впровадження оптимальної маршрутної схеми відбувається досить повільно.

У зв'язку із цим, у даній роботі, виконана спроба обійти протиріччя між теоретичними моделями і реальними можливостями транспортного підприємства щодо ефективного використання наявного парку тролейбусів на маршрутах міста та швидкого динамічного перерахунку оптимальних рішень. Актуальність роботи полягає у розробці простих і ефективних методів оптимізації роботи наявного рухомого складу тролейбусів для перевезення пасажирів на міських маршрутах. Така постановка обумовлена наступними проблемами:

- тролейбусні мережі, що історично склалися, в містах не забезпечують оптимальні витрати для підприємств електротранспорту засобів і часу на перевезення пасажирів;
- неоптимальна транспортна мережа вимагає від пасажирів зайвих витрат часу на поїздки і збільшує число пересадок;
- низький рівень життя населення не дозволяє встановлювати такий тариф, який забезпечує придбання і оновлення рухомого парку транспортними пасажирськими підприємствами;
- муніципальні бюджети не мають можливостей повною мірою компенсувати пасажирським підприємствам витрати за перевезення пасажирів.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даної роботи є розробка оптимізаційної моделі ефективного використання наявних у підприємств електротранспорту марок тролейбусів на маршрутній мережі міста за електронними таблицями (на прикладі парку тролейбусів у м. Луцьку).

Для досягнення цієї мети нами поставлені наступні завдання:

1. Дослідити та проаналізувати характеристики основних тролейбусних маршрутів, які функціонують у місті Луцьку.
2. Проаналізувати технічні характеристики, наявних у м. Луцьку, моделей тролейбусів, що забезпечують процес перевезення пасажирів.

3. Запропонувати методику формування вихідних даних для створення математичної моделі оптимізації.

4. Розробити та реалізувати постановку задачі мінімізації цільової функції витрат для оптимального плану розподілу тролейбусів на маршрутах, побудувати модель та розробити алгоритми її впровадження за допомогою електронних таблиць.

5. Розробити підходи та програмну реалізацію внесення обмежень відносного порядку для використання різних моделей тролейбусів на маршрутах.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Транспортна прогнозна модель, як правило, є складним програмним комплексом, що складається з інформаційних і розрахункових блоків. Інформаційні блоки реалізують базу даних зберігання і обробки інформації, необхідної для прогнозу транспортних потоків. Розрахункові блоки представляють алгоритми рішення завдань математичного програмування, орієнтованих на прогноз потреби в переміщеннях людських потоків і розрахунок потоків транспортних одиниць, що реалізують її [3].

Очевидно, що збір початкових даних є найбільш трудомістким і тривалим за часом етапом при побудові транспортних моделей [4, 5]. У свою чергу, алгоритмізація побудови транспортних моделей вирішує задачу визначення міри відповідності існуючого транспортного попиту наявній транспортній пропозиції. Таким чином, базову частину моделі, що включає наповнення її початковими даними можна розділити на два етапи:

1 етап. Створення транспортної пропозиції і розрахунок параметрів транспортного попиту.

2 етап. Аналіз наявного парку транспортних засобів, його функціональних та технологічних можливостей для забезпечення транспортного попиту, а на основі цих даних - створення простих і зрозумілих моделей оптимізації плану перевезень.

Розглянемо такий підхід до оптимізації ефективності роботи різних моделей тролейбусів на Луцькому підприємстві електротранспорту.

Розрахунок будь-якого оптимального плану перевезень можливий за умови, якщо вибрано критерій оптимізації. У якості такого критерію можна прийняти один із показників ефективності роботи підприємства.

Для планування і корекції використання різних типів наявних тролейбусів на кожному окремому маршруті, показником ефективності може служити показник сумарних витрат на електроенергію, необхідних для забезпечення процесу перевезення пасажирів. Зрозуміло, що цей показник має бути якомога меншим. У якості критерія ефективності можуть виступати і інші базові показники роботи підприємства.

Розглянемо типову ситуацію, при якій потрібне оптимальне планування і ухвалення ефективного рішення, використовуючи два базових параметра: характеристики основних тролейбусних маршрутів, які функціонують у місті Луцьку і технічні характеристики існуючих моделей тролейбусів, що забезпечують процес перевезення пасажирів.

Крім того, на основі фінансових звітів підприємства Луцького електротранспорту 2020 року та нормативних методик розрахунку витрат електроенергії на перевезення пасажирів, для формування вихідних даних оптимізаційної моделі були використані наступні показники:

- згідно із нормативними документами Міністерства палива та енергетики України ціна за один кіловат електроенергії у 2020 році для підприємств електротранспорту становила біля 4 грн. за квт/год. Звідси ціну B_2 однієї години роботи тролейбуса при умові, що його двигун працює постійно на максимальній потужності будемо визначати із виразу: $B_2 = N \times C$, де N - потужність електродвигуна; C - ціна 1-го кВт електроенергії.

- $M_2 = \frac{B_2}{V_e}$, де V_e - експлуатаційна швидкість тролейбуса (20-25км/год); M_2 - ціна одного кілометра пробігу тролейбуса, за умови, що електродвигун працює на максимальній потужності.

- $B_2^1 = 0.65 \times B_2$, припущення, що тролейбус під час руху (в середньому) використовує свою максимальну потужність на 60 - 70%, де B_2^1 - наближена реальна ціна однієї години роботи тролейбуса.

- $M_2^1 = \frac{0.83 \times B_2^1}{V_e}$, де M_2^1 - наближена реальна ціна одного кілометра пробігу тролейбуса із

врахуванням, що посадка-висадка пасажирів займає у тролейбуса близько 1/6 загального часу його роботи.

Слід зазначити, що ряд показників та характеристик були вибрані нами гіпотетично, враховуючи те, що транспортні перевезення на сьогодні здійснюються в умовах пандемії. На умови перевезення це постійно накладає додаткові обмеження, які змінюються у часі. Наприклад, умова перевозити тільки сидячих пасажирів, пізніше - дозвіл про перевезення стоячих із певною дистанцією. Нами, при аналізі пасажиропотоків, було вибрано, що максимальна місткість пасажирів у тролейбусі наближено коливається в межах: сидячі пасажирів плюс 50% від їх кількості можуть із потрібною дистанцією пересуватися стоячи.

Однак, для перевірки адекватності роботи математичної моделі це не є суттєвим фактором. Нам потрібні визначити тенденції, тренд оптимального використання наявних моделей тролейбусів ЛПЕ на маршрутах м. Луцька.

Відповідно до цього, початкові дані для побудови математичної моделі оптимізації зведені у таблицях 1 і 2.

Таблиця 1

N	Марка тролейбуса	Місткість (сидіння)	Потужність (кВт)	Витрати на електроенергію за год роботи (грн)	Вартість електроенергії на 1 км пробігу (грн)
Тип 1	Mercedes-Benz O405NE	40+20	149	417.2	17.37
Тип 2	Богдан-T501.10	22+12	140	392	16.33
Тип 3	Богдан-E231	41+20	175	490	20.4
Тип 4	Jelcz PR110E	46+24	136	380.8	15.9
Тип 5	Jelcz M121E	31+15	109	305.2	12.7
Тип 6	Jelcz 120MT/MTE	34+16	110	308	13

Із наведених вище даних у таблицях видно, що у загальному випадку задачу оптимізації можна поставити наступним чином: на підприємстві електротранспорту для перевезення пасажирів по « n » маршрутах може бути використано « m » типів тролейбусів. Місткість тролейбуса i -го типу рівна « T_i » людини, кількість пасажирів, що перевозяться по j -у маршруту за добу, складає « V_j » людини. Витрати на електроенергію, пов'язані з використанням тролейбуса i -го типу на j -му маршруті, складають « S_{ij} ». Слід визначити, скільки рейсів x_{ij} необхідно виконати тролейбусами типу « i » на кожному із маршрутів « j », щоб повністю забезпечити потреби у перевезеннях.

Таблиця 2

N п/п	1	2	3	4	5	6	7
N маршруту	1	2	3	4	5	12	15

Назва маршруту	ЛПЗ-КРЗ	ЛПЗ-КРЗ	Гар.-Лісн.	ЖДВ-Вересневе	КРЗ-Цег. завод	КРЗ-Володи мирська	ЦУМ-к.Луцьк
Довжина L (км) маршруту	15.35	13.25	14.51	11.95	11.2	12.18	11.05
Середня кількість пасажирів, що перевозяться за добу	3000	3100	730	2900	1700	1500	5200
Витрати на електроенергію на за один рейс на маршруті							
-Тип 1	266.3	203.4	252.0	207.6	194.5	211.6	191.9
-Тип 2	250.7	216.4	236.9	195.1	182.9	198.9	180.4
-Тип 3	313.1	270.3	296.0	243.8	248.5	228.5	225.4
-Тип 4	244.1	210.7	230.7	190.0	178.1	193.7	175.7
-Тип 5	194.9	168.3	184.3	151.8	142.2	154.7	140.3
-Тип 6	199.6	172.3	188.6	155.4	145.6	158.3	143.7

З точки зору керівництва підприємства існує гіпотеза, що найсправедливішим буде план, розроблений за принципом рівного розподілу рейсів на кожному маршруті, при якому $x_{11} = x_{21}, \dots, x_{14} = x_{24}, \dots, x_{17} = x_{27}$. Проте цей план буде заздалегідь надмірно витратним. В оптимізаційній задачі, виходячи із наявної інформації у фінансових звітах, можна наближено визначити витрати підприємства на електроенергію для роботи всіх маршрутів. По первинному плану, він складає - $F_1 = 65\ 000$ грн. З цими витратами ми і будемо порівняти витрати F , розраховані за допомогою побудованої математичної моделі.

Завдання оптимізації роботи 6 марок тролейбусів на 7 маршрутах м. Луцька є завданням лінійного програмування із сорока двома змінними ($x_{11}, x_{12}, x_{13}, \dots, x_{67}$), яка має $m = 7$ рівнянь-обмежень, тобто число невідомих більше числа рівнянь-обмежень:

$$\begin{cases} T_1 \cdot x_{11} + T_2 \cdot x_{21} + T_3 \cdot x_{31} + T_4 \cdot x_{41} + T_5 \cdot x_{51} + T_6 \cdot x_{61} = V_1 \\ T_1 \cdot x_{12} + T_2 \cdot x_{22} + T_3 \cdot x_{32} + T_4 \cdot x_{42} + T_5 \cdot x_{52} + T_6 \cdot x_{62} = V_2 \\ T_1 \cdot x_{13} + T_2 \cdot x_{23} + T_3 \cdot x_{33} + T_4 \cdot x_{43} + T_5 \cdot x_{53} + T_6 \cdot x_{63} = V_3 \\ T_1 \cdot x_{14} + T_2 \cdot x_{24} + T_3 \cdot x_{34} + T_4 \cdot x_{44} + T_5 \cdot x_{54} + T_6 \cdot x_{64} = V_4 \\ T_1 \cdot x_{15} + T_2 \cdot x_{25} + T_3 \cdot x_{35} + T_4 \cdot x_{45} + T_5 \cdot x_{55} + T_6 \cdot x_{65} = V_5 \\ T_1 \cdot x_{16} + T_2 \cdot x_{26} + T_3 \cdot x_{36} + T_4 \cdot x_{46} + T_5 \cdot x_{56} + T_6 \cdot x_{66} = V_6 \\ T_1 \cdot x_{17} + T_2 \cdot x_{27} + T_3 \cdot x_{37} + T_4 \cdot x_{47} + T_5 \cdot x_{57} + T_6 \cdot x_{67} = V_7 \end{cases}$$

Крім того, невідомі змінні є додатними: $x_{ij} \geq 0$.

Необхідно знайти оптимальне рішення задачі лінійного програмування, що обертає у мінімум лінійну функцію 42 невідомих:

$$F(x) = (S_{11} \cdot x_{11} + S_{21} \cdot x_{21} + S_{31} \cdot x_{31} + S_{41} \cdot x_{41} + S_{51} \cdot x_{51} + S_{61} \cdot x_{61}) + (S_{12} \cdot x_{12} + S_{22} \cdot x_{22} + S_{32} \cdot x_{32} + S_{42} \cdot x_{42} + S_{52} \cdot x_{52} + S_{62} \cdot x_{62}) + \dots \quad (1)$$

$$(S_{17} \cdot x_{17} + S_{27} \cdot x_{27} + S_{37} \cdot x_{37} + S_{47} \cdot x_{47} + S_{57} \cdot x_{57} + S_{67} \cdot x_{67}) \rightarrow \min$$

В ході рішення задачі мінімізації цільової функції (1), отримаємо параметри оптимального

плану розподілу тролейбусів по маршрутах x_{ij} , тобто число рейсів тролейбусів кожної марки, запланованих для кожного маршруту. Це рішення і буде тим єдиним варіантом, який забезпечить найменші витрати F . Проте, цей оптимальний план, розрахований за допомогою методів математичного моделювання, теж може мати свої недоліки [10, 17].

У якості конкретного прикладу для знаходження оптимального варіанту розподілу тролейбусів по маршрутах зробимо розрахунки для шести типів тролейбусів, що розподіляються по семи маршрутах при початкових даних (таблиці 1 і 2):

Для використання початкових даних при розрахунках, їх необхідно ввести в комірки електронної таблиці. На рис. 1 показано варіант розміщення вихідних даних.

Вихідні дані:

Витрати на електроенергію при роботі / типу тролейбуса на / маршруті:

Маршрути	1	2	3	4	5	12	15
Тип 1	60	266,3	203,4	252	207,6	194,5	211,6
Тип 2	34	250,7	216,4	236,9	195,1	182,9	198,9
Тип 3	61	313,1	270,3	296	243,8	228,5	248,5
Тип 4	70	244,1	210,7	230,7	190	178,1	193,7
Тип 5	46	194,9	168,3	184,3	151,8	142,2	154,7
Тип 6	50	199,6	172,3	188,6	155,4	145,6	158,3
Потреби	3000	3100	730	2900	1700	1500	5200

Початкові значення (до оптимізації)

Результати (після пошуку рішення)

Число рейсів тролейбусів типу / на маршруті j:

Маршрути:	1	2	3	4	5	12	15
Всього	1	2	3	4	5	12	15

Рисунок 1

Вихідні дані розміщені в області із комірок A3:I15, числові значення яких занесені у таблицю 3.

Таблиця 3

Позначення	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
Задані значення	60	34	61	70	46	50	3000	3100	730	2900	1700	1500	5200
Адреси комірок	B8	B9	B10	B11	B12	B13	C15	D15	E15	F15	G15	H15	I15

Позначення	S_{11}	S_{21}	S_{31}	S_{41}	S_{51}	S_{61}	S_{12}	S_{22}	S_{32}	S_{42}	S_{52}	S_{62}
Задані значення	266.3	250.7	313.1	244.1	194.9	199.6	203.4	216.4	270.3	210.7	168.3	172.3
Адреси комірок	C8	C9	C10	C11	C12	C13	D8	D9	D10	D11	D12	D13

Позначення	S_{13}	S_{23}	S_{33}	S_{43}	S_{53}	S_{63}	S_{14}	S_{24}	S_{34}	S_{44}	S_{54}	S_{64}
Задані значення	252.0	236.9	296.0	230.7	184.3	188.6	207.6	195.1	243.8	190.0	151.8	155.4
Адреси комірок	E8	E9	E10	E11	E12	E13	F8	F9	F10	F11	F12	F13

Позначення	S_{15}	S_{25}	S_{35}	S_{45}	S_{55}	S_{65}	S_{16}	S_{26}	S_{36}	S_{46}	S_{56}	S_{66}
Задані значення	194.5	182.9	228.5	178.1	142.2	145.6	211.6	198.9	248.5	193.7	154.7	158.3
Адреси комірок	G8	G9	G10	G11	G12	G13	H8	H9	H10	H11	H12	H13

Позначення	S_{17}	S_{27}	S_{37}	S_{47}	S_{57}	S_{67}
Задані значення	191.9	180.4	225.4	175.7	140.3	143.7
Адреси комірок	I8	I9	I10	I11	I12	I13

При рішенні таких завдань оптимізації використовується надбудова «Пошук рішення» пакету Excel. При цьому розроблена математична модель, в електронній таблиці, розташовується у двох місцях: в елементах самої електронної таблиці і у спеціальному діалоговому вікні надбудови «Пошук рішення».

20	Початкові значення (до оптимізації)								
21	Результати (після пошуку рішення)								
22									
23	Число рейсів тролейбусів типу / на маршруті j:								
24									
25	Маршрути:								
26	Всього	1	2	3	4	5	12	15	
27									
28	Тип 1	0	0	0	0	0	0	0	0
29	Тип 2	0	0	0	0	0	0	0	0
30	Тип 3	0	0	0	0	0	0	0	0
31	Тип 4	0	0	0	0	0	0	0	0
32	Тип 5	0	0	0	0	0	0	0	0
33	Тип 6	0	0	0	0	0	0	0	0
34									
35	Цільова функція:								
36									
37		0	0	0	0	0	0	0	0
38									
39									
40	Інші результати:								
41	Буде перевезено пасажирів:								
42	Тип 1	0	0	0	0	0	0	0	0
43	Тип 2	0	0	0	0	0	0	0	0
44	Тип 3	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 2

В елементах самої електронної таблиці необхідно відвести спеціальну область змінюваних комірок, для виразів, з яких складається цільова функція та для виразів лівої частини рівнянь-обмежень (рис. 2).

Змінювані комірки, що розташовані в самій електронній таблиці, у вихідному положенні міститимуть початкові значення невідомих $\{x_{ij}\}$, наприклад, нульові. У ході рішення задачі оптимізації вміст цих комірок змінюватиметься, наближаючись при кожному кроці до тих значень, при яких цільова функція матиме мінімальне значення. Перше наближення наведено на рис. 3.

З рисунка видно, що для невідомих $\{x_{ij}\}$ відведені змінювані комірки C28:I33.

Технологія оптимізації полягає у наступному. Вводимо початкові дані (рис. 1). Виконуємо команду <Пошук рішення> у меню <Сервіс>. Відкриється діалогове вікно «Параметри пошуку рішення». Діалогове вікно, призначене для введення другої частини математичної моделі, показано на рис. 3.

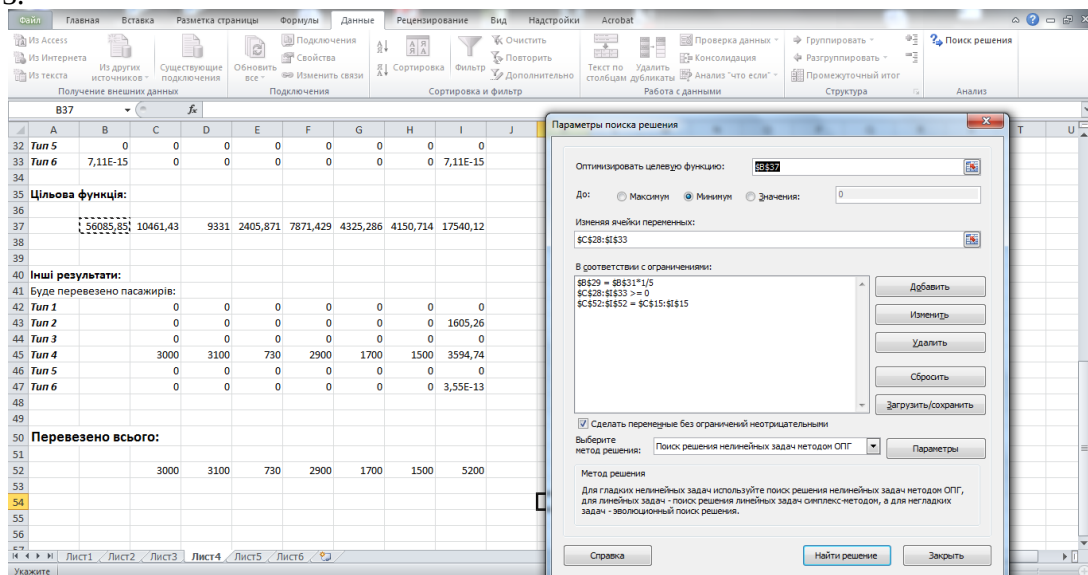


Рисунок 3

В результаті рішення задачі моделювання за допомогою пакету Excel отримано шукане оптимальне рішення. З огляду на те, що число рейсів має бути цілим числом, необхідно округлити змінні x_{ij} , як наслідок, в моделі з'явиться незначна розбіжність у результатах розрахунків.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Оптимальний план, який був отриманий в результаті математичного моделювання (рис. 3) за допомогою електронної таблиці, не завжди може бути запроваджений на практиці. Наприклад,

керівництво підприємства може не влаштувати те, що згідно оптимального плану для певного числа моделей тролейбусів не буде плануватися жодного рейсу. При цьому, загальні витрати на електроенергію складатимуть $F = 51597$. І якщо порівнювати оптимальний план із первинним, при якому загальні витрати $F_1 = 65\ 000$ грн., то розрахунки показують, що оптимальний план дешевший на **13403 грн.**, тобто - на 21%.

В практичній роботі рекомендується розраховувати декілька планів із урахуванням особливостей подібного роду. Наприклад, кількість рейсів тролейбусів певного типу можна обмежити деякою величиною. Це цілком зрозуміло, адже не завжди на підприємстві може бути наявною потрібна кількість тролейбусів даної моделі.

Проте більш практичним є внесення обмежень відносного порядку. Для цього використовується певний коефіцієнт « k ». Загальні витрати « F » розраховуються при різних співвідношеннях сумарного числа рейсів тролейбусів всіх шести типів. Якщо додати таке обмеження, то у процесі моделювання можна розрахувати цілий ряд планів перевезень. На відміну від оптимального - такі плани ми будемо називати раціональними планами, тобто локально оптимальними за даних обмежень.

Для прикладу покажемо розрахунок шести різних раціональних планів, де в процесі перевезення на маршрутах міста приймають участь 2, 3, 4, 5, 6 моделей тролейбусів з різними коефіцієнтами завантаженості.

Для унаочнення результатів побудуємо діаграму залежності витрат підприємства на електроенергію від кількості моделей тролейбусів на маршрутах (рис. 4).

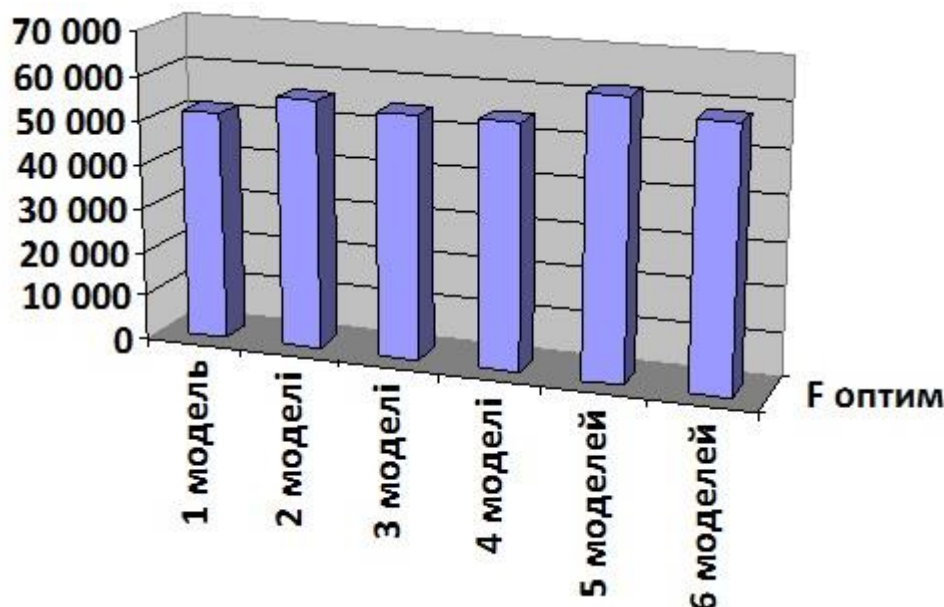


Рисунок 4

Маючи декілька планів, що наочно відрізняються один від одного розрахованими витратами на перевезення, ухвалення рішення для підприємства стає переконливішим. Самим витратним виявився первинний план ($F_1 = 65000$ грн.). Самим економічним - оптимальний ($F = 51597$ грн.). Проте, згідно із оптимальним планом, крім моделі «Jelcz PR110E», всім іншим моделям тролейбусів повинно бути заплановано нуль рейсів. Другий раціональний план ($F = 54653$ грн.) обійдеться на 3056 грн. дорожче за оптимальний, але при цьому - для 1 моделі тролейбуса буде заплановано 58 рейсів на 1 і 15 маршрутах, а для 6 моделі – 87 рейсів на 15, 15а маршруті. Змінюючи обмеження, що впливають на ухвалення рішення, можна ефективно і просто оптимізувати роботу різних наявних моделей тролейбусів на маршрутах м. Луцька.

ВИСНОВКИ

У роботі розроблено оптимізаційну модель ефективного використання наявних у підприємств електротранспорту марок тролейбусів на маршрутній мережі міста за електронними таблицями (на прикладі парку тролейбусів у м. Луцьку).

Проаналізовані маршрути міської транспортної мережі та здійснено аналіз наявного парку транспортних засобів ЛПЕ, його функціональних та технологічних можливостей для забезпечення

транспортного попиту населення. Це дало можливість створення простої і зрозумілої моделі оптимізації плану перевезень.

Запропоновано постановку задачі мінімізації цільової функції витрат для оптимального плану розподілу тролейбусів по маршрутах, побудована модель та розроблені алгоритми її реалізації через електронні таблиці. Це дозволить підприємству швидко, якісно і просто реагувати на будь-які ситуативні проблеми при ухваленні рішень по перевезенню пасажирів.

Розроблені алгоритми та програмна реалізація внесення обмежень відносного порядку на використання різних моделей тролейбусів на маршрутах. Це забезпечить у процесі моделювання розрахувати цілий ряд планів перевезень. Такі плани у роботі запропоновано називати раціональними планами, тобто локально оптимальними за даних обмежень.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1.Аксенов І.М., Яновський П.О. Організація пасажирських приміських перевезень: Навчальний посібник. – К.: КУЕТТ, 2002. – 67с.
- 2.Антошвили М. Е., Либман С. Ю., Спирин И. В. Оптимизация городских автобусных перевозок. – М.: Транспорт, 1985. 258с.
- 3.Артынов А.П., Скалецкий В.В. Автоматизация процессов планирования и управления транспортными системами. М.: Транспорт, 1981. -208 с.
- 4.Беллман Р., Калаба Р. Динамическое программирование и современная теория управления. М.: Наука, 1969. - 118 с.
- 5.Васильев Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач. -М.: Наука, 1980.-520 с.
- 6.Вареллопуло Г.А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте: - М.: Транспорт, 1990. – 208с.
- 7.Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. - М.: Сов. радио, 1972.
- 8.Геронимус Б.Л., Житков В.А., Розе В.А. Математические методы в принятии решений на транспорте: эволюция методологии. // т. XX вып.2. М.: Экономика и мат. Методы, 1984. - с. 223-231.
- 9.Котиков Ю.Г. Основы теории транспортных систем. СПб.: СПбГАСУ, 2000.-216 с.
10. Леонтьев В.А. Реализация математических моделей на ЭВМ. Статистические и оптимизационные проблемы. М.: Энергия, 1981. - 176 с.
11. Лившиц Д.М. Оптимизация планирования и управления транспортными системами. М.: Транспорт, 1987. - 224 с.
12. Монографія / Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут; За заг. ред. А.М. Редзюка. – К.: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2005. – 400с.
13. Овечников Е.В., Фишельсон М.С. Городской транспорт: Учебник для вузов. - М.: Высшая школа, 1976. - 352 с.
14. Петухов О.А. Моделирование: системное, имитационное, аналитическое: учеб. пособие / О.А. Петухов, А.В. Морозов, Е.О. Петухова. – 2-е изд., испр. и доп. – Изд-во СЗТУ, 2008. – 288с.
15. Пустюльга С.І., Придюк В.М., Головачук І.П. Метод фрактальної оцінки показника накладання маршрутних схем для оптимізації міських пасажирських перевезень. / Науковий журнал «Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті». – Луцьк: Луцький НТУ, 2020. - Вип. 1(14). - с. 124-135.
16. Пустюльга С.І., Самчук В.П., Придюк В.М., Самостян В.Р. Дискретне (піксельне) представлення транспортної мережі міста для топологічної ідентифікації та фрактального аналізу її геометричних складових. / Науковий журнал «Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті». – Луцьк, 2021. – Вип. 1 (16). с. 137-149.
17. Пустюльга С.І., Пуць В.С., Клак Ю.В. Багатокритеріальна оптимізація розкрою плит ЛДСП для індивідуального меблевого виробництва / Науковий журнал «Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті». – Луцьк: Луцький НТУ, 2020. - Вип. 2(15). - с. 106-117.

REFERENCES

1. Aksenov I.M., Yanovskij P.O. Organizaciya pasazhirskih primis'kih perevezen: Navchalnij posibnik. – K.: KUETT, 2002. – 67s.
2. Antoshvili M. E., Liberman S. YU., Spirin I. V. Optimizaciya gorodskih avtobusnyh perevozok. – M.: Transport, 1985. 258s.
3. Artynov A.P., Skaleckij V.V. Avtomatizaciya processov planirovaniya i upravleniya transportnymi sistemami. M.: Transport, 1981. -208 s.

4. Bellman R., Kalaba R. *Dinamicheskoe programmirovaniye i sovremennaya teoriya upravleniya*. M.: Nauka, 1969. - 118 s.
5. Vasilev F.P. *Chislennyye metody resheniya ekstremal'nykh zadach*. -M.: Nauka, 1980.-520 s.
6. Varellopulo G.A. *Organizatsiya dvizheniya i perevozok na gorodskom passazhirskom transporte*: - M.: Transport, 1990. – 208s.
7. Ventcel E.S. *Issledovaniye operatsiy* / E.S. Ventcel. - M.: Sov. radio, 1972.
8. Geronimus B.L., Zhitkov V.A., Roze V.A. *Matematicheskie metody v prinyatii reshenij na transporte: evolyutsiya metodologii*. // t. XX vyp.2. M.: Ekonomika i mat. Metody, 1984. - s. 223-231.
9. Kotikov U.G. *Osnovy teorii transportnykh sistem*. SPb.: SPbGASU, 2000.-216 s.
10. Leontev V.A. *Realizatsiya matematicheskikh modelej na EVM. Statisticheskie i optimizatsionnye problemy*. M.: Energiya, 1981. - 176 s.
11. Livshic D.M. *Optimizatsiya planirovaniya i upravleniya transportnymi sistemami*. M.: Transport, 1987. - 224 s.
12. *Monografiya / Derzhavnij avtotransportnij naukovy-doslidnij i proektnij institut; Za zag. red. A.M. Redzyuka*. – K.: DP «DerzhavtotransNDIproekt», 2005. – 400s.
13. Ovechnikov E.V., Fishelson M.S. *Gorodskoj transport: Uchebnik dlya vuzov*. - M.: Vysshaya shkola, 1976 .- 352 s.
14. Petuhov O.A. *Modelirovaniye: sistemnoye, imitatsionnoye, analiticheskoye: ucheb. posobie* / O.A. Petuhov, A.V. Morozov, E.O. Petuhova. – 2-e izd., ispr. i dop. – Izd-vo SZTU, 2008. – 288s.
15. Pustyl'ga S.I., Prydyuk V.M., Golovachuk I.P. *Metod fraktalnoi ocinki pokaznika nakladannyya marshrutnykh skhem dlya optimizatsii miskikh pasazhirskikh perevezen.* / Naukovij zhurnal «Suchasni tekhnologii v mashinobuduvanni ta transporti». – Luck: Luckij NTU, 2020.. - Vip. 1(14). - S. 124-135.
16. Pustyl'ga S.I., Samchuk V.P., Prydyuk V.M., Samostyan V.R. *Diskretne (pikselne) predstavleniya transportnoi mrezi mista dlya topologichnoi identifikatsii ta fraktalnogo analizu geometrichnykh skladovih* // Naukovij zhurnal «Suchasni tekhnologii v mashinobuduvanni ta transporti». – Luck, 2021. – Vip. 1 (16). s. 137-149.
17. Pustyl'ga S.I., Puc V.S., Klak U.V. *Bagatokriterialna optimizatsiya rozkroyu plit LDSP dlya individualnogo meblevogo virobnictva* / Naukovij zhurnal «Suchasni tekhnologii v mashinobuduvanni ta transporti». – Luck: Luckij NTU, 2020.. - Vip. 2(15). - S. 106-117.

S. Pustyl'ga, V. Prydyuk, V. Samostyan, V. Samchuk A calculation of optimal plan of the use of different models of trolleybuses is on routes of a municipal transport network.

Work is sanctified to development of optimization model of the effective use of present at the enterprises of electric transport brands of trolleybuses on the rout network of city after spreadsheets (on the example of park of trolleybuses in Lutsk).

The task of increase to efficiency of work of public passenger transport can be decided or due to updating of transport vehicles, or due to the increase of efficiency of work of present rolling stock. But, to bring down the charges of enterprises on implementation of a transport work, it is necessary to perfect going near her planning, and, as a result of it, to provide the decline of prime price of transportations and improvement of quality of service.

For providing of the most effective transport maintenance of population from passenger transportations, organization of travelling motion, it is necessary, that a transport system answered the necessities of city most optimally. There are two ways of increase of such efficiency: or increase of carrying capacity of a municipal transport network, or rational use of existent network and present rolling stock for carrying passengers.

The first decision entails large material expenses on the reconstruction of transport knots and highways. The second direction is rationalization of the use of existent transport systems and optimization of processes of redistribution of loading both on a transport network and on the different types of transport vehicles that carry out passenger transportations.

In this publication, executed attempt to go round contradiction between theoretical models and real possibilities of a transport enterprise in relation to the effective use of present park of trolleybuses on the routes of city and rapid dynamic count of optimal decisions. Actuality of work consists in development of simple and effective methods of optimization of work of present rolling stock of trolleybuses for carrying passengers on municipal routes.

For creation of model of optimization, analysed routes of a municipal transport network of Lutsk and the analysis of present park of transport vehicles of LPE is carried out, him functional and technological possibilities for providing of a transport demand of population.

Raising of task of minimization of objective function of charges is offered for the optimal plan of distribution of trolleybuses on routes. The built model and worked out algorithms of her introduction are in spreadsheets.

The worked out algorithms and programmatic realization of bringing of limitations of relative order are at the use of different models of trolleybuses on routes. It provided the calculation of a number of possible plans of transportations in the process of design. Such plans it is in-process suggested to name rational plans, id est locally optimal at these limitations.

Keywords: optimization model, transport network of city, park of electric transport, transport demand of population, limitation of relative order.

ПУСТЮЛЬГА Сергій Іванович, доктор технічних наук, професор кафедри архітектури та дизайну Луцького національного технічного університету, e-mail: mbf.declutsk@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-7623-7803>.

ПРИДЮК Валентин Михайлович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: pred.mbf@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-7791-1230>

САМОСТЯН Віктор Русланович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету e-mail: cvmbf@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0001-6823-8558>

САМЧУК Володимир Петрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії Луцького національного технічного університету, e-mail: volsamchuk@ukr.net <http://orcid.org/0000-0001-9045-9525>

.....

Serhii PUSTIULHA, Doctor of Technical Sciences, Professor of Architecture and Design department, Lutsk National Technical University e-mail: mbf.declutsk@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-7623-7803>.

Valentyn PRYDIUK, Ph.D in Engineering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University, e-mail: pred.mbf@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-7791-1230>

Viktor SAMOSTIAN, Ph.D in Engineering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University e-mail: cvmbf@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0001-6823-8558>

Volodymyr SAMCHUK Ph.D in Engineering, associate professor ,Lutsk National Technical University, e-mail: volsamchuk@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0001-9045-9525>

DOI 10.36910/automash.v2i17.642

Пуць В.С., Мелесь П.П.
Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ НАВАНТАЖУВАЧІВ

У роботі викладено результати аналізу показників телескопічних навантажувачів вантажопідйомністю 2000 – 4000 кг, які найчастіше використовують для виконання навантажувально-розвантажувальних робіт у сільськогосподарських підприємствах. Сформовано базу характеристик різних моделей телескопічних навантажувачів. Для аналізу авторами обрано наступні характеристики: вантажопідйомність, маса, висота підйому стріли, потужність. Обрані параметри було згруповано у певні групи таким чином, щоб параметри кожної з груп в основному відображали зміни якої-небудь однієї із значущих характеристик вихідних функцій. З використанням кореляційного аналізу встановлено зв'язок між трьома параметрами, обраними для дослідження, а саме: вантажопідйомність і маса; маса та висота підйому; маса і потужність. Додатково розраховано параметри функціональних ознак – енергоємності та енергонасиченості. Для оцінювання впливу деяких факторів на обрані параметри функціональних ознак телескопічних навантажувачів – енергоємність і енергонасиченість виконано регресійний аналіз, що дозволило отримати багатфакторну математичну модель. Отримано рівняння регресії, які розкривають взаємозв'язок енергонасиченості та енергоємності і параметрів потужності та маси навантажувача. Встановлено, що найбільший вплив на енергонасиченість має потужність двигуна, відповідно на показник енергонасиченості – маса навантажувача.

Виконаний кореляційно-регресійний аналіз може бути покладений в основу процесу шляхів підвищення ефективності телескопічних навантажувачів для виконання сільськогосподарських робіт, а також проаналізувати вплив основних параметрів навантажувача на функціональні ознаки конструкцій: енергонасиченість, енергоємність, питому потужність, тощо.

Ключові слова: навантажувач, ефективність, параметри, кореляція, регресійний аналіз

ВСТУП

Ефективна організація виробничих процесів у сільському господарстві потребує механізації вантажно-розвантажувальних робіт, на які припадає до 40% від усіх виробничих витрат [1]. Низький рівень механізації навантажувально – розвантажувальних і складських робіт у сільському господарстві призводить до значних простоїв техніки та, як наслідок, до зростання собівартості продукції.

Організація транспортування сільськогосподарських вантажів, які характеризуються значним різноманіттям, здійснюється з застосуванням підйомників, лебідок, кранів. Також широко застосовуються навантажувачі (фронтальні, грейферні, безперервної дії та ін.) кожен з яких має свої переваги і недоліки. В останній час у сільському господарстві все більшу нішу починають займати телескопічні навантажувачі. Це пояснюється їхньою універсальністю. Телескопічні навантажувачі поєднують в собі переваги підйомних кранів і навантажувачів, завдяки чому є широко затребуваними.

На відміну від фронтальних навантажувачів телескопічні мають більшу висоту розвантаження та здатні виконувати більшу кількість різних операцій. Разом із ними використовують різне навісне обладнання: ківш, кранове устаткування, вили, тощо. Крім того, у телескопічних навантажувачів порівняно висока швидкість пересування, висока прохідність і мобільність.

У сільському господарстві телескопічні навантажувачі використовують не лише для виконання розвантажувально – навантажувальних робіт, а й для переміщення зеленої маси в траншеях у процесі закладання силосного корму.

Багатофункціональність навантажувачів пояснює великий попит на них. Але дані машини мають й недоліки, а саме: злам осей коліс, вихід з ладу трансмісії, злам гідроциліндрів. Це пояснюється значними навантаженнями які виникають через складні умови експлуатації. Крім того, за умови тривалих простоїв підлягають руйнуванню гумові елементи конструкції.

З урахуванням вище означеного актуальним науково – практичним завданням є аналіз техніко – економічних показників телескопічних навантажувачів, що дозволить окреслити шляхи їхнього удосконалення, оцінювати конструктивну досконалість окремих моделей та обґрунтовано підбирати найбільш оптимальну за техніко – економічними та експлуатаційними характеристиками модель для потреб конкретного господарства.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Теоретичні передумови досліджень машин для навантажувально-розвантажувальних робіт викладено в роботах Абрамова С.В. [1], Лівшиця І.С. [2], Краснікова В.В. [3], Назарова Л.В. [4, 5], Базанова А.Ф. [6], Г.В. Родіонова, Л.Г. Фохта, Мініна В.В. [7-10] та інших.

Мінін В.В. [9] виклав результати детального аналізу основних експлуатаційних і конструктивних характеристик універсального малогабаритного навантажувача, а також обґрунтував раціональні параметри навісного обладнання. Крім того автором розроблено класифікацію універсальних малогабаритних навантажувачів. Розроблено методику формування математичної моделі для оцінювання технічного рівня машин [9, 10].

Назаров Л.В., Разорьонов Л.В. [4] виклали результати теоретико-експериментальних досліджень стійкості малогабаритних колісних навантажувачів із бортовою системою повороту. Встановлено, що навантажувач починає втрачати стійкість в момент коли хоча б одне колесо машини відривається від опорної поверхні по якій здійснює свій рух.

Авторами розроблено методику розрахунку повороту малогабаритного навантажувача з бортовою системою повороту.

У роботі [5] авторами викладено результати теоретичного дослідження процесу руху малогабаритного навантажувача. В роботі наведено диференціальні рівняння руху навантажувача, в ході обґрунтування яких зроблено висновок про синусоїдальний характер автоколивань навантажувача, які проявляються під час виконання робіт.

Результати досліджень телескопічних навантажувачів викладено в роботах Вернера С.А., Мандровського К.П., Тюріна Я.І., Волкова В.І., Жилевича М. І. [11-16] та інших.

Вернер С. А. [11] проаналізував ринок телескопічних навантажувачів й зробив висновок, що найбільш розповсюдженими є навантажувачі кл. 3 т., 4 т. Автор також зазначає, що під час вибору приводу ходової частини є три варіанти. «Wandler» - класичний привод, який підходить для всіх типів навантажувачів. Перевага даного приводу в його нескладній та надійній конструкції. «Powershift» – привод, який дозволяє змінювати ходові ступені без зупинки руху. «Hydrostat», який дозволяє запускати двигун на високій частоті обертання без збільшення потужності гідросистеми.

Тюрин Я. І., Мандровський К.П. [12] дослідили динамічні процеси, які відбуваються у фронтальному навантажувачі методом математичного моделювання механічних систем. Авторами розроблено алгоритм і методика вирішення задачі оптимізації переміщення вантажу колісним фронтальним навантажувачем.

Дослідження Волкова В.І., Жилевича М. І. [13-14] присвячено гідравлічним системам. Зокрема в роботі [13] розроблено математичну модель для визначення взаємного положення ланок механізму підйому стріли навантажувача з гідравлічним приводом робочого обладнання, отримано математичні залежності які дозволяють оцінити ряд силових факторів, що діють на стрілу під час її переміщення. Базуючись на результатах виконаних досліджень можна обрати раціональні значення конструктивних параметрів і виконати параметричний синтез привода.

Як показав результат аналізу літературних джерел, в основному, дослідження стосуються малогабаритних універсальних навантажувачів. Питання експлуатації, оцінювання техніко – економічних показників телескопічних навантажувачів практично не досліджувались.

З врахуванням вище зазначеного сформулюємо мету і задачі нашого дослідження.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Оцінювання взаємозв'язків основних показників техніко – економічної ефективності телескопічних навантажувачів.

Для досягнення даної мети потрібно було вирішити наступні задачі:

- сформувати базу характеристик різних моделей телескопічних навантажувачів;
- встановити математичні залежності, які розкривають взаємозв'язок між параметрами;
- виявити найбільш вагомні фактори впливу на такі показники як енергоємність та продуктивність телескопічного навантажувача.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

З метою вирішення поставлених задач нами було сформовано базу даних параметрів телескопічних навантажувачів BOBCAT, MANITOU, JCB, Claas, Faresin. Обирали навантажувачі вантажопідйомністю 2500 - 4000 кг, які найбільше використовують у сільському господарстві.

Для аналізу обрано наступні характеристики:

- вантажопідйомність (X_1) – Q, кг;
- маса машини (X_2) – m, кг;

- висота підйому вантажу (X3) –h, м;
- потужність двигуна (X4)- N, кВт;

Додатково розраховано функціональні параметри енергонасиченість (Y1) $E = \frac{N}{m}$ та енергоємність (Y2) $N_Q = \frac{N}{Q}$.

Для оцінювання впливу деяких характеристик на обрані нами параметри функціональних ознак телескопічних навантажувачів - енергоємність і енергонасиченість виконано кореляційно-регресійний аналіз, що дозволило отримати багатофакторну математичну модель.

Кореляційно-регресійний аналіз є класичним методом стохастичного моделювання та дозволяє виконати кількісну оцінку взаємозалежностей між ознаками досліджуваного об'єкту. Основна задача, яка може бути вирішена з застосуванням кореляційно-регресійного аналізу, це кількісне оцінювання зв'язку між двома ознаками, а також між результуючою функцією та факторними ознаками.

Аналіз виконувався з використанням програми Microsoft Excel у такій послідовності.

1. Дослідили однорідність даних за кожним фактором.
2. За методом кореляційних плеяд [15] виключили несуттєві фактори.

У ході проведення дослідження ми обрали перелік характеристик, які, на наш погляд, впливають на вихідні функції - показники енергоємності та енергонасиченості. Але не всі обрані характеристики є значущими й такими, що визначають величину вихідних функцій. Тому обрані параметри було згруповано у певні групи таким чином, щоб параметри кожної з груп в основному відображали зміни якої-небудь однієї із значущих характеристик вихідних функцій. Наявність такої групи дає можливість оцінити значення кожної значущої характеристики тільки по одному або декількох параметрах відповідної групи, т. т. зменшити кількість інформації, необхідної для достатньо повного опису вихідної функції.

За критерій кількісного оцінювання взаємозв'язку (залежності) між параметрами ми обрали коефіцієнт кореляції або міру зв'язків.

Згідно [16] два параметри корелюють між собою додатньо якщо між ними існує пряме, односпрямоване співвідношення. Два параметри корелюють між собою від'ємно, якщо між ними існує зворотне, різнобічне співвідношення.

Визначали коефіцієнти парної кореляції r , який показав взаємозв'язок між досліджуваними величинами. Коефіцієнт кореляції може набувати значень від -1 до 1. Чим ближче значення коефіцієнта до 0, тим зв'язок слабший. Якщо коефіцієнт кореляції рівний 0, це свідчить про відсутність зв'язку, а при 1 чи -1 – зв'язок максимально жорсткий. Загалом, прийнято вважати, що зв'язок сильний за умови значення модуля коефіцієнта кореляції від 0,6 і вище.

Знак коефіцієнта кореляції вказує на тип зв'язку, коли він додатній, то зв'язок прямий, коли від'ємний – зворотній [16]. Коефіцієнт кореляції обчислювали в програмі Excel. Нижче наведемо залежність для визначення коефіцієнту кореляції з метою наглядного відображення змісту обчисленої величини:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

де x_i ; y_i - значення досліджуваної величини i -го порядку,
 $\bar{x}$ і $\bar{y}$ середні значення даних величин:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{та} \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (2)$$

n – кількість варіантів значень досліджуваних величин.

3. Застосувавши регресійний аналіз виконали математичне моделювання, отримавши модель, що розкриває функціональні залежності між енергоємністю і енергонасиченістю та іншими характеристиками навантажувачів.

Регресійний аналіз включав наступні кроки:

- визначення викидів;
- виключення параметрів із найменшим впливом на вихідну функцію;
- складання моделі вихідної функції.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

З метою проведення дослідження зібрано інформацію щодо параметрів 35-ти моделей телескопічних навантажувачів.

З використанням пакету програми Excel визначили коефіцієнти парної кореляції. Результати подано нижче у табл. 1.

Таблиця 1 – Отримані значення коефіцієнтів парної кореляції

	X1	X2	X3	X4
X1	1,0			
X2	0,7239	1,0		
X3	0,4931	0,8723	1,0	
X4	0,4147	0,6379	0,3203	1,0

Ранжування за впливом факторів (параметрів) подано на рис. 1 у вигляді кореляційного графа.

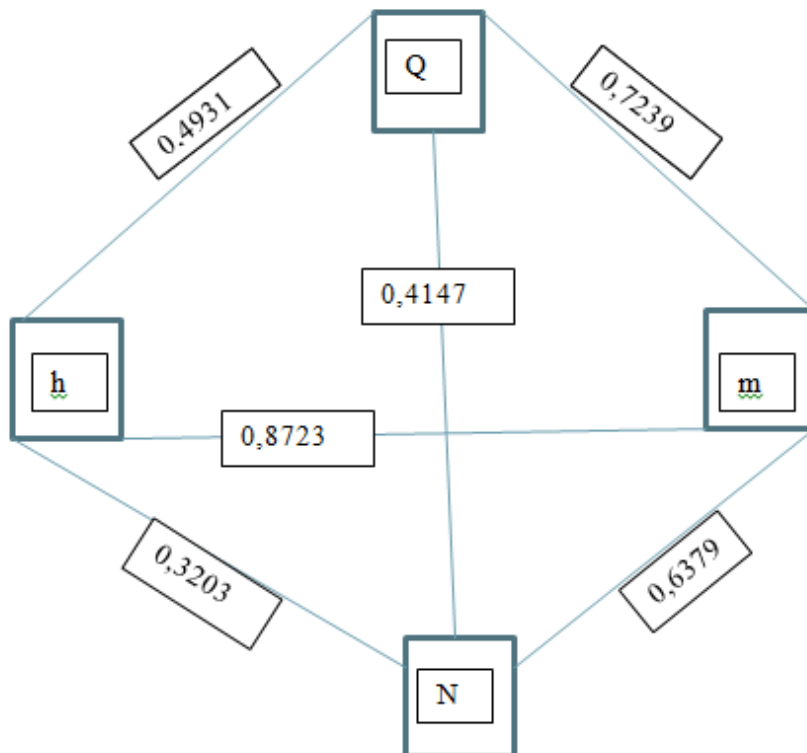


Рисунок 1 – Кореляційний граф

Задаємось порогом кореляції 0,45 і сформуємо кореляційні плеяди (рис. 2).

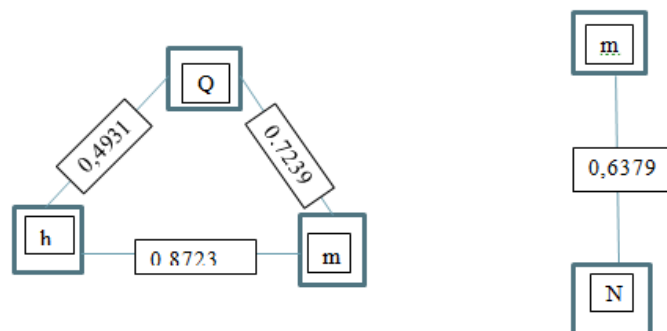


Рисунок 2 – Кореляційні плеяди за умови, що поріг становить 0,45

Отримані результати виявили значний зв'язок між трьома факторами, обраними для дослідження, а саме:

- вантажопідйомність і маса (0,7239);
- маса та висота підйому (0,8723);
- маса і потужність (0,6379).

Кожен із зазначених функціональних зв'язків можна пояснити фізичним змістом даних показників.

Базуючись на результатах кореляційного аналізу виконано регресійний аналіз метою якого є отримання регресійної залежності між досліджуваними величинами для встановлення фактичного впливу кожного з факторів на функції енергонасиченості (Y1) та енергоємності (Y2).

Отримано рівняння регресії, яке розкриває взаємозв'язок енергонасиченості та параметрів потужності (X₄) і маси навантажувача (X₃)

$$Y_1 = 64,5x_4 + 0,039x_3 \dots\dots\dots (3)$$

Дане рівняння показує, що найбільший вплив на енергонасиченість має потужність двигуна.

Рівняння регресії, яке розкриває взаємозв'язок енергоємності та параметрів потужності (X₄) і маси навантажувача (X₃):

$$Y_2 = 101,0x_3 + 79,79x_4 \dots\dots\dots (4)$$

Як бачимо на енергоємність найбільший вплив має маса навантажувача. За умови зменшення маси навантажувача можна зменшити енергоємність і, відповідно, металоємність машини.

ВИСНОВКИ

Виконаний кореляційно-регресійний аналіз дозволить вести пошук шляхів підвищення ефективності телескопічних навантажувачів для виконання сільськогосподарських робіт, а також проаналізувати вплив основних параметрів навантажувача на функціональні ознаки конструкцій: енергонасиченість, енергоємність, питому потужність, тощо.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Абрамов С.В. Фронтальные погрузчики: Учебное пособие. Караганда. : Карагандинский политехнический институт, 1990. – 154 с.
2. Лившиц В.Н. Системный анализ экономических процессов на транспорте. М.: Транспорт, 1986, – 228 с.
3. Красников В.В. Подъемно-транспортные машины. М.: Колос, 1981. – 263 с.
4. Назаров Л. В. Динамические процессы при развороте малогабаритного погрузчика с бортовой системой поворота/Л.В. Назаров, Л.В. Разаренов// Сборник научных трудов «Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета», 2007. – С. 180-183.
5. Назаров Л.В. Особенности поворота малогабаритного погрузчика типа ПМТС 1200/ Л.В. Назаров., В.П. Истомин., Л.В. Разаренов // Вестник ХНАДУ. – 2004. – Вып. 25. – С. 54-58.
6. Базанов, А.Ф. Самоходные погрузчики /А.Ф. Базанов, Г.В. Забегалов. -М.: Машиностроение, 1979. – 408 с.
7. Родионов, Г.В. Усилия, действующие на ковш при черпаниискальных пород /Г.В. Родионов//Тр. горн. геол. ин-та. -Новосибирск, 1957. -№19. – С. 47-54.
8. Фохт, Л.Г. Машины и оборудование для погрузочно-разгрузочных работ /Л.Г. Фохт; под ред. С.П. Епифанова — М. :Стройиздат, 1982. – 240 с.
9. Минин В. В. Исследование влияния параметров малогабаритных машин на их технический уровень/ В. В., Минин, Г.С. Гришко // Транспортные средства Сибири: сб. науч. тр. / отв. ред. С.П. Ереско. Красноярск, 1999. Вып. 5. – С. 184-186.
10. Минин В.В. Концепция повышения эффективности универсальных малогабаритных погрузчиков: монография. Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012. – 304 с.
11. Вернер Е. А. Краткое описание конструкции, результаты испытаний и техническая характеристика четырех новых навесных телескопических погрузчиков. (ФРГ)]. Vier Teleskoplader im DLZ-Vergleich. JCB 530 Farm Special - John Deere 3400 - Manitou MLT 730 TLS – Merlo 33. 7 KT // DLZ Agrarmag. AgroBonus. – 2002. – Jg.53,N 1. – S. 64-73.
12. Тюрин Я.И. Подходы к осуществлению математического моделирования многокомпонентных механических систем (на примере фронтального погрузчика с телескопическим рабочим оборудованием)/ Я.И. Тюрин, К.П. Мандровский// Сб. трудов Московского госуд.автомобильно-дорожного университета, 2019. – С.59 – 62.

13. Волков В.И. Тенденции развития мобильной гидравлики для фронтальных и телескопических погрузчиков (на примере продукции фирмы BOSCH REXROTH).
14. Жилевич М.И. Анализ нагруженности гидроцилиндра механизма подъема телескопической стрелы погрузчика/М.И. Жилевич, П.Н. Кишкевич, А.А. Зубрицкий//Сб.трудов Беларусского нац.-го техн. ун.-та, 2017. – С.31-34.
15. Терентьев, П. В. Метод корреляционных плеед / П. В. Терентьев // Вестник ЛГУ. – 195. – №9.
16. Кендел М. Ранговые корреляции. М.: Статистика, 1975. – 216 с.

REFERENCES

1. Abramov S.V. Frontal'nye pogruchiki: Uchebnoe posobie. Karaganda. : Karagandinskij politekhnicheskij institut, 1990. – 154 s.
2. Livshic V.N. Sistemnyj analiz ehkonomicheskikh processov na transporte. M.: Transport, 1986, – 228 s.
3. Krasnikov V.V. Pod'emno-transportnye mashiny. M.: Kolos, 1981. – 263 s.
4. Nazarov L. V. Dinamicheskie processy pri razvorote malogabaritnogo pogruchika s bortovoj sistemoy povorota/L.V. Nazarov, L.V. Razarenov// Sbornik nauchnykh trudov «Vestnik Khar'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universitetA», 2007. – S. 180-183.
5. Nazarov L.V.Osobennosti povorota malogabaritnogo pogruchika tipa PMTS 1200/ L.V. Nazarov., V.P. Istomin., L.V. Razarenov // Vestnik KHNADU. – 2004. – Vyp. 25. – S. 54-58.
6. Bazanov, A.F. Samokhodnye pogruchiki /A.F. Bazanov, G.V. Zabegalov. -M.: Mashinostroenie, 1979. – 408 s.
7. Rodionov, G.V. Usiliya, dejstvuyushchie na kovsh pri cherpaniiskal'nykh porod /G.V. Rodionov//Tr. gorn. geol. in-ta. -Novosibirsk, 1957. -№19. – S. 47-54.
8. Fokht, L.G. Mashiny i oborudovanie dlya pogruchno-razgruzochnykh rabot /L.G. Fokht; pod red. S.P. Epifanova — M. :Strojizdat, 1982. – 240 s.
9. Minin V. V. Issledovanie vliyaniya parametrov malogabaritnykh mashin na ikh tekhnicheskij uriven'/ V. V., Minin, G.S. Grishko // Transportnye sredstva Sibiri: sb. nauch. tr. / otv. red. S.P. Eresko. Krasnoyarsk, 1999. Vyp. 5. – S. 184-186.
10. Minin V.V. Konceptiya povysheniya ehffektivnosti universal'nykh malogabaritnykh pogruchikov: monografiya. Krasnoyarsk: Sibirskij federal'nyj un-t, 2012. – 304 s.
11. Verner E. A. Kratkoe opisanie konstrukcii, rezul'taty ispytanij i tekhnicheskaya kharakteristika chetyrekh novykh navesnykh teleskopicheskikh pogruchikov. (FRG)]. Vier Teleskoplader im DLZ-Vergleich. JCB 530 Farm Special - John Deere 3400 - Manitou MLT 730 TLS – Merlo 33. 7 KT // DLZ Agrarmag. AgroBonus. – 2002. – Jg.53,N 1. – S. 64-73.
12. Tyurin YA.I. Podkhody k osushchestvleniyu matematicheskogo modelirovaniya mnogokomponentnykh mekhanicheskikh sistem (na primere frontal'nogo pogruchika s teleskopicheskimi rabochim oborudovaniem)/ YA.I. Tyurin, K.P. Mandrovskij// Sb. trudov Moskovskogo gosud.avtomobil'no-dorozhnogo universiteta, 2019. – S.59 – 62.
13. Volkov V.I. Tendencii razvitiya mobil'noj gidravliki dlya frontal'nykh i teleskopicheskikh pogruchikov (na primere produkciy firmy BOSCH REXROTH).
14. Zhilevich M.I. Analiz nagruzhennosti gidrocilindra mekhanizma pod"ema teleskopicheskoy strely pogruchika/M.I. Zhilevich, P.N. Kishkevich, A.A. Zubrickij//Sb.trudov Belarusskogo nac.-go tekhn. un.-ta, 2017. – S.31-34.
15. Terent'ev, P. V. Metod korrelyacionnykh pleyad / P. V. Terent'ev // Vestnik LGU. – 195. – №9.
16. Kendel M. Rangovyie korrelyacii. M.: Statistika, 1975. – 216 s.

V. Puts, P. Meles. Research of technical and economic indicators of loaders.

The article deals with the results of the analysis of indicators of telescopic loaders with a carrying capacity of 2000 - 4000 kg. These indicators are most often used to perform loading and unloading operations in agricultural enterprises. The base of characteristics of various models of telescopic loaders was formed. The following characteristics: load capacity, weight, boom lift height, power were selected by the authors for analysis. The selected parameters were grouped into specific groups so that the parameters of each of the groups mainly reflect changes in any one of the significant characteristics of the original functions. The connection with the use of correlation analysis has been established between the three parameters selected for research, namely: load capacity and weight; weight and height of lifting; weight and

power. The parameters of the functional characteristics of energy intensity and energy saturation have been calculated additionally. Regression analysis was used to assess the influence of some factors on the selected parameters of the functional characteristics of telescopic loaders (energy intensity and energy saturation). This analysis made it possible to obtain a multifactor mathematical model. Regression equations have been obtained that reveal the relationship between energy saturation and energy intensity and power parameters and weight of the loader. It is established that the greatest influence on energy saturation has the engine power, on the indicator of energy saturation – the weight of the loader, respectively.

Correlation-regression analysis can be based on the process of improving the efficiency of telescopic loaders for agricultural work. The influence of the main parameters of the loader on the functional features of structures: energy saturation, energy intensity, specific power, etc. is analyzed in the article.

Key words: loader, efficiency, parameters, correlation, regression analysis

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

МЕЛЕСЬ Павло Петрович, аспірант, Луцький національний технічний університет. e-mail: pavlomeles.com@gmail.com.

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

Pavlo MELES, Postgraduate Student, Lutsk National Technical University. e-mail: pavlomeles.com@gmail.com.

DOI 10.36910/automash.v2i17.643

Розум Р.І., Буряк М.В., Захарчук О.П.
Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна

ВИКОРИСТАННЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Розвиток сільськогосподарського виробництва безпосередньо залежить від стану технологічної бази сільськогосподарських товаровиробників. Автомобільний транспорт знайшов значне застосування при перевезенні сільськогосподарських матеріалів від місця збору врожаю до місць його зберігання та переробки. Завдання, щодо встановлення оптимального розміру автопарку є актуальним як для вантажних, так і для пасажирських перевезень. Вирішення цієї проблеми повинно забезпечити визначення складу та кількості автопарку, що забезпечило б виконання необхідних технологічних процесів, з одного боку, та максимальне виключення простоїв, що веде до додаткових витрат, з іншого. Автомобілі, що використовуються в сільськогосподарському виробництві, повинні відповідати відповідним експлуатаційним вимогам. До таких вимог відноситься забезпечення виконання всього комплексу сільськогосподарських робіт з належною продуктивністю та максимальною ефективністю. Важливими також є вимоги екологічності (викиди шкідливих компонентів і ущільнення ґрунту), комфорту та безпеки. Вибір оптимальної якості рухомого складу автомобільного парку нерозривно пов'язаний із встановленням оптимального терміну служби автомобіля та оцінкою його надійності. Забезпечення надійності автомобіля є складною проблемою, яка починається з моменту його проектування, виробництва, експлуатації та належного обслуговування і до закінчення його експлуатації. До основних шляхів удосконалення використання рухомого складу сільськогосподарських транспортних засобів можна віднести: підвищення коефіцієнта мінливості, повноти використання у виробничих процесах, усунення простоїв, скорочення простоїв при ремонті та оглядах, стимулювання кращого використання автомобільного транспорту.

Ключові слова: автомобіль, автомобільний транспорт, сільськогосподарське виробництво, сільськогосподарські машини, рухомий склад.

ВСТУП

Сучасні технології вирощування і збирання сільськогосподарських культур володіють високими показниками механізації, іншими словами виробничі процеси виконуються за допомогою відповідних сільськогосподарських машин. У зв'язку з цим, ефективність процесів збирання врожаю у великій мірі залежить від рівня його транспортного обслуговування, яке характеризується значними обсягами перевезень у стислі терміни.

Отже, основним завданням технічної політики сільськогосподарських виробників є забезпечення виконання усіх технологічних операцій із дотриманням агротехнічних вимог і одночасною мінімізацією енергетичних, трудових і матеріально-технічних затрат.

З метою вирішення даної проблеми кожен сільськогосподарський виробник має знайти «золоту середину» між обсягами робіт і рівнем їх ресурсного забезпечення.

АНАЛІЗ ВІДОМИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Розвиток сільськогосподарського виробництва напряду залежить від стану технологічної бази сільськогосподарських виробників. Автомобільний транспорт отримав значне використання в процесах транспортування сільськогосподарських матеріалів від місця збирання врожаю до місць його зберігання та переробки. Задача встановлення оптимальної величини розміру парку рухомого складу є актуальною як для вантажних так і для пасажирських перевезень. Розв'язання даної задачі повинно забезпечити визначення складу та кількості парку автомобільного транспорту, який забезпечив би виконання необхідних технологічних процесів, з однієї сторони, та максимального усунення простоїв, що призводять до додаткових витрат, з іншої.

Особливості розвитку ринку вантажних перевезень, в тому числі і сільськогосподарських, з дослідженням базових чинників, які впливають на розвиток транспортних підприємств відображено в працях [1].

Формування парку автомобільного транспорту науковці розглядають як динамічне управління останнім [2], це пояснюється тим, що випадкові події (затримки, поломки і т.д.) можуть мати негативний вплив на виконання технологічних процесів. Динамічне управління рухомим складом відбувається на основі інформації, яка надходить в режимі реального часу, що в свою чергу, забезпечує підвищення ефективності використання парку автомобільного транспорту.

Автори [3] пропонують, як шлях визначення кількісного складу транспортного парку, розроблену математичну оптимізаційну модель.

Дослідження [4] відображають спробу провести класифікацію проблем щодо формування транспортного парку, в тому числі й автомобільного. Моделі формування оптимальної структури парку рухомого складу, з врахуванням впливу випадкових подій і питомого прибутку, відображені у праці [5].

Авторами [6 – 8] проведено систематизацію критеріїв оцінки показників довговічності та надійності колісних транспортних засобів, в тому числі і тих які використовуються у сільськогосподарському виробництві, розглянуто концептуальні підходи їх пошукового конструювання з прогнозуванням ресурсу роботи.

Отже, встановлення кількісного та якісного складу автопарку сільськогосподарського підприємства є актуальним завданням, розв'язання якого забезпечує підвищення ефективності діяльності сільськогосподарського, а отже конкурентоспроможності на вітчизняному та закордонних ринках.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Провести аналіз рухомого складу автомобільного парку сільськогосподарських підприємств. Встановити особливості його використання. Розробити шляхи підвищення ефективності використання рухомого складу парку автомобільного транспорту в процесі сільськогосподарському виробництві.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Автомобілі – складні мобільні транспортні та енергетичні засоби, що використовуються з метою комплексної автоматизації та механізації сільськогосподарського виробництва, а також для транспортування пасажирів і сільськогосподарських вантажів.

Автомобілі поділяють на пасажирські (легкові, для перевезення до восьми пасажирів, автобуси – більше восьми пасажирів) та вантажні (для перевезення різного роду вантажів).

В залежності від конструктивних особливостей вантажних автомобілів, які використовуються в сільськогосподарському виробництві, їх поділяють на:

- автомобілі загального призначення;
- спеціалізовані, тобто призначені для транспортування конкретних категорій вантажів (автофургони, контейнеровози, автоцистерни, авторефрижератори, самоскиди тощо);
- спеціальні – застосовуються, як правило, не для транспортних робіт (автокрани, пожежні, пересувні майстерні та інші).

Сільськогосподарські спеціалізовані та спеціальні автомобілі оснащені спеціалізованим обладнанням і відповідними пристроями, як правило це видозмінені моделі транспортних засобів з обмеженим колом використання.

Автомобілі, які використовуються у сільськогосподарському виробництві, повинні задовольняти відповідні експлуатаційні вимоги. До таких вимог належать забезпечення виконання всього комплексу сільськогосподарських робіт з належною продуктивністю та максимальною економічністю. Важливе значення займають також вимоги щодо екологічності (викиди в атмосферу шкідливих компонентів і ущільнення ґрунтів) та комфортності й безпеки праці.

Продуктивність автомобілів визначається кількістю пасажирів або масою вантажу, що перевозиться, та його середньою швидкістю. У зв'язку з вищесказаним, продуктивність залежить від наступних чинників: прохідності, потужності двигуна, легкості управління, надійності автомобіля, стану дорожнього покриття тощо.

Можливість використання різних видів пального ще одна вимога яка ставиться до автомобілів, що використовуються у сільськогосподарському виробництві. Використання біологічного та газоподібного пального забезпечує більш економічне виконання технологічних процесів.

Відповідно до пристосованості до дорожніх умов автомобілі діляться на два види: нормальної прохідності (призначені для використання на дорогах з твердим покриттям та сухих ґрунтових дорогах) і підвищеної прохідності (використовують на поганих дорогах та бездоріжжі).

Відповідно до вантажопідйомності рухомий склад автомобільного парку поділяють на: дуже малої вантажопідйомності (до 1 т), малої (1 – 3 т), середньої (3 – 5 т), великої (5 – 8 т) та дуже великої (понад 8 т).

Стислі агротехнічні строки жнив обумовлюють потребу у вдосконаленні автомобільного парку сільськогосподарських виробників. Оптимізація структури транспортного парку забезпечить зниження простоїв збиральних машин і зниження втрат сільськогосподарської продукції за рахунок зменшення часу її збирання.

Вибір оптимального якісного рухомого складу автомобільного парку нерозривно пов'язано з встановленням оптимального часу служби автомобіля та оцінки його надійності. Забезпечення надійності автомобіля є комплексною проблемою, яка починається ще з моменту його проектування, виробництва, експлуатації та правильного сервісного обслуговування аж до завершення його використання.

При використанні у виробничих процесах автомобільного транспорту з низькою надійністю виникає велика кількість простоїв та втрат на обслуговування і ремонт, у зв'язку з чим відбувається зниження продуктивності та зростання собівартості кінцевого продукту, а іноді навіть втрата врожаю.

Разом з тим, якщо навіть в процесі проектування та виробництва було забезпечено усі необхідні чинники надійності автомобілів для сільськогосподарського виробництва, то реалізація даного потенціалу високої надійності залежить від подальших умов експлуатації рухомого складу і, в першу чергу, від системності його обслуговування, проведення ремонтних робіт, а також якості їх виконання.

З метою як найбільш повного використання потенційної надійності потрібне правильне управління процесами експлуатації автомобільної техніки за допомогою розробки та впровадження раціональної, науково-обґрунтованої системи проведення їх ремонту та технічного обслуговування. Повне використання надійності автомобілів, яка закладена на стадіях проектування та виробництва забезпечить підвищення їх продуктивності, що, в свою чергу, дозволить покращити всі економічні показники їх роботи не залучаючи додаткові капітальні вкладення та значне зростання оборотних коштів.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вище перелічене дозволяє говорити про те, що надійність рухомого складу автомобільного парку сільськогосподарських підприємств є однією із основних економічних категорій і пов'язує її з комплексною системою ремонту й обслуговування та оптимальними строками служби автомобілів. Вибір і дотримання «розумних» строків служби автомобіля – є одним з основних чинників підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва як в конкретному господарстві, так і у сільськогосподарському виробництві загалом.

Найбільший вплив, з усіх показників надійності, на кінцевий результат роботи транспортних засобів, на нашу думку, має безвідмовність і довговічність. Це пояснюється тим, що дані показники визначають подальші витрати на поточні та капітальні ремонти, а також на усунення відмов, що виникають під час експлуатації рухомого складу автомобільного парку сільськогосподарських підприємств, а отже й на економічну ефективність їх використання. На інші показники надійності, такі як збереженість і ремонтпридатність, під час експлуатації впливати значно важче, оскільки вони закладаються, в основному, ще на стадії проектування транспортних засобів.

ВИСНОВКИ

Високі показники сезонності, стислі терміни збирання, поганий стан автомобільного парку створюють значні проблеми для сільськогосподарських виробників у процесі транспортування продукції від комбайна до місця зберігання чи переробки. З метою забезпечення ефективного використання транспортних засобів в процесі перевезення сільськогосподарської продукції необхідно проводити наукову оптимізацію транспортних потоків, встановлення можливого скорочення витрат у системі «поле-процес транспортування-склад».

Отже, до основних шляхів поліпшення використання рухомого складу автомобільного парку сільськогосподарських виробників належать: підвищення коефіцієнту змінності роботи, повноти використання у виробничих процесах, ліквідацію простоїв, скорочення часу перебування у ремонті й оглядах, стимулювання кращого використання автомобільного транспорту.

Використовуючи сучасні способи розрахунку об'єму перевезень і покращення експлуатаційних характеристик автомобільного парку можна забезпечити розв'язання такої задачі, як збереженості сільськогосподарської продукції.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Маяк М.М. Особливості розвитку ринку вантажних і пасажирських перевезень/ М. М. Маяк, П. Б. Прогній, А. Й. Матвійшин, П. В. Попович, О. С. Шевчук, В. М. Островерхов, А. С. Коцур, О. В. Романишин // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. - ЛНТУ. Луцьк, 2020. - № 2(15). - С. 64-72.
2. Maurizio Bielli et al. Trends in Models and Algorithms for Fleet Management / Maurizio Bielli Alessandro Bielli, Riccardo Rossi // Procedia Social and Behavioral Sciences 20, 2011. – p. 4–18.

3. Redmer A. Strategic vehicle fleet management – the composition problem / A. Redmer // LogForum 11 (1), 2015. – p. 119–126.
4. Anylogic Simulation Software (2019). – Режим доступу: <https://www.anylogic.com>
5. Наумов В.С. Формування раціональної структури автопарку в умовах випадкових характеристик потоку замовлень на перевезення вантажів: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.01 / В. С. Наумов // Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – Х, 2006. – 22 с.
6. Прогній П. Б. Пошукове конструювання колісних транспортних засобів / П. Б. Прогній, Ю. В. Дзядичев, О. П. Захарчук, М. М. Маяк, П. В. Попович та ін. // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. – ЛНТУ. Луцьк, 2021. - № 1 (16). - С. 88-99.
7. Кравченко О.П. Надійність систем активної безпеки автомобілів-тягачів / О.П. Кравченко, С.Л. Зубачик, Р.Г. Мухін // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Сєверодонецьк, 2017. - № 4 (234). – С. 115-118.
8. Кубіч В. І., Слинько Г. І. Складові частини об'єктів транспортного машинобудування. Навчальний посібник: 2-ге вид., перероб. і доп. / В. І. Кубіч, Г. І. Слинько // НУ «Запорізька політехніка», Запоріжжя, 2021. – 363 с.

REFERENCES

1. Maiak M.M. Osoblyvosti rozvytku rynku vantazhnykh i pasazhyrskykh perevezen/ M. M. Maiak, P. B. Prohniy, A. Y. Matviishyn, P. V. Popovych, O. S. Shevchuk, V. M. Ostroverkhov, A. S. Kotsur, O. V. Romanyshyn // Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti. - LNTU. Lutsk, 2020. - № 2(15). - S. 64-72.
2. Maurizio Bielli et al. Trends in Models and Algorithms for Fleet Management / Maurizio Bielli Alessandro Bielli, Riccardo Rossi // Procedia Social and Behavioral Sciences 20, 2011. – p. 4–18.
3. Redmer A. Strategic vehicle fleet management - the composition problem / A. Redmer // LogForum 11 (1), 2015. – p. 119–126.
4. Anylogic Simulation Software (2019). – Режим доступу: <https://www.anylogic.com>
5. Naumov V.S. Formuvannia ratsionalnoi struktury avtoparku v umovakh vypadkovykh kharakterystyk potoku zamovlen na perevezennia vantazhiv: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: 05.22.01 / V. S. Naumov // Kharkivskiy natsionalnyi avtomobilno-dorozhniy universytet. - Kh., 2006. – 22 s.
6. Prohniy P. B. Poshukove konstruiuvannia kolisnykh transportnykh zasobiv / P. B. Prohniy, Yu. V. Dziadykevych, O. P. Zakharchuk, M. M. Maiak, P. V. Popovych ta in. // Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti. – LNTU. Lutsk, 2021. - № 1 (16). - S. 88-99.
7. Kravchenko O.P. Nadiinist system aktyvnoi bezpeky avtomobiliv-tiahachiv / O.P. Kravchenko, S.L. Zubachyk, R.H. Mukhin // Visnyk skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia. – Sievierodonetsk, 2017. - № 4 (234). – S. 115-118.
8. Kubich V. I., Slynko H. I. Skladovi chastyny ob'ektiv transportnoho mashynobuduvannia. Navchalnyi posibnyk : 2-he vyd., pererob. i dop. / V. I. Kubich, H. I. Slynko // NU «Zaporizka politekhnika», Zaporizhzhia, 2021. – 363 s.

Rozum R., Buriak M., Zakharchuk O. Use of road transport in agricultural production

The development of agricultural production directly depends on the state of the technological base of agricultural producers. Road transport has been significantly used in the transportation of agricultural materials from the place of harvest to the places of its storage and processing. The task of establishing the optimal size of the fleet is relevant for both freight and passenger traffic. The solution to this problem should ensure the determination of the composition and quantity of the fleet, which would ensure the implementation of the necessary technological processes, on the one hand, and the maximum elimination of downtime, which leads to additional costs, on the other. Cars used in agricultural production must meet the relevant operational requirements. Such requirements include ensuring the implementation of the whole complex of agricultural work with proper productivity and maximum efficiency. The requirements for environmental friendliness (emissions of harmful components and soil compaction) and comfort and safety are also important. The choice of the optimal quality rolling stock of the car fleet is inextricably linked with the establishment of the optimal service life of the car and the assessment of its reliability. Ensuring the reliability of the car is a complex problem that begins from the moment of its design, production, operation and proper maintenance until the end of its use. The main ways to improve the use of rolling stock of agricultural vehicles include: increasing the coefficient of variability, completeness of use in production

processes, elimination of downtime, reducing downtime in repairs and inspections, stimulating better use of road transport.

Key words: car, motor transport, agricultural production, agricultural machines, rolling stock.

РОЗУМ Руслан Іванович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: rozoom_ruslan@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-7812-8248>

БУРЯК Микола Васильович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: rozoom_ruslan@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-5332-1498>

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

Ruslan ROZUM, Doctor of Philosophy, Associate Professor of Transport and Logistics department, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: olenaskyba8500@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-7812-8248>

Mykola BURIK, Doctor of Philosophy, Associate Professor of Transport and Logistics department, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: olenaskyba8500@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-5332-1498>

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

DOI 10.36910/automash.v2i17.644

Сахно¹ В.П., Шарай¹ С.М., Мурований² І.С., Човча¹ І.В.¹Національний транспортний університет²Луцький національний технічний університет**ДО РОЗРОБКИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ АВТОПОЇЗДА З ПРИЧЕПОМ КАТЕГОРІЇ О₁ У ПОПЕРЕЧНІЙ ПЛОЩИНІ**

У ряді експлуатаційних властивостей автотранспортних засобів (АТЗ) при тенденції збільшення швидкостей руху найважливішими показниками якості, що зберігається, на будь-яких режимах, є стійкість і керованість. Вибір конструктивних параметрів АТЗ, що забезпечують саме ці властивості, підвищує активну безпеку експлуатації і знижує вірогідність дорожньо-транспортних пригод на транспортних операціях. Стійкість і керованість АТЗ в сукупності повинні забезпечити упевненість водія в реалізації режиму руху, що задається, виключити мимовільне виникнення небезпечного відхилення від нього і зберегти можливість швидкого коректування з подальшою стабілізацією.

Із усіх можливих режимів руху криволінійний або близький до нього є основними в роботі автопоїздів категорії М₁. Якщо розглядати сучасні інтенсивні потоки руху АТЗ по дорогам загального користування з їх постійними вимушеними «переставками», то питання про можливість швидкого коректування прямолінійного курсу після переїзду на сусідню смугу руху і забезпечення курсової стійкості при цьому стає особливо актуальним.

При дослідженні стійкості руху автопоїзда розглядають плоскопаралельний рух його ланок. При цьому вважають, що нормальні реакції опірної поверхні на колеса правого і лівого борту однакові. Проте при високому розташуванні центра мас причепа можлива суттєва зміна реакцій опірної поверхні на його колеса. Тому було розглянуто рух автопоїзда як в горизонтальній, так і в позадійній вертикальній і поперечній площинах.

У результаті проведених досліджень удосконалена система рівнянь плоскопаралельного руху автопоїзда з одноосісним причепом категорії О₁, визначено бічні реакції на колесах автомобіля і причепа при крені кузова, визначені кути відведення коліс автомобіля і причепа, обумовлені їх креном кузова, розроблено просторову математичну модель автомобільного поїзда у поперечній площині.

Ключові слова: автопоїзд, курсова стійкість, керованість, плоскопаралельний рух, математична модель, швидкість руху, поперечна площина

ВСТУП

За останні роки підприємствами та приватними виробниками України освоєно виробництво широкої гами причіпної техніки. Виробництво причіпної техніки обумовлено значним різновидом та специфічністю вантажів, необхідністю відповідати міжнародним вимогам по розмірам та масовим параметрам, по забезпеченню безпечних умов експлуатації. Організація цих вимог в комплексі визначає конструктивні особливості того чи іншого транспортного засобу. Розробка нових конструкцій причепів та оновлення уже освоєних конструкцій ведеться на високому технічному рівні, що досягається за рахунок модернізації та створення нових вузлів, агрегатів і систем, використання зарубіжних та вітчизняних комплектуючих і матеріалів.

Сьогодні на авторинку України продаються одноосісні і із спареними осями причіпи різного призначення до легкових автомобілів - вантажні, туристичні, для перевезення човнів, мотоциклів і іншої техніки, для подорожей («дачі»), торгові і вантажні фургони, міні-кафе і ін.

Причепа категорії О₁, це причепа з повною масою до 0,75 т, а причепа категорії О₂ — ті самі причепа та напівпричепа, (за винятком причепів категорії О₁) з повною масою до 3,5 т [1]. Ці причепа призначені до транспортування, як правило, легковими автомобілями, вибір яких є актуальним для споживачів.

Урахувати усі особливості компоновальних схем причіпних автопоїздів категорії О₁, О₂ не представляється можливим, у зв'язку зі зміною їх параметрів в широких межах, що потребує великої кількості проміжних розрахунків. Практика експлуатації автопоїздів показує, що причіпні ланки автопоїздів погіршують характеристики стійкості тягового автомобіля порівняно з аналогічними характеристиками одиночного автомобіля.

Для причепів категорії О₁, що експлуатуються, як правило, приватними підприємствами і аматорами, раціональні параметри щодо швидкісного режиму, навантаження на тяговий автомобіль і причіп, а також розміщення вантажу в кузові причепа не завжди виконуються. Цілком очевидно, що підвищення ефективності роботи автопоїздів шляхом збільшення швидкості руху не повинно

завдавати шкоди безпеці руху. Тому дослідження стійкості руху автопоїздів з причепами категорії M_1 є актуальною задачею.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

У ряді експлуатаційних властивостей автотранспортних засобів (АТЗ) при тенденції збільшення швидкостей руху найважливішими показниками якості, що зберігається, на будь-яких режимах, є стійкість і керованість [2]. Вибір конструктивних параметрів АТЗ, що забезпечують саме ці властивості, підвищує активну безпеку експлуатації і знижує вірогідність дорожньо-транспортних пригод (ДТП) на транспортних операціях. Стійкість і керованість АТЗ в сукупності повинні забезпечити упевненість водія в реалізації режиму руху, що задається, виключити мимовільне виникнення небезпечного відхилення від нього і зберегти можливість швидкого коректування з подальшою стабілізацією того ж режиму. Управління АТЗ з недостатньою стійкістю ускладняється, оскільки автопоїзд "рискає" або ухиляється вбік. Для підтримки необхідного напрямку руху необхідне постійне коректування напрямку руху [3].

Шкідлива і надмірна стійкість, оскільки обмежуються маневрені можливості АТЗ, зменшується чутливість рульового управління, а також притупляється так зване «відчуття дороги», що також приводить до підвищеної напруженості уваги водія.

Властивості керованості і стійкості автомобіля традиційно прийнято оцінювати на двох рівнях. На першому, як відомо, розглядаються властивості системи «водій-автомобіль-дорога» (ВАД), на другому - автомобіля, як об'єкту управління. Спроби за тими або іншими причинами протиставити ці рівні не є коректними, оскільки кожен з них призначений для вирішення певного класу завдань. Обидва рівні доповнюють один одного і дозволяють знаходити найбільш ефективні шляхи досягнення кінцевого результату. Визначення властивостей автомобіля, як об'єкту управління, дозволяє на всіх етапах його проектування і створення активно втручатися в цей процес і вносити необхідні корективи до ухвалених технічних рішень. Більшість дослідників, що займаються проблемами активної безпеки автомобіля, визнають важливість другого рівня моделювання, що дозволяє використовувати сучасні методи, і пошуку якнайкращих рішень на базі інструментальних оцінок, що мають кількісний опис. Проте, слід визнати, що досягнутий в цьому напрямі рівень недостатній і вимагає подальшого розвитку. Це стосується насамперед встановлення взаємозв'язку об'єктивних (інструментальних) і суб'єктивних (експертних) оцінок даних властивостей АТЗ [3].

З погляду практичних цілей при розробці нових АТЗ, а також модернізації існуючих важливим стає не тільки причина порушення стійкості, а реакція АТЗ на неї і управляючі дії водія, що є неоднозначними і нестабільними. Тому передбачається, що стійкість і керованість руху АТЗ повинні забезпечуватися конструктивними параметрами самої машини.

Із усіх можливих режимів руху криволінійний або близький до нього є основними в роботі автопоїздів категорії M_1 . Навіть інтуїтивно, можна передбачити, що рух по прямій повинен супроводжуватися постійним коректуванням кермом для відновлення заданого курсу, відхилення від якого може викликати маса причин. Якщо розглядати сучасні інтенсивні потоки руху АТЗ по дорогам загального користування з їх постійними вимушеними «перестарками», то питання про можливість швидкого коректування прямолінійного курсу після переїзду на сусідню смугу руху і забезпечення курсової стійкості при цьому стає особливо актуальним.

Підсумком аналізу курсової стійкості і вписувано ті для найбільш загальної лінійної моделі автопоїзда з'явилися вираз критичної швидкості прямолінійного руху і значення рівноважних фазових змінних, що відповідають круговому руху по колу достатньо великого радіусу [4]. Подальшим розвитком в області досліджень керованості та стійкості руху було застосування нелінійних моделей взаємодії колеса з опорною поверхнею у бічному напрямку і застосування просторових моделей транспортних засобів..

Аналіз нелінійних моделей має характерні особливості в порівнянні з лінійними - реалізація одного з можливих стійких режимів залежить від початкових значень всіх фазових змінних системи. При цьому важливе не тільки знання факту стійкості стаціонарного режиму в малому, а і оцінка області тяжіння, і топологічна структура розбиття фазового простору системи траєкторіями.

Значний прогрес в реалізації цієї програми був досягнутий при аналізі динамічних якостей нелінійної моделі окремого автомобіля і двох ланкового автопоїзда: визначення аналітичних умов стійкості кругових стаціонарних режимів при зміні управляючих параметрів; визначення набору характерних внутрішніх параметрів, варіація яких призводить до якісних змін динамічної поведінки [4].

Загальна стратегія аналізу якісних і кількісних змін множини стаціонарних станів системи базувалася на відомих положеннях теорії динамічних систем і прикладної теорії катастроф. Втрата курсової стійкості прямолінійного руху – частковий і найбільш простий для аналізу випадок втрати стійкості кругових стаціонарних рухів достатньо великого радіусу. В останньому випадку необхідно ще визначити рівноважні значення фазових змінних, що відповідають круговим стаціонарним станам. Ясно, що значення критичної швидкості, що відповідає за втрату курсової стійкості таких кругових режимів при наближенні кута повороту керованих коліс до нуля прагне до критичної швидкості прямолінійного руху. Дослідження показують, що рівні поперечних коливань ланок автопоїзда визначають швидкості його руху в реальних умовах, а отже, стійкість руху АТЗ. При цьому, при дослідженні стійкості руху стає дуже важливим вибір математичної моделі, яка б найбільш повно враховувала реальні режими руху і поведінку ланок автопоїзда, перш за все, у поперечній площині.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є розробка математичної моделі автопоїзда з причепом категорії О₁ у поперечній площині.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

При дослідженні стійкості руху автопоїзда розглядають, як правило, плоскопаралельний рух його ланок. При цьому вважають, що нормальні реакції опірної поверхні на колеса правого і лівого борту однакові. За такої умови стійкість руху розглядають для плоскої моделі автопоїзда. Проте при високому розташуванні центра мас причепа можлива суттєва зміна реакцій опірної поверхні на його колеса. Тому необхідно розглянути рух автопоїзда як в горизонтальній, так і в поздовжній вертикальній і поперечній площинах.

У теорії керованого руху автопоїзда при моделюванні досить обґрунтованими вважаються наступні основні допущення [5]:

- автопоїзд рухається по рівній горизонтальній поверхні;
- невіднесена маса вважається такою, що не крениться;
- керуючий вплив на параметри руху автопоїзда здійснюється через керовані колеса тягового автомобіля, тому динаміка рульового управління не береться до уваги;
- не враховується наявність зазорів у тягово-зчіпному пристрої;
- подовжня швидкість руху автопоїзда постійна;
- відстань між ланками автопоїзда не змінюється через малість кутів складання;
- складові елементи автопоїзда є абсолютно твердими тілами:
- вантаж на автопоїзді розташований так, що центри мас тягового автомобіля і причепа, а також тягово-зчіпний пристрій, що з'єднує їх, розташовані у вертикальній площині симетрії ланки;
- за основну траєкторію приймається траєкторія центра мас тягача;
- взаємодія коліс з опірною поверхнею виражається через реакцію полотна дороги, що є функцією кута відведення, а саме [4]

$$Y_i = \frac{k_i \delta_i}{\sqrt{1 + k_i (\varphi^2 G_i^2)^{-1} \delta_i^2}},$$

де δ_i , Y_i – кути відведення та бічні реакції;

φ – коефіцієнт зчеплення між шиною і опірною поверхнею в поперечному напрямку (вважаємо φ сталою величиною для заданих дорожніх умов);

k_i – коефіцієнт опору бічному відведенню.

Основні кінематичні і динамічні властивості автопоїзда з причепом, як єдиної механічної системи тіл, залежать від фізичних явищ, що виникають при русі всіх його елементів і взаємодії останніх між собою. В свою чергу, ці явища визначаються геометрією і структурою автопоїзда.

Відмінності у конструкціях автопоїздів з причепами категорії О₁ у більшості випадків визначаються відмінностями у конструкції причіпних ланок, оскільки конструкція тягових автомобілів залишається незмінною.

У роботі [6] записана система рівнянь плоскопаралельного руху автопоїзда з двовісним причепом. Ця система може бути перетворена в систему рівнянь автопоїзда з одновісним причепом і записана у вигляді:

- для поздовжньої швидкості центра мас тягового автомобіля

$$\begin{aligned}
& (m+m_1)(\dot{V}-U\omega)+c\omega^2m_1-[m_1d_1[(\dot{\omega}-\ddot{\varphi}_1)\sin\varphi_1-(\omega-\dot{\varphi}_1)^2\cos\varphi_1]= \\
& =-(X_1\cos\theta_1+Y_1\sin\theta_1+X_1'\cos\theta_1'+Y_1'\sin\theta_1')-(X_2+X_2')-\sum_{j=1}^2[(X_{2j}+X_{2j}')\times\cos\varphi_1-(Y_{2j}+Y_{2j}')\sin\varphi_1; \\
& \text{для поперечної швидкості центра мас тягового автомобіля} \\
& (m+m_1)(\dot{U}-V\omega)-c\omega^2m_1-[m_1d_1\times[(\dot{\omega}-\ddot{\varphi}_1)\cos\varphi_1+(\omega-\dot{\varphi}_1)^2\sin\varphi_1]= \\
& =-(X_1\sin\theta_1-Y_1\cos\theta_1+X_1'\sin\theta_1'-Y_1'\cos\theta_1')+(Y_2+Y_2')-\sum_{j=1}^2(X_{2j}+X_{2j}')\times\sin\varphi_1+(Y_{2j}+Y_{2j}')\cos\varphi_1; \\
& - \text{ для кутової швидкості тягового автомобіля} \\
& I\omega+[\dot{\omega}c-(U+V\omega)]cm_1+cm_1d_1\times[(\dot{\omega}-\ddot{\varphi}_1)\cos\varphi_1+(\omega-\dot{\varphi}_1)^2\sin\varphi_1]= \\
& =H(X_1\cos\theta_1+Y_1\sin\theta_1-X_1'\cos\theta_1'-Y_1'\sin\theta_1')+\varepsilon(X_1+X_1')+a(Y_1\cos\theta_1-X_1\sin\theta_1) \\
& +Y_1'\cos\theta_1'-X_1'\sin\theta_1')+[(X_2-X_2')H_1-(Y_2+Y_2')b]-c\sum_{j=1}^2[(X_{2j}+X_{2j}')\sin\varphi_1+(Y_{2j}+Y_{2j}')\times\cos\varphi_1]. \\
& - \text{ для причепа} \\
& [I_1+m_1d_1^2]\times(\dot{\omega}-\ddot{\varphi}_1)+m_1d_1\times[(\dot{V}-U\omega+c\omega^2)\times\sin\varphi_1+(V\omega-\dot{U}-c\omega^2)\times\cos\varphi_1] \\
& =l_1(Y_{2j}+Y_{2j}')+M. \tag{1}
\end{aligned}$$

У системі рівнянь (1) прийняті наступні позначення:

v, u – поздовжня і бокова проекції швидкості точки C , тобто проекції швидкості точки C на осі рухомої системи координат, безпосередньо пов'язаної з тяговим автомобілем;

φ_1 – кут складання кінематично незалежних ланок автопоїзда;

$M_k=f(\varphi_1, \dot{\varphi}_1)$ – момент опору повороту причепа;

X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij} – поздовжні, бокові і вертикальні реакції опорної поверхні на колеса автопоїзда.

$a=CA, b=CB, c=CO_k; d_1=O_1C_1, c_1=C_1O_2, l_1=d_1+c_1$.

При дослідженні стійкості руху автопоїзда з причепом категорії O_1 система рівнянь плоскопаралельного руху (1) повинна бути доповнена рівняннями автопоїзда у поперечній площині.

У роботі [7] наведена методика побудови математичної моделі автомобіля у поперечній площині. Ця методика може бути використана і для побудови математичної моделі автопоїзда з причепом категорії O_1 .

Прийmemo, що автопоїзд рухається по горизонтальній поверхні зі сталою швидкістю, вертикальні переміщення та обертання кузова автомобіля і причепа навколо своєї поперечної осі (галопування) відсутні. Тобто для кожної ланки автопоїзда є три ступені волі:

- 1) бічний рух вздовж поперечної осі;
- 2) обертальний рух навколо вертикальної осі (рискання);
- 3) обертальний рух навколо поздовжньої осі (крен).

Розрахункова модель кожної ланки автопоїзда складається з невідресореної і відресореної маси. Вісь крену проходить паралельно опорній поверхні, центр мас кожної ланки автопоїзда лежить на вертикальній осі, з цією ж віссю перетинається вісь крену, яка співпадає з віссю Ox . У такому випадку маси m_n та m_n розташовуються відносно центру мас m автомобіля таким чином, що сума їх моментів відносно центру мас дорівнює нулю.

155

$$\Delta N_{2a} = \Delta N_{12a} + \Delta N_{22a},$$

де $\Delta N_{12a}, \Delta N_{22a}$ - зміна вертикального навантаження відповідно на переднє та заднє колесо другого борту автомобіля.

Складемо рівняння рівноваги сил відносно поздовжньої осі автомобіля:

$$\sum m_i (F_i) = 0 \quad \text{або} \quad \Delta N_{2a} \frac{B_a}{2} + m_a g h_{Cza} \sin \varphi + m_a a_{Cy} h_{Cza} \cos \varphi = 0,$$

де φ - кут крену підресорених мас автомобіля.

B_a – колія автомобіля

При крені автомобіля і причепа вправо (див. рис. 2) пружний елемент правої підвіски деформується на величину Δl_{22} , що за законом Гука визначає додаткову вертикальну силу:

$$\Delta N_{22a,n}^K = K_{Z22a,n} \Delta l_{22a,n},$$

де $K_{Z22a,n}$ – коефіцієнт пружності підвіски автомобіля і причепа.

Таким чином для коліс правого та лівого борту автомобіля і причепа можна записати

$$\Delta N_{22a,n}^K = K_{Z22a,n} \Delta l_{22a,n} = \frac{B}{2} \varphi K_{Z22a,n};$$

$$\Delta N_{21a,n}^K = K_{Z21a,n} \Delta l_{21a,n} = \frac{B}{2} \varphi K_{Z21a,n},$$

де $\frac{B}{2} \varphi$ - прогин пружного елемента підвіски автомобіля і причепа.

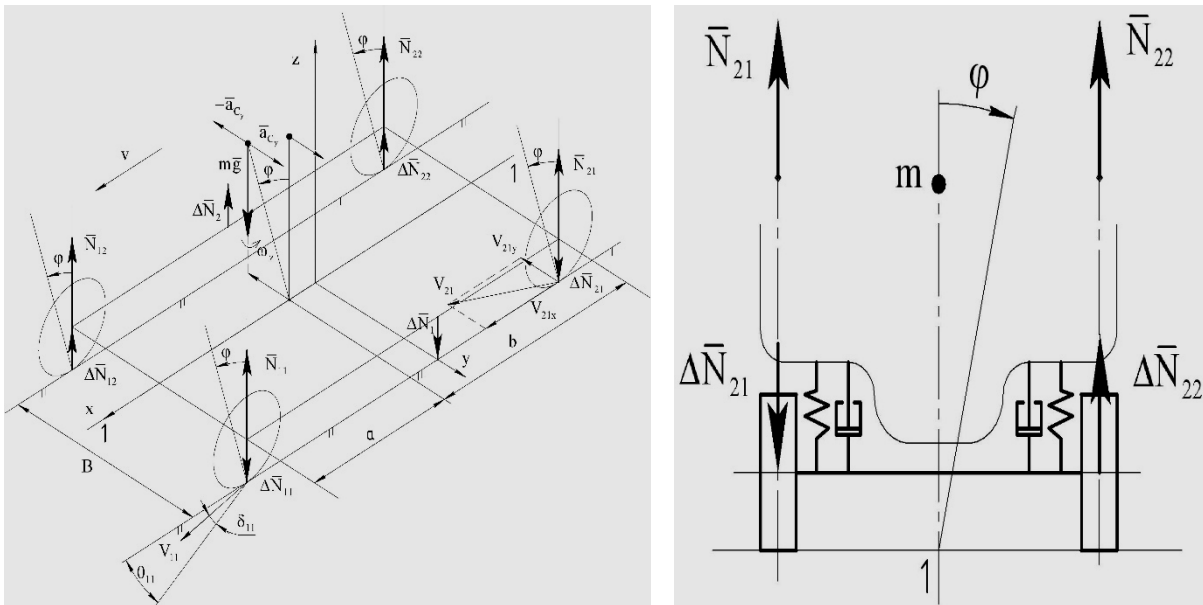


Рисунок 2 – Розрахункова схема автомобіля [7]

Крім цього, виникає додаткова сила $\Delta N_{22a,n}^\beta$ завдяки демпферному елементу, що дорівнює для коліс правого та лівого борту

$$\Delta N_{22a,n}^\beta = \frac{B_{a,n}}{2} \beta_{Z22a,n} \varphi;$$

$$\Delta N_{21a,n}^\beta = \frac{B_{a,n}}{2} \beta_{Z21a,n} \varphi,$$

де $\beta_{Z21a,n}, \beta_{Z22a,n}$ - коефіцієнти опору демпферних елементів підвіски автомобіля і причепа.

Тоді момент зовнішніх сил для автомобіля і причепа $M_{x,n}$ визначиться як:

$$M_{x,n} = -\Delta N_{2a,n} \frac{B_{a,n}}{2} + m_{a,n} g h_{Cza,n} \sin \varphi_{a,n} + m_{a,n} (\dot{u}_{a,n} + v_{a,n} \omega_{a,n}) h_{Cza,n} \cos \varphi_{a,n} + \Delta N_{1a,n} \frac{B_{a,n}}{2},$$

$$\text{де } \Delta N_{2a,n} = \Delta N_{22a,n} + \Delta N_{21a,n} = (\Delta N_{22a,n}^K + \Delta N_{22a,n}^\beta) + (\Delta N_{21a,n}^K + \Delta N_{21a,n}^\beta).$$

При крені кузова автомобіля і причепа на їх колеса почнуть діяти гіроскопічні моменти, які визначаються як [7];

- для гіроскопічного моменту, що діє на колесо автомобіля і причепа, яке нахилиється в результаті крену

$$M_{\dot{a},\ddot{x}}^{\ddot{a}\ddot{x}} = I_{Ka,n} \omega_{Ka,n} \omega_{x,n} = I_{Ka,n} \frac{v_{a,n}}{r_{Ka,n}} \omega_{x,n}$$

- для гіроскопічного моменту, що діє на кероване колесо автомобіля, яке повертається через рульове керування

$$M_{\dot{a}}^{\ddot{a}\ddot{x}} = I_{Ka} \omega_{Ka} \omega_{za} = I_{Ka} \frac{v_a}{r_{Ka}} \omega_{za},$$

де $I_{Ka,n}$ – момент інерції колеса автомобіля (причепа) щодо осі у;

$r_{Ka,n}$ – радіус колеса автомобіля і причепа.

Отже, можна записати рівняння руху моделі автопоїзда в поперечній площині:

$$m_a (\dot{u}_a + v_a \omega_{za}) = m_a h_{Cza} \dot{\omega}_{xa} + (Y_1 + Y_2);$$

$$L_{ZZa} \dot{\omega}_{za} - L_{ZXa} \dot{\omega}_{xa} = a Y_1 - b Y_2 - J_{Ka} \frac{v_a}{r_{Ka}} \omega_{xa};$$

$$I_{XXa} \dot{\omega}_{xa} - I_{XZa} \dot{\omega}_{za} =$$

$$= -\Delta N_{2a} \frac{B_a}{2} + m_a g h_{Cza} \sin \varphi_a + m_a (\dot{u}_a + v_a \omega_a) h_{Cza} \cos \varphi_a + \Delta N_{1a} \frac{B_a}{2} + I_{Ka} \frac{v_a}{r_{Ka}} \omega_{za};$$

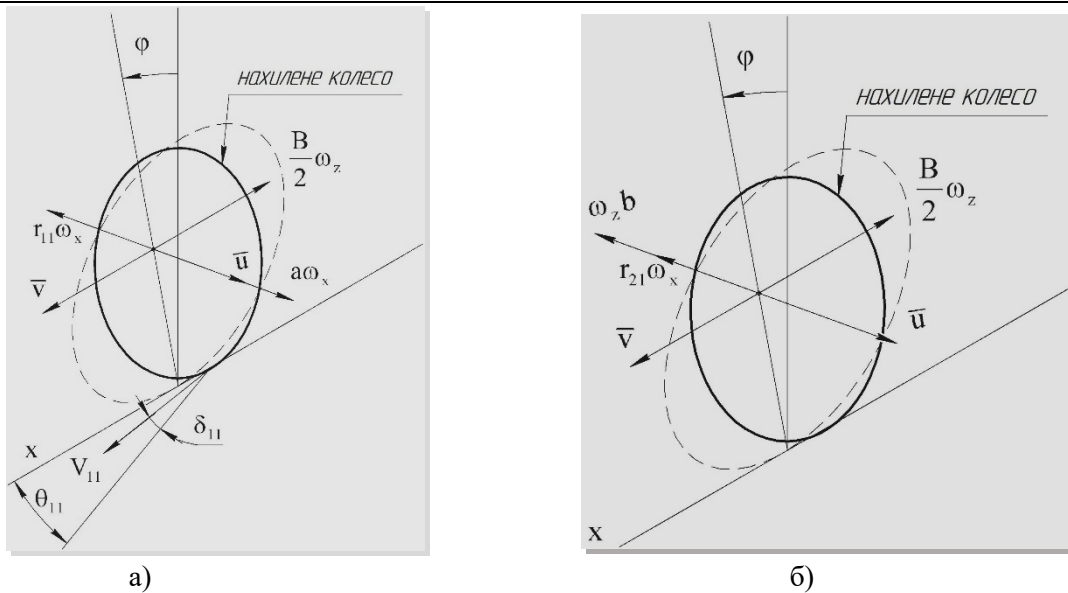
$$L_{ZZn} \dot{\omega}_{zn} - L_{ZXn} \dot{\omega}_{xn} = d Y - J_{Kn} \frac{v_n}{r_{Kn}} \omega_{xn};$$

$$I_{XXn} \dot{\omega}_{xn} - I_{XZn} \dot{\omega}_{zn} =$$

$$= -\Delta N_{2n} \frac{B_n}{2} + m_n g h_{Czn} \sin \varphi_n + m_n (\dot{u}_n + v_n \omega_n) h_{Czn} \cos \varphi_n + \Delta N_{1n} \frac{B_n}{2} + I_{Kn} \frac{v_n}{r_{Kn}} \omega_{zn}.$$

Крен кузова автомобіля і причепа і нахилі їх коліс у поперечній площині призведе до зміни кутів відведення і відповідно сил опору відведенню.

Визначимо сили опору відведення, для коліс, які нахилиються в результаті крену автомобіля і причепа. На рис. 3а представлено колесо передньої осі автомобіля, а на рис. 3б – колесо задньої осі автомобіля і осі причепа.



а) б)
Рисунок 3 – Схема кочення колеса передньої (а) і задньої осі (б) автомобіля і причепа [7]

Використовуючи рис. 2 та рис. 3 маємо

$$V_{21Xa,n} = V_{a,n} - \frac{B_{a,n}}{2} \omega_{Za,n};$$

$$V_{21Ya,n} = \omega_{Za,n} b_{a,n} + r_{21a,n} \omega_{Xa,n} - u_{a,n}.$$

Визначимо кути відведення коліс задньої осі автомобіля і причепа:

$$\delta_{21a,n} = \frac{V_{21Ya,n}}{V_{21Xa,n}} = \frac{\omega_{Za,n} b_{a,n} + r_{21a,n} \omega_{Xa,n} - u_{a,n}}{V_{a,n} - \frac{B_{a,n}}{2} \omega_{Za,n}};$$

$$\delta_{22a,n} = \frac{V_{22Ya,n}}{V_{22Xa,n}} = \frac{\omega_{Za,n} b_{a,n} + r_{22a,n} \omega_{Xa,n} - u_{a,n}}{V_{a,n} + \frac{B_{a,n}}{2} \omega_{Za,n}}.$$

Аналогічно визначаються кути відведення для переднього колеса автомобіля:

$$\delta_{11a} = \theta - \frac{V_{11Ya}}{V_{11Xa}} = \theta - \frac{\omega_{Za} b_a - r_{11a} \omega_{Xa} + u_a}{V_a - \frac{B_a}{2} \omega_{Za}};$$

$$\delta_{12a} = \theta - \frac{V_{12Ya}}{V_{12Xa}} = \theta - \frac{\omega_{Za} b_a - r_{12a} \omega_{Xa} + u_a}{V_a + \frac{B_a}{2} \omega_{Za}}.$$

Сили відведення визначаються за рівнянням

$$Y_{ij} = k_{ij} \delta_{ij} + \gamma_{ij} \varphi_{ij},$$

де k_{ij} – коефіцієнти опору відведенню коліс автомобіля і причепа;

γ_{ij} – коефіцієнт пропорційності, що залежить від конструкції шини, тиску повітря в ній, нормального навантаження і властивостей опорної поверхні, по якій котиться колесо [8].

Розглянута просторова модель автомобільного поїзда при відсутності нахилу коліс автомобіля і причепа $(\gamma_{ij}, \varphi_{ij}) = 0$ має таку ж характеристику дивергентної втрати стійкості, що й для плоскої одномасової велосипедної схеми автопоїзда. Аналіз стійкості в загальному випадку просторової

моделі потребує подальшого дослідження, наприклад, можлива флатерна втрата стійкості, що буде відбуватись раніше дивергентної стійкості. Складність аналізу буде пов'язана із визначенням необхідних параметрів, що характеризують підвіску, шини, відцентрові моменти інерції.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.

Показано, що просторова модель автомобільного поїзда при відсутності нахилу коліс автомобіля і причепа має таку ж характеристику дивергентної втрати стійкості, що й для плоскої одномасової велосипедної схеми автопоїзда. Аналіз стійкості в загальному випадку просторової моделі потребує подальшого дослідження, наприклад, можлива флатерна втрата стійкості, що буде відбуватись раніше дивергентної стійкості. Складність аналізу буде пов'язана із визначенням необхідних параметрів, що характеризують підвіску, шини, відцентрові моменти інерції, що діють як на автомобіль, так і причіп.

ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

- удосконалена система рівнянь плоскопаралельного руху автопоїзда з одновісним причепом категорії O_1 ;
 - визначені бічні реакції на колесах автомобіля і причепа при крені кузова;
 - визначені кути відведення коліс автомобіля і причепа, обумовлені їх креном кузова;
 - розроблено просторову математичну модель автомобільного поїзда у поперечній площині.
- Така модель може використовуватись для дослідження курсової стійкості руху автомобільних поїздів, зокрема з причепами категорії O_1 . З її використанням можна уточнити параметри курсової такого автопоїзда;

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Стельмашук В.В. До питання комплектації автопоїзда з причепом категорії O_2 / В.В.Стельмашук, Р.В.Пазін // Науковий журнал // Вісник Машинобудування та транспорту. Вінниця, 2016 - № 2. – С. 97-105.
2. Литвинов Л.С. Управляемость и устойчивость автомобиля. – М.: Машиностроение, 1971. – 416 с.
3. Трехзвенные автопоезда / Я.Е.Фаробин, А.М.Якобашвили, А.М.Иванов и др. Под общ. ред. Я.Е.Фаробина – Машиностроение, 1993. – 224 с.: ил.
4. Автомобили. Устойчивость: Монография / В.Г.Вербицкий, В.П.Сахно, А.П. Кравченко, А.В.Костенко, А.Э.Даниленко. – Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2013. – 176 с.: ил.
5. Сахно В.П. До визначення показників маневреності і стійкості автопоїзда категорії $M1$ / В.П.Сахно, Р.М.Кузнецов, В.В.Стельмашук, Л.С.Козачук // Вісник СевНТУ. Збірник наукових праць. Серія Машиноприладобудування та транспорт. – Випуск 152/2014. – С. 48-51.
6. Сахно В.П. Вплив конструктивних і експлуатаційних факторів на стійкість руху автопоїздів категорії $M1$ / В.П.Сахно, В.В.Стельмашук, Л.С.Козачук // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – №2-3. – 2014. – С.83-92.
7. До питання про розробку математичної моделі легкового автомобіля з урахуванням крену / В.П. Сахно, В.Г. Вербицкий, А.В. Костенко, О.С. Волохов, Д.М. Яценко // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Науковий журнал. – 2011. – №8. – С. 166 – 171.
8. Эллис Д.Р. Управляемость автомобиля: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1975 – 216 с.

REFERENCES

1. Stelmashchuk V.V. On the issue of completing a road train with a trailer of category $O2$ / V.V. Stelmashchuk, R.V. Pazin // Scientific journal // Bulletin of Mechanical Engineering and Transport. Vinnytsia, 2016 - № 2. - P. 97-105.
2. Litvinov L.S. Controllability and stability of the car. – M.: Mechanical engineering, 1971. - 416 p.
3. Three-link road trains / J.E. Farobin, A.M. Yakobashvili, A.M. Ivanov, etc. Under LS. ed. Ya.E.Farobina - Mechanical Engineering, 1993. - 224 p.: ill.
4. Cars. Stability: Monograph / V.G. Verbitsky, V.P. Sakhno, A. P. Kravchenko, A.V. Kostenko, A.E. Danilenko. – Lugansk: Knowledge Publishing House, 2013. – 176 p.: ill.
5. Sakhno V.P. To determine the indicators of maneuverability and stability of the road train category $M1$ / V.P. Sakhno, R.M. Kuznetsov, V.V. Stelmashchuk, L. S. Kozachuk // Bulletin of SevNTU. Collection of scientific works. Mechanical engineering and transport series. - Issue 152/2014. - P. 48-51.

6. Sakhno V.P. Influence of constructive and operational factors on stability of movement of auto-trains of category M1 / V. P. Sakhno, V.V. Stelmashchuk, L.S. Kozachuk // Bulletin of Donetsk academy of motor transport. - №2-3. - 2014. - P.83-92.

7. On the question of developing a mathematical model of a car taking into account the roll / V.P. Sakhno, V.G. Verbytsky, A.V. Kostenko, O.S. Volokhov, D.M. Yashchenko // Project Management, Systems Analysis and Logistics. Scientific journal. - 2011. - №8. – P. 166 - 171.

8. Ellis D.R. Car handling: Lane. с англ. – М.: Машиностроение, 1975 - 216 с.

V. Sakhno, S. Sharai, I. Murovanyi, I. Chovcha. To the development of a mathematical model of a road train with a category O1 trailer in the transverse plane.

Stability and handling are the most important indicators of quality among the performance properties of vehicles stored in all modes. The choice of design parameters of vehicles that provide these properties increases the active safety of operation and reduces the likelihood of accidents in transport operations. Stability and controllability of vehicles together must ensure the driver's confidence in the implementation of the specified driving mode, eliminate the involuntary occurrence of dangerous deviations from the mode and maintain the possibility of rapid adjustment with subsequent stabilization.

The curvilinear or close to it mode of movement is the main among possible in work of the M1 category road trains. Today, the current intensive flows of vehicles stored traffic on public roads with their constant forced "permutations" cause the problem of the possibility of rapid adjustment of the straight course after moving to the adjacent lane and ensuring stability at the same time.

In the study of the stability of the road train consider a plane-parallel motion of its links. It is believed that the normal reactions of the support surface on the wheels of the starboard and port sides are the same. However, with a high location of the center of mass of the trailer, a significant change in the reactions of the support surface on its wheels is possible. Therefore, the movement of the road train was considered both in the horizontal and in the longitudinal vertical and transverse planes.

As a result of the conducted researches the equations system of plane-parallel motion of a road train with uniaxial trailer of category O1 is improved, lateral reactions on wheels of the car and the trailer at a body roll, wheel angles of the car and the trailer are defined.

Key words: road train, course stability, controllability, plane-parallel motion, mathematical model, speed of movement, transverse plane.

САХНО Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобілів Національного транспортного університету, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua. <https://orcid.org/0000-0002-5144-7131>

ШАРАЙ Світлана Михайлівна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету, e-mail: Svetasharai@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-6568-4990>

МУРОВАНИЙ Ігор Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, декан факультету транспорту та механічної інженерії Луцького національного технічного університету, e-mail: igor_lntu@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-9749-980X>

ЧОВЧА Ірина Василівна, аспірант кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua

Volodymyr SAKHNO, Doctor of Science in Engineering, Professor, Head of Automobiles Department, National Transport University, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua. <https://orcid.org/0000-0002-5144-7131>

Svitlana SHARAI, PhD. in Engineering, Associate Professor, Professor, Department of International Transport and Customs Control, National Transport University, e-mail: Svetasharai@gmail.com <http://orcid.org/0000-0001-6568-4990>

Igor MUROVANYI, PhD. in Engineering, Assoc. Professor, Dean of the Faculty of Transport and Mechanical Engineering, Lutsk National Technical University, e-mail: igor_lntu@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-9749-980X>

Irina CHOVCHA, graduate student of the Department of Automobiles, National Transport University, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua.

DOI 10.36910/automash.v2i17.645

Хаврук В.О., Пархоменко О.О.
Національний транспортний університет, Київ, Україна

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

У роботі розглядається питання оцінки ефективності експлуатації вантажних автомобілів. Встановлено, що ефективність експлуатації автомобілів функціонально пов'язана з економічною ефективністю, надійністю і безвідмовністю автомобілів – зв'язок між якими представлено у вигляді структурно-функціональної схеми.

З'ясовано, що чистий прибуток автотранспортного підприємства залежить від трьох складових: тарифної вартості перевезень, собівартості перевезень і величини податків.

Наведені формули для визначення собівартості перевезень вантажів, витрат на транспортування вантажу, умовно-технічних витрат. В структурі умовно-технічних витрат розглянуті витрати: на паливо, на мастильні матеріали, на шини, на запасні частини і матеріали при виконанні технічного обслуговування і ремонту рухомого складу.

На основі аналізу структури собівартості перевезень вантажів автомобілями встановлено десять показників, якими визначаються «незаплановані» витрати, такі наприклад, як: витрати, пов'язані зі збільшенням відстані транспортування вантажу; витрати, пов'язані з ушкодженням і втратою вантажу; витрати, пов'язані з додатковим зберіганням вантажу; витрати, пов'язані зі збільшенням вартості підготовки вантажу до перевезення; витрати, пов'язані зі збільшенням вартості складування вантажу.

Встановлено, що умовно-постійні витрати (витрати на амортизацію, накладні витрати, величина податків) не впливають істотно на величину річного економічного ефекту при оновленні рухомого парку.

Отримані залежності для визначення: питомих умовно-технічних витрат на експлуатацію автомобіля при доставці вантажів; величини річного економічного ефекту, що досягається власником вантажних автомобілів при оновленні рухомого складу.

Ключові слова: вантажний автомобіль, критерій, рухомий склад, собівартість, умовно-організаційні витрати, умовно-технічні витрати.

ВСТУП

Оцінка ефективності експлуатації вантажних автомобілів здійснюється на основі розрахунків сукупності показників і складових, якими визначаються витрати на рухомий склад (РС) і величини доходу, який отримує автотранспортне підприємство (АТП) від перевезення вантажів. При цьому АТП не завжди отримує прибуток від своєї діяльності, такий стан справ зумовлений двома взаємопов'язаними причинами – низьким використання наявного РС і високими поточними витратами АТП, включаючи експлуатаційні витрати. А тому, з'ясування методики розрахунків основних показників, якими характеризується ефективність експлуатації вантажних автомобілів є важливим для діяльності АТП, які прагнуть зменшити поточні витрати і збільшити величину чистого прибутку.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Проблемі підвищення ефективності експлуатації вантажних автомобілів приділяється значна увага науковців, зокрема дану проблему досліджують: Боричов С.М., Бочкарьова М.М., Гудков В.О., Захаров М.С., Мигачов В.А., Паулі М.В., Пеншин М.В., Резник Л.Г., Фасх'єв А.Х. Дослідження даної проблематики здійснюється у напрямках визначення витрат на технічний стан та експлуатацію вантажних автомобілів [1–5], удосконалення системи технічного обслуговування і ремонту РС [6], удосконалення процесів прийняття управлінських рішень [7].

Прагнення автоперевізників оновлювати РС є цілком виправданим в умовах конкуренції, при цьому для АТП актуальним питанням є оцінка ефективності експлуатації наявних вантажних автомобілів і прийняття рішення щодо оновлення. Оскільки не завжди утримання вартісних вантажівок в АТП гарантує високі прибутки з перевезень, надійність таких автомобілів висока, але також високі експлуатаційні витрати (наприклад вартість запасних частин, мастильних матеріалів і т.д.).

Методики розрахунку ефективності експлуатації вантажних автомобілів являють собою певний алгоритм громіздких математичних обчислень сукупності показників, якими характеризуються витрати і дохідні статті діяльності АТП.

Одна із методик розрахунку ефективності експлуатації вантажних автомобілів представлена в роботі Мигачова В.А. [8], який зосередив особливу увагу на визначенні експлуатаційних витрат.

Зважаючи на те, що методика розрахунку ефективності експлуатації вантажних автомобілів досить детально обґрунтована науковцем, але для її застосування необхідно здійснити ґрунтовний аналіз, а тому постає необхідність у додатковому дослідженні складових методики.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основна мета дослідження – розглянути показники, якими характеризується ефективність експлуатації вантажних автомобілів, з'ясувати формули для їх визначення. Система таких показників визначає зміст методики розрахунку ефективності експлуатації вантажних автомобілів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

При визначенні ефективності парку вантажних автомобілів необхідно відрізнити економічну ефективність експлуатації і загальніше поняття ефективності, що включає не лише економічні, але і соціальні, екологічні аспекти, пов'язані з експлуатацією автомобілів [5]. Нині ефективність експлуатації автомобілів функціонально пов'язана з економічною ефективністю, надійністю і безвідмовністю автомобілів (рис. 1) [7].

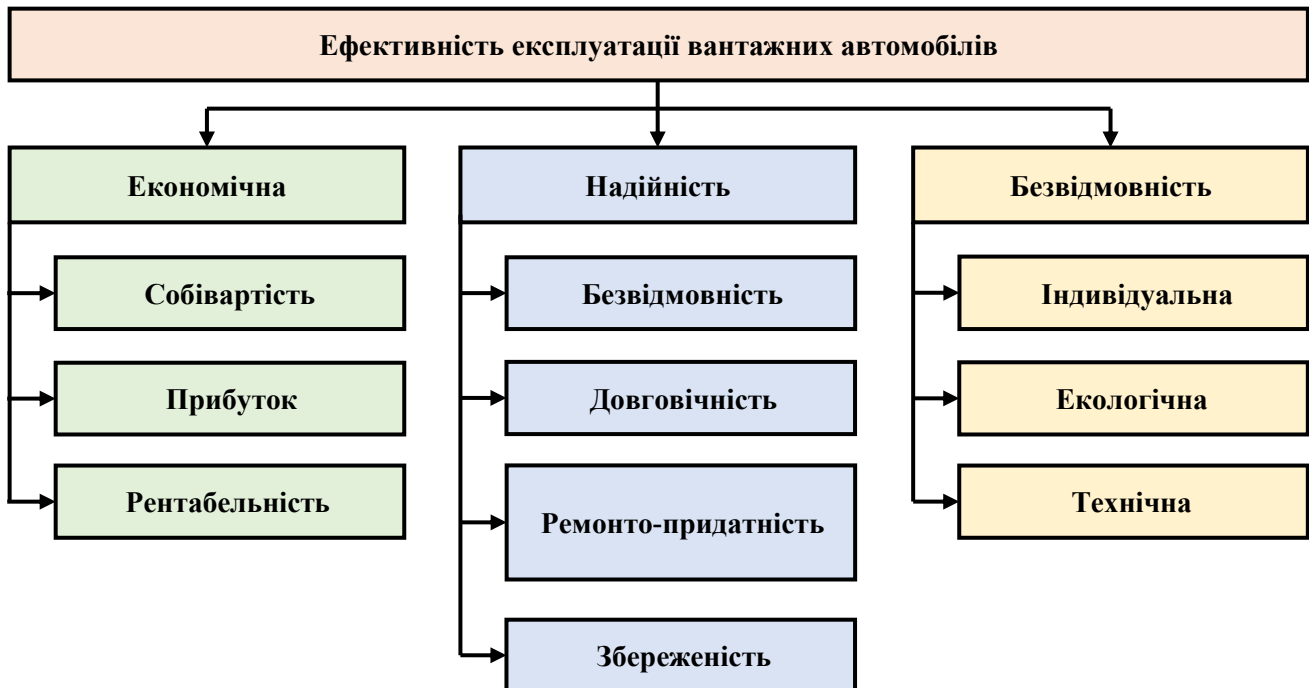


Рисунок 1 – Структурно-функціональна схема зв'язків при розгляді ефективності експлуатації вантажних автомобілів [8, с. 51]

Підвищення прибутку РС можливо в наслідок зміни (підвищення) продуктивності парку, зміни (зниження) витрат на транспортування вантажу. При цьому підвищується вантажообіг і (або) зменшується собівартість перевезень, що призводить до зростання економічного ефекту (зрештою і прибутку) у власника парку рухомого складу.

Загальна залежність чистого прибутку АТП має вигляд [8, с. 52]:

$$P_{\text{чис}} = f(T_{\text{річ}}, S_{\text{річ}}, \Sigma \text{ПОД}_{\text{річ}}), \text{ грн}, \quad (1)$$

де $T_{\text{річ}}$ – тарифна вартість перевезення річного вантажопотоку, грн;

$S_{\text{річ}}$ – річна собівартість перевезень, грн;

$\Sigma \text{ПОД}_{\text{річ}}$ – податки автотранспортного підприємства, грн.

Для виявлення резервів підвищення ефективності експлуатації вантажних автомобілів (в даному випадку прибутку власника рухомого складу) виконаємо аналіз змінних, що впливають на її значення.

$T_{\text{річ}}$ – тарифна вартість перевезення річного вантажопотоку, грн, визначає валовий дохід або виручку від реалізації послуг робіт АТП з перевезення вантажів. Тарифна вартість перевезення визначається величиною тарифу, який є ціною перевезень вантажів. В даний час тарифи формуються на ринкових умовах на основі витрат, попиту і пропозиції. Підвищення тарифу на перевезення з метою підвищення прибутку АТП може призвести до зворотного, коли клієнти можуть відмовитися від послуги на користь конкуруючих підприємств. Позитивний ефект використання цього ресурсу

можливий тільки в тих випадках коли підприємство явно сильніше за конкурентів або є інші гарантії, що дають упевненість у збереженні клієнтської бази АТП.

$S_{річ}$ – річна собівартість перевезень. Для виявлення резервів для підвищення прибутку автотранспортних підприємств структурні складові статей собівартості необхідно розділити на дві підгрупи. У першу включають статті, величина яких безпосередньо залежить від технічних особливостей вантажних автомобілів. Це витрати на паливо, мастильні та інші експлуатаційні матеріали, витрати на знос і відновлення автомобільних шин і витрати на ТО і ремонт. У другу групу включають статті, величини яких визначаються організаційними особливостями функціонування АТП. Це заробітна плата водіїв, відрахування на соціальні потреби, амортизація рухомого складу і загальногосподарські витрати.

З позиції знаходження резервів підвищення прибутку підприємства найбільший інтерес представляє перша група, оскільки величини значень цих статей варіюються в значних межах в залежності від типу, моделі, модифікації вантажних автомобілів.

$\Sigma ПОД_{річ}$ – податки транспортних підприємств. Виконаємо аналіз податків, що стягуються державою з автотранспортних підприємств. З валового прибутку стягуються податки: на прибуток (18% від валового прибутку); на додану вартість – ПДВ (20%); земельний (ставка податку за земельні ділянки, нормативну грошову оцінку яких проведено, встановлюється у розмірі не більше 3% від їх нормативної грошової оцінки).

Величина податків мало залежить від типу рухомого складу, отже, при виборі парку змінюватиметься мало. Таким чином, аналіз складових залежності (1) показав, що єдиний значимий змінний при формуванні залежності (1) прибутку АТП при виборі найбільш раціонального парку автомобілів є величина собівартості перевезень $S_{річ}$.

Собівартість перевезень характеризує широкий спектр факторів, що впливають на прибуток підприємства. Проаналізуємо статті собівартості, з метою виявлення параметрів що впливають на формування її величини:

1) заробітна плата водіїв і відрахування на соціальні потреби. Величина цієї статті визначається чисельністю водіїв, зайнятих в перевізному процесі, формою оплати праці і її величиною.

Чисельність водіїв на заданий обсяг перевезень визначається за формулою [8, с. 54]:

$$P_{вод} = \frac{D_p \cdot d_n \cdot \alpha_T \cdot A_{cn}}{\Phi_{вод}}, \text{ люд}, \quad (2)$$

де D_p – кількість днів роботи АТП за рік, днів;

d_n – тривалість робочого дня, год.;

α_T – коефіцієнт технічної готовності;

A_{cn} – облікова кількість автомобілів АТП, од.;

$\Phi_{вод}$ – річний фонд робочого часу водіїв, год.

Як видно з формули (2) на кількість водіїв впливає форма організації перевізного процесу і фактична кількість автомобілів, що використовується в перевезеннях. Річний фонд робочого часу водіїв визначається кількістю робочих днів тривалістю робочої зміни.

Відрахування на соціальні потреби становлять 21,5% (22% – ЄСВ + 1,5% – військовий збір) від заробітної плати. Ці засоби мають соціальний характер, тобто безпосередньо визначають соціальну складову ефективності експлуатації автомобілів.

2) амортизація рухомого складу. Нині фонд амортизаційних відрахувань, навіть якщо він формується, може бути спрямований не просто на відновлення вартості автомобілів, а в цілому на розвиток підприємства, за бажанням керівництва підприємства;

3) автомобільне паливо. Витрати на автомобільне паливо визначається його вартістю і фактичною витратою при експлуатації вантажних автомобілів. Вартість палива встановлюється в ринкових умовах, тобто величиною попиту і пропозиції. Це мало керований підприємством і мало передбачуваний фактор, який залежить від сукупності процесів, що проходять в макроекономіці. Витрата палива при експлуатації вантажних автомобілів безпосередньо визначається їх технічними характеристиками, як техніко-експлуатаційними, так і технічним станом вантажних автомобілів [9].

Витрата палива визначається парком, моделлю вантажних автомобілів, умовами їх експлуатації, технічним станом автомобілів, характером перевезень, раціональністю маршрутів перевезень, парком вантажу, що перевозиться. Існуючі методики нормування витрати палива [1; 3]

враховують усі ці фактори, отже, облік їх у формуванні прибутку підприємства досить простий, але в той же час враховує безліч технічних і технологічних факторів;

4) мастильні та експлуатаційні матеріали. Величина цієї статті залежить від ціни цих матеріалів і їх ринкової вартості, отже ця стаття характеризує сукупність технічних і технологічних факторів, що впливають на формування прибутку, але в теж час досить просто визначається за існуючими методиками [1; 3; 5; 6].

5) знос і ремонт автомобільних шин. Ця стаття собівартості враховує витрати підприємства по-перше на закупівлю нових шин в заміні зношених і по-друге витрати на відновлення працездатності шин в процесі їх експлуатації. Витрати на шини визначаються [8, с. 55]:

$$Z_{ш} = N_{ш} \cdot C_{ш} + \frac{H_{ш}}{100} \cdot k_{ш} \cdot C_{ш} \cdot n_{ш} \cdot \frac{L_{заг}}{1000}, \text{ грн}, \quad (3)$$

де $C_{ш}$ – ціна одного комплексу шин (покришка, камера, ободна стрічка), грн;

$N_{ш}$ – річний знос шин, од.;

$H_{ш}$ – норма зносу і ремонту шин у % до вартості комплексу на 1000 км пробігу %;

$k_{ш}$ – коефіцієнт коригування норми пробігу шин, що враховує умови експлуатації рухомого складу і перепробіг шин;

$n_{ш}$ – кількість шин на автомобілів, од.;

$L_{заг}$ – пробіг автомобіля за рік, км.

Перший доданок у формулі (3) характеризує вартість шини і їх кількість на автомобілі, тобто безпосередньо характеризує парк автомобіля, його модель і марку, а також перевагу власника автомобіля у встановленні тієї або іншої моделі шини на автомобіль. Тобто побічно характеризує виробничу потужність підприємства і організацію ремонтного виробництва. Другий доданок характеризує якість використовуваних на автомобілі шин, умови експлуатації автомобілів, якість роботи водіїв, режими роботи автомобілів. Таким чином, цей параметр враховує велику сукупність факторів, що впливають на прибуток підприємства і ефективність експлуатації вантажних автомобілів;

6) технічне обслуговування (ТО) і ремонт автомобілів. Розрахунок витрат на технічне обслуговування і ремонт вантажних автомобілів здійснюється через норми витрат, що встановлюються в грн на 1000 км пробігу. Дані норми були розроблені на деякі моделі автомобілів [10]. Нині дані норми можна використати з урахуванням індексації у відповідності з ринковою вартістю запасних частин і матеріалів і надійності автомобілів в умовах функціонування транспортних підприємств. Складніше визначати витрати для нових моделей імпортованих вантажних автомобілів, для яких подібні норми встановлені не були. В цьому випадку на підприємстві необхідно організовувати роботи по накопиченню і обробці статистичної інформації по фактичній витраті запасних частин і ринкової їх вартості;

7) загальногосподарські витрати. Ця стаття собівартості експлуатації автомобілів приймається рівною 25% від суми витрат попередніх статей собівартості експлуатації автомобілів, а отже побічно враховує сукупність факторів, що впливають на прибуток підприємства і ефективність експлуатації автомобілів.

Значення статей собівартості також досить просто розраховуються за відомими методиками [5; 6; 9; 11–13].

Структура собівартості перевезень вантажів автомобілями [14]:

$$\Sigma S = (S_{НР} + S_{ПВ} + S + S_x) \cdot W_Q + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_9 + R_{10}, \text{ грн}, \quad (4)$$

де W_Q – обсяг перевезень, т;

$S_{НР}$ – витрати на навантажувально-розвантажувальні роботи, грн/т;

$S_{ПВ}$ – витрати на підготовку вантажу до перевезення, грн/т;

S – витрати на транспортування 1 т вантажу, грн/т;

S_x – витрати на складування вантажу, грн/т;

R_1 – витрати, пов'язані зі збільшенням відстані транспортування вантажу, грн;

R_2 – витрати унаслідок невідповідності рухомого складу роду і характеру вантажу, що перевозиться, грн;

R_3 – витрати, пов'язані з ушкодженням і втратою вантажу, грн;

R_4 – витрати, пов'язані з виконанням додаткового навантажувального-розвантажувальних робіт, грн;

R_5 – витрати, пов'язані з додатковим зберіганням вантажу, грн;
 R_6 – витрати, пов'язані з інерційністю транспортного процесу, грн;
 R_7 – витрати, пов'язані зі збільшенням вартості транспортування, грн;
 R_8 – витрати, пов'язані зі збільшенням вартості навантажувального-розвантажувальних робіт, грн;
 R_9 – витрати, пов'язані зі збільшенням вартості підготовки вантажу до перевезення, грн;
 R_{10} – витрати, пов'язані зі збільшенням вартості складування вантажу, грн.
 Витрати на транспортування вантажу мають наступну структуру [12; 13]:

$$S = S_{II} + S_{MM} + S_{TOP} + S_{III} + S_{AM} + S_H + S_D, \text{ грн}, \quad (5)$$

де S_{II} – витрати на паливо, грн;
 S_{MM} – витрати на мастильні та інші експлуатаційні матеріали, грн;
 S_{TOP} – витрати на ТО і ремонт, грн;
 S_{III} – витрати на відновлення зносу і ремонт шин, грн;
 S_{AM} – витрати на амортизацію, грн;
 S_H – накладні витрати, грн;
 S_D – витрати на податки, грн.

Ці експлуатаційні витрати на вантажні перевезення автомобілями, можна розділити на умовно-технічні витрати (UTB) – змінні: S_{II} , S_{MM} , S_{TOP} , S_{III} та умовно-організаційні витрати (VOB) – умовно-постійні: S_{AM} , S_H , S_D . Остання група складових змінюється при оновленні парку автомобілів приблизно однаково при будь-якому варіанті вибору, тому при подальших розрахунках нею можна нехтувати.

На практиці витрати по статтях собівартості: на паливо S_{II} , мастильні та інші експлуатаційні матеріали S_{MM} і відновлення зношених і ремонт шин S_{III} визначаються по існуючих методиках, і в достатній мірі відповідають фактичним виробничим значенням [2; 4–6; 10; 12; 15]. Витрати на ТО і ремонт S_{TOP} в даних методиках складаються з витрат на оплату праці ремонтних робітників $B_{зпРемР}$, витрат на запасні частини і матеріали $B_{зчМ}$. Витрати на ТО і ремонт розраховуються, виходячи з питомих норм на конкретні моделі автомобілів $H_{ТОіР}$, грн/1000 км. Наявні значення цієї норми були розроблені на застарілі моделі автомобілів і в даний час використовуються з урахуванням коефіцієнтів індексації, на зарубіжні моделі автомобілів і сучасні вітчизняні їх зовсім немає. Крім того, співвідношення складових заробітної плати ремонтного персоналу $B_{зпРемР}$ і витрати на запасні частини і матеріали $B_{зчМ}$ в питомих нормах $H_{ТОіР}$ нині змінилися в порівнянні з тими, які були закладені при їх розробці на початку 90-х років XX ст. У даних нормах частка витрат на заробітну плату ремонтних робітників розраховувалась на основі тарифних ставок слюсаря 3-го розряду і на них припадало 30–40%, на запасні частини і матеріали 60–70%. Нині з причини різного рівня годинних тарифних ставок ремонтних робітників на підприємствах, які можуть значно відрізнятися навіть в межах одного регіону, частки складових питомих норм $H_{ТОіР}$ відрізняються від тих, які були розроблені раніше. Тому в цю статтю витрат включатимемо тільки витрати на запасні частини і матеріали, що використовуються при ТО і ремонті автомобілів, позначивши їх – $S_{зчМ}$. Витрати на оплату праці ремонтних робітників $B_{зпРемР}$ відносимо до групи «умовно-організаційні» (формула 5).

Тоді умовно-технічні витрати мають вигляд [8, с. 58]:

$$UTB = S_{II} + S_{MM} + S_{III} + S_{зчМ}, \text{ грн}, \quad (6)$$

Цей показник використання вантажних автомобілів опосередковано враховує в грошовому еквіваленті:

- 1) конструктивні особливості автомобіля, безпосередньо пов'язані з роботою рухомого складу на лінії;
- 2) фактичну надійність автомобіля в конкретних умовах функціонування АТП;
- 3) ефективність автомобіля до конкретних умов експлуатації;
- 4) вартість і витрату запасних частин і матеріалів для конкретної моделі автомобіля.

Цей показник дозволяє:

- 1) оцінювати ефективність використання автомобілів в грошовому еквіваленті;
- 2) порівнювати ефективність різних марок і моделей автомобілів в грошовому еквіваленті;
- 3) вибирати найбільш раціональний парк рухомого складу;
- 4) побічно оцінювати ефективність роботи служби експлуатації автомобілів на різних АТП в грошовому еквіваленті.

Проаналізувавши умовно-технічні витрати (УТВ) при використанні автомобілів, отримуємо.

1) витрати на паливо [8, с. 59]:

$$S_{\Pi} = B_{\Pi} \cdot Q_{\Pi} = B_{\Pi} \cdot 0,01 \cdot (H_L \cdot L + H_{ткм} \cdot W)(1 + 0,01 \cdot k), \text{ грн}, \quad (7)$$

де B_{Π} – вартість 1 л палива, грн;

Q_{Π} – витрата палива, л;

H_L – норма витрати палива автомобіля, л/100 км;

L – пробіг автомобіля за звітний період, км;

$H_{ткм}$ – норма витрати палива на транспортну роботу, л/100 тис. км;

k – надбавка, що враховує умови експлуатації, %.

W – обсяг транспортної роботи, тис. км.

$$W = Q_B \cdot L_{EB}, \text{ тис. км}, \quad (8)$$

де Q_B – маса вантажу, т; L_{EB} – пробіг з вантажем, км.

Тоді [8, с. 59]:

$$S_T = B_{\Pi} \cdot Q_{\Pi} = B_{\Pi} \cdot 0,01 \cdot (H_L \cdot L + H_{ткм} \cdot Q_B \cdot L_{EB})(1 + 0,01 \cdot k), \text{ грн}, \quad (9)$$

2) витрати на мастильні матеріали [8, с. 60]:

$$S_{MM} = B_{MM} \cdot Q_{MM} = 0,01 \cdot B_{\Pi} \cdot Q_{\Pi} \cdot H_{MM}, \text{ грн}, \quad (10)$$

де B_{MM} – вартість 1 л (кг) мастильного матеріалу, грн;

Q_{MM} – витрата мастильного матеріалу, л (кг);

H_{MM} – норма витрати мастильного матеріалу, л(кг)/100 л палива.

3) витрати на шини [8, с. 60]:

$$S_{\Pi\Pi} = B_{\Pi\Pi} \cdot N_{\Pi\Pi} + 0,01 \cdot H_{\Pi\Pi} \cdot k_{\Pi\Pi} \cdot n_{\Pi\Pi} \cdot (0,001L), \text{ грн}, \quad (11)$$

де $B_{\Pi\Pi}$ – вартість шини, грн;

$N_{\Pi\Pi}$ – витрата шин, од.;

$H_{\Pi\Pi}$ – норма зносу і ремонту шин в % до вартості комплекту на 1000 км пробігу, %;

$k_{\Pi\Pi}$ – коефіцієнт коригування норми пробігу шин, що враховує умови експлуатації рухомого складу і перепробіг шин;

$n_{\Pi\Pi}$ – кількість шин на автомобілів, од.;

L – пробіг автомобіля за звітний період, км.

У свою чергу річна витрата шин [8, с. 60]:

$$N_{\Pi\Pi} = \frac{n_{\Pi\Pi} L}{L_H}, \quad (12)$$

де L_H – нормативний пробіг шини, км; L – пробіг автомобіля за звітний період, км.

Тоді [8, с. 60]:

$$S_{\Pi\Pi} = B_{\Pi\Pi} \cdot \frac{n_{\Pi\Pi}}{L_H} + 0,001 \cdot H_{\Pi\Pi} \cdot k_{\Pi\Pi} \cdot n_{\Pi\Pi} \cdot (0,001 \cdot L), \text{ грн}, \quad (13)$$

4) витрати на запасні частини і матеріали, що використовуються при ТО і ремонті [8, с. 61]:

$$S_{зчм} = L \cdot B_{зчм}, \text{ грн}, \quad (14)$$

де L – пробіг автомобіля за звітний період, км;

$B_{зчм}$ – питомі витрати на запасні частини і матеріали, грн/км.

Для визначення величини УТВ використовуються формули (9), (10), (13). Помноживши отримані формули на вартість даних матеріалів C_i , грн/од. матеріалу отримаємо абсолютні їх значення. Для приведення до порівнянного виду, при порівнянні автомобілів за цим показником, його необхідно розділити на обсяг виконаної вантажної транспортної роботи за звітний період W , ткм. Тоді формула (6) для питомих умовно-технічних витрат на експлуатацію автомобіля при доставці вантажів можна записати у вигляді [8, с. 61]:

$$ПУТВ = \frac{1}{W} \cdot [(B_{II} \cdot 0,01 \cdot (H_L \cdot L + H_{ткм} \cdot Q_B \cdot L_{EB}) \cdot (1 + 0,01 \cdot k) + B_{MM} \cdot 0,01 \cdot Q_{II} \cdot H_{MM} + B_{III} \cdot \frac{n_{III} \cdot L}{L_H} + 0,01 \cdot H_{III} + k_{III} \cdot n_{III} \cdot L + L \cdot B_{зчм})], \text{ грн/тис. км} \quad (15)$$

(2.15)

де W – обсяг, виконуваної вантажної транспортної роботи за звітний період, тис. км;

B_{II} – вартість 1 л палива, грн; H_L – базова норма витрати палива, л/100 км;

L – пробіг автомобіля за досліджуваний період, км;

$H_{ткм}$ – витрата палива на транспортну роботу, л/100 тис. км;

Q_B – маса вантажу, що перевозиться, т;

L_{EB} – пробіг з вантажем, км;

k – надбавка, що враховує умови експлуатації %;

B_{MM} – вартість 1 л(кг) мастильних матеріалів, грн;

H_{MM} – норма витрати мастильного матеріалу, л (кг)/100 л палива;

B_{III} – вартість шини, грн;

n_{III} – кількість шин на автомобілі, од.;

L – пробіг автомобіля за звітний період, км;

L_H – нормативний пробіг шини, км;

H_{III} – норма зносу і ремонту шин в % до вартості комплекту на 1000 км пробігу %;

k_{III} – коефіцієнт коригування норми пробігу шин, що враховує умови експлуатації рухомого складу і перепробіг шин;

$B_{зчм}$ – питомі витрати на запасні частини і матеріали, грн/км.

Спростимо формулу (5), позначивши:

$D = (1 + 0,01 \cdot k)$ – надбавка на витрату палива залежно від умов роботи;

$B_{II}^{IIA} = L \cdot H_L$ – витрата палива автомобілів без вантажу;

$B_{II}^B = H_{ткм} \cdot Q_B \cdot L_{EB}$ – витрата палива на транспортну роботу;

$3_{III} = \frac{n_{III} \cdot L}{L_H}$ – знос (витрата) автомобільних шин;

$B_B^{III} = 0,01 \cdot H_{III} \cdot k_{III} \cdot n_{III} \cdot (0,001 \cdot L)$ – витрати на відновлення шин.

Тоді отримуємо формулу [8, с. 62]:

$$ПУТВ = \frac{1}{W} \cdot [B_{II} \cdot 0,01 \cdot (P_{II}^{IIA} + P_{II}^B) \cdot D + B_{MM} \cdot 0,01 \cdot (P_{II}^{IIA} + P_{II}^B) \cdot H_{MM} + B_{III} \cdot 3_{III} + B_B^{III} + L \cdot 3_{зчм}], \text{ грн/тис. км} \quad (16)$$

При оцінці варіантів оновлення парку рухомого складу рекомендується в якості основного критерію використати величину господарського економічного ефекту, яка визначається як різниця співрозмірних приведених річних витрат [8, с. 62]:

$$E_{\Gamma} = (S_1 + E_H \cdot K_1) - (S_2 + E_H \cdot K_2) = S_1 - S_2 \pm E_H \cdot \Delta K, \text{ грн}, \quad (17)$$

де S_1, S_2 – поточні річні виробничі витрати по 1-у і 2-у варіантах, грн;

K_1, K_2 – капітальні вкладення по варіантах, грн;

ΔK – різниця капітальних вкладень, грн;

E_H – коефіцієнт приведення капітальних вкладень по варіантах до поточних річних виробничих витрат.

Тоді ефект, що досягається власником парку комерційних вантажних автомобілів $E_{ВПЗ}^B$, грн, при його оновленні може бути виражений як [8, с. 63]:

$$E_{ВПЗ}^B = (VTB_1 + E_H \cdot K_1) - (VTB_2 + E_H \cdot K_2) = VTB_1 - VTB_2 \pm E_H \cdot \Delta K, \text{ грн}, \quad (18)$$

де VTB_1, VTB_2 – умовно технічні складові експлуатаційних витрат на транспортування вантажів по 1-у (базовому) і 2-у (новому) варіантам.

Значення коефіцієнта E_H в наш час потрібно розуміти як рознесення вартості капітальних вкладень по роках їх реалізації. Отже, величина цього коефіцієнта визначатиметься безпосередньо на виробництві, індивідуально для кожного автомобіля. За умови, що вибрані для експлуатації

автомобілі знаходяться в одній ціновій категорії і експлуатуватимуться однаково кількість років, коефіцієнтом в нашому випадку можна нехтувати. Тоді річний ефект власника рухомого складу $E_{ВПЗ}^B$, що досягається при введенні в експлуатацію моделей автомобілів з меншими УТВ (за умови рівності усіх інших складових, що впливають на прибуток підприємства):

$$E_{ВПЗ}^B = \Delta UTV = UTV_1 - UTV_2, \text{ грн} \quad (19)$$

Питомий ефект $E_{ВПЗ}^B$ (грн/тис. км) дорівнює [8, с. 63]:

$$E_{ВПЗ} = \Delta P UTV = \frac{1}{W} \cdot (UTV_1 - UTV_2), \text{ грн/тис. км}, \quad (20)$$

де W – обсяг транспортної роботи, що реалізовується автомобілями, тис. км.

Різниця витрат на паливо [8, с. 63]:

$$\begin{aligned} \Delta S_{II} &= B_{II_1} \cdot 0,01 \cdot (P_{II_1}^{IIA} + P_{II_1}^B) \cdot D_1 - B_{II_2} \cdot 0,01 \cdot (P_{II_2}^{IIA} + P_{II_2}^B) \cdot D_2 = \\ &= 0,01 \cdot B_{II_1} \cdot P_{II_1}^{IIA} \cdot D_1 + 0,01 \cdot B_{II_1} \cdot P_{II_1}^B \cdot D_1 - 0,01 \cdot B_{II_2} \cdot P_{II_2}^{IIA} \cdot D_2 - 0,01 \cdot B_{II_2} \cdot P_{II_2}^B \cdot D_2, \text{ грн} \end{aligned} \quad (21)$$

Позначимо: $Q_{S_1}^{IIA} = P_{II_1}^{IIA} \cdot D_1$; $Q_{S_1}^B = P_{II_1}^B \cdot D_1$; $Q_{S_2}^{IIA} = P_{II_2}^{IIA} \cdot D_2$; $Q_{S_2}^B = P_{II_2}^B \cdot D_2$.

Тоді:

$$\Delta S_{II} = 0,01 \cdot B_{II_1} \cdot (Q_{S_1}^{IIA} - Q_{S_1}^B) - 0,01 \cdot B_{II_2} \cdot (Q_{S_2}^{IIA} - Q_{S_2}^B) \quad (22)$$

Введемо відносний коефіцієнт порівняння:

$$K_i = \frac{S_i^H}{S_i^B}, \quad (23)$$

де S_i^H , S_i^B – значення i -ї статті витрат відповідно нового і базового варіанту.

Відповідно: $K_{B_{II}} = \frac{B_{II_1}}{B_{II_2}}$ – критерій оцінки за вартістю палива. Тоді: $B_{II_1} = K_{B_{II}} \cdot B_{II_2}$;

$K_{Q_s} = \frac{Q_{S_1}^{IIA} - Q_{S_1}^B}{Q_{S_2}^{IIA} - Q_{S_2}^B}$ – критерій оцінки по витраті палива. Тоді: $Q_{S_1}^{IIA} - Q_{S_1}^B = K_{Q_s} \cdot (Q_{S_2}^{IIA} - Q_{S_2}^B)$.

Отже:

$$\begin{aligned} \Delta S_{II} &= 0,01 \cdot (K_{B_{II}} \cdot B_{II_2} \cdot K_{Q_s} \cdot (Q_{S_2}^{IIA} - Q_{S_2}^B) - B_{II_2} \cdot (Q_{S_2}^{IIA} - Q_{S_2}^B)) = \\ &= 0,01 \cdot B_{II_2} \cdot (Q_{S_2}^{IIA} - Q_{S_2}^B) \cdot (K_{B_{II}} \cdot K_{Q_s} - 1), \text{ грн} \end{aligned} \quad (24)$$

Різниця витрат на мастильні матеріали [8, с. 65]:

$$\begin{aligned} \Delta S_{MM} &= B_{MM_1} \cdot (0,001 \cdot (P_{II_1}^{IIA} + P_{II_1}^B) \cdot D_1) \cdot H_{MM_1} - B_{MM_2} \cdot (0,001 \cdot (P_{II_2}^{IIA} + P_{II_2}^B) \cdot D_2) \cdot H_{MM_2} = \\ &= 0,001 \cdot B_{MM_1} \cdot (Q_{S_1}^{IIA} - Q_{S_1}^B) \cdot H_{MM_1} - 0,001 \cdot B_{MM_2} \cdot (Q_{S_2}^{IIA} - Q_{S_2}^B) \cdot H_{MM_2}, \text{ грн} \end{aligned} \quad (25)$$

Положимо: $K_{B_{MM}} = \frac{B_{MM_1}}{B_{MM_2}}$ – критерій оцінки за мастильного матеріалу. Тоді: $B_{MM_1} = K_{B_{MM}} \cdot B_{MM_2}$;

$K_{Q_s} = \frac{Q_{S_1}^{IIA} - Q_{S_1}^B}{Q_{S_2}^{IIA} - Q_{S_2}^B}$ – критерій оцінки по витраті палива. Тоді: $Q_{S_1}^{IIA} - Q_{S_1}^B = K_{Q_s} \cdot (Q_{S_2}^{IIA} - Q_{S_2}^B)$. Аналогічно:

$K_{H_{MM}} = \frac{H_{MM_1}}{H_{MM_2}}$ – критерій оцінки по нормі витрати мастильного матеріалу. Тоді: $H_{MM_1} = K_{H_{MM}} \cdot H_{MM_2}$.

Отже [8, с. 66]:

$$\begin{aligned}\Delta S_{MM} &= 0,001 \cdot (K_{MM} \cdot B_{MM_2} \cdot K_{Q_s} \cdot (Q_{S_2}^{PA} - Q_{S_2}^B) \cdot K_{H_{MM}} \cdot H_{MM_2} - B_{MM_2} \cdot (Q_{S_2}^{PA} - Q_{S_2}^B) \cdot H_{MM_2} = \\ &= 0,001 \cdot B_{MM_2} \cdot (Q_{S_2}^{PA} - Q_{S_2}^B) \cdot H_{MM_2} \cdot (K_{MM} \cdot K_{Q_s} \cdot K_{H_{MM}} - 1), \text{ грн}\end{aligned}\quad (26)$$

Різниця витрат на шини:

$$\Delta S_{ш_1} = B_{ш_1} \cdot 3_{ш_1} - B_{ш_2} \cdot 3_{ш_2} \quad (27)$$

Виразимо: $K_{B_{ш}} = \frac{B_{ш_1}}{B_{ш_2}}$ – критерій оцінки за вартістю автомобільних шин. Тоді: $B_{ш_1} = K_{B_{ш}} \cdot B_{ш_2}$

; $K_{3_{ш}} = \frac{3_{ш_1}}{3_{ш_2}}$ – критерій оцінки по зносу (витраті) шин. Тому: $3_{ш_1} = K_{3_{ш}} \cdot 3_{ш_2}$. Відповідно:

$$\Delta S_{ш} = K_{ш} \cdot B_{ш_2} \cdot K_{3_{ш}} \cdot 3_{ш_2} - B_{ш_2} \cdot 3_{ш_2} = B_{ш_2} \cdot 3_{ш_2} \cdot (K_{B_{ш}} \cdot K_{3_{ш}} - 1), \text{ грн} \quad (28)$$

Різниця витрат на відновлення шин [8, с. 66]:

$$\Delta S_B^{III} = B_{B_1}^{III} - B_{B_2}^{III} \quad (29)$$

Виразимо: $K_{3_B^{III}} = \frac{B_{B_1}^{III}}{B_{B_2}^{III}}$ – критерій оцінки за по витратам на відновлення автомобільних шин.

Тоді: $B_{B_1}^{III} = K_{3_B^{III}} \cdot B_{B_2}^{III}$. Відповідно:

$$\Delta S_B^{III} = K_{3_B^{III}} \cdot B_{B_2}^{III} - B_{B_2}^{III} = B_{B_2}^{III} \cdot (K_{3_B^{III}} - 1), \text{ грн} \quad (30)$$

Різниця витрат на запасні частини і матеріали при однаковому пробігу порівнюваних автомобілів L_{3AG} (км):

$$\Delta S_{3чiM} = L \cdot (B_{3чiM_1} - B_{3чiM_2}), \text{ грн} \quad (31)$$

По аналогії з попередніми виразами перетворимо, тоді:

$$\Delta S_{3чiM} = L \cdot B_{3чiM_2} \cdot (K_{3чiM_1} - 1), \text{ грн} \quad (32)$$

Перетворимо формулу (20) з урахуванням формул (24), (26), (28), (30) і (32), отримаємо [8, с. 67]:

$$\begin{aligned}\Delta ПУТВ &= \frac{1}{W} \cdot [0,001 \cdot B_{П_2} \cdot (Q_{S_2}^{PA} - Q_{S_2}^B) \cdot (K_{B_{П}} \cdot K_{Q_s} - 1) + \\ &+ 0,001 \cdot B_{MM_2} \cdot (Q_{S_2}^{PA} - Q_{S_2}^B) \cdot H_{MM_2} \cdot (K_{MM} \cdot K_{Q_s} \cdot K_{H_{MM}} - 1) + \\ &+ B_{MM_2} \cdot B_{ш_2} \cdot (K_{B_{ш}} \cdot K_{3_{ш}} - 1) + B_{B_2}^{III} \cdot (K_{3_B^{III}} - 1) + L \cdot B_{3чiM_2} \cdot (K_{3чiM_1} - 1)], \text{ грн/тис. км}\end{aligned}\quad (33)$$

Позначимо: $B_{П_2} = 0,01 \cdot B_{П_2} \cdot (Q_{S_2}^{PA} - Q_{S_2}^B)$ – витрати на паливо нового варіанту автомобіля;

$B_{MM_2} = 0,001 \cdot B_{MM_2} \cdot (Q_{S_2}^{PA} - Q_{S_2}^B) \cdot H_{MM_2}$ – витрати на мастильні матеріали нового варіанту автомобіля.

Тоді питомі умовно-технічні витрати при транспортуванні вантажів ($ПУТВ_{1i}$) можна записати таким чином – $ПУТВ_{1i} = K_i \cdot ПУТВ_{2i}$. Підставляючи цей вираз у формулу (20) отримаємо величину питомого ефекту при заміні базової моделі автомобіля на новий варіант:

$$E_{BPC} = \Delta ПУТВ = K_i \cdot ПУТВ_{2i} - ПУТВ_{2i} = ПУТВ_{2i} \cdot (K_i - 1), \text{ грн/тис. км} \quad (34)$$

де $\Delta ПУТВ_{2_i}$ – питомі умовно-технічні витрати при експлуатації нового варіанту автомобіля в парку рухомого складу, грн/тис. км.

Розкриваючи цей вираз з урахуванням прийнятих позначень, отримаємо величину річного економічного ефекту, що досягається власником вантажних автомобілів при оновленні парку [8, с. 68]:

$$E_{BPC} = \Delta ПУТВ = \frac{1}{W} \cdot \sum_{i=1}^n \left[B_{П_2} \cdot (K_{B_{П_2}} \cdot K_{Q_2} - 1) + B_{ММ_2} \cdot (K_{B_{ММ_2}} \cdot K_{H_{ММ_2}} - 1) + B_{Ш_2} \cdot (K_{B_{Ш_2}} \cdot K_{3_{Ш_2}} - 1) + B_{ВШ_2} \cdot (K_{B_{ВШ_2}} - 1) + B_{ЗЧМ_2} \cdot (K_{B_{ЗЧМ_2}} - 1) \right], \text{ грн/тис. км} \quad (35)$$

де $B_{П_2}$ – витрати на паливо, грн;

$B_{ММ_2}$ – витрати на мастильні і інші експлуатаційні матеріали, грн;

$B_{Ш_2}$ – витрати на шини, грн;

$B_{ВШ_2}$ – витрати на ремонт і відновлення шин, грн;

$B_{ЗЧМ_2}$ – витрати на запасні частини і матеріали, грн;

відносні коефіцієнти порівняння варіантів, відповідно:

$K_{B_{П_2}}$ – за вартістю палива;

K_{Q_2} – по витраті палива;

$K_{B_{М_2}}$ – за вартістю мастильних матеріалів;

$K_{B_{ММ_2}}$ – по витраті мастильних матеріалів;

$K_{B_{ВШ_2}}$ – за вартістю комплекту шин;

$K_{B_{Ш_2}}$ – витраті шин;

$K_{3_{Ш_2}}$ – за витратами на відновлення і ремонт шин;

$K_{B_{ЗЧМ_2}}$ – за витратами на запасні частини і матеріали.

При визначенні економічного ефекту E_{BPC} для парку автомобілів необхідно виконати підсумовування по усіх автомобілях.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Отже, методика розрахунку ефективності експлуатації вантажних автомобілів ґрунтується на величині чистого прибутку, який може отримати АТП при використанні наявного РС. Основним показником, який впливає на величину чистого прибутку є річна собівартість перевезень. В структуру собівартості перевезень вантажів автомобілями входять такі складові, як: витрати на навантажувально-розвантажувальні роботи, витрати на підготовку вантажу до перевезення, витрати на транспортування вантажу і 10 показників, якими визначаються «незаплановані» витрати (витрати, пов'язані з ушкодженням і втратою вантажу; витрати, пов'язані зі збільшенням вартості транспортування і т.д.)

Витрати на транспортування вантажу є комплексним показником, який поділяється на дві групи: 1) умовно-технічні витрати (УТВ) – змінні; 2) умовно-організаційні (УОВ) – умовно-постійні. Величина умовно-технічних витрат залежить від в свою чергу від 4-х статей витрат: 1) на паливо, 2) на мастильні та інші експлуатаційні матеріали, 3) на ремонт шин, 4) на запасні частини і матеріали при ТО і ремонтах.

У випадку оновлення парку РС величина річного економічного ефекту залежить від різниці між умовно-технічними витратами при базовому і новому варіантах РС.

ВИСНОВКИ

Розглянуті складові методики розрахунку ефективності експлуатації вантажних автомобілів дають можливість виконувати оцінку доцільності використання наявного РС в АТП або здійснювати його оновлення в залежності від обсягів і собівартості перевезень. При цьому основним критерієм для прийняття рішення про оновлення РС в АТП є величина умовно-технічних витрат.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Великанов Д.П. Эффективность автомобильных транспортных средств и транспортной энергетики. *Избранные труды*. Москва : Наука, 1989. 198 с.
2. Гончарук О.В. Экономическая эффективность транспортно-технологических систем. Москва : Наука, 1991. 128 с.
3. ГСМ: нормы расхода, бухгалтерский учёт и налогообложение / под ред. Ю.С. Касьяновой. Москва : АБАК, 2010. 128 с.
4. Домнина С.В. Особенности определения затрат при выполнении международных автомобильных перевозок автомобильным транспортом. Москва : Изд-во АСМАП. 1998. 96 с.
5. Корчагин В.А., Птицын Д.В. Расчёт экономической эффективности внедрения новой техники на автотранспортных предприятиях. Киев : Техника, 1980. 104 с.
6. Корчагин В.А., Бондаренко Е.В., Ризаева Ю.Н. Оценка эффективности инженерных решений. Липецк : ЛТУ, 2007. 160 с.
7. Рассоха В.И. Ситуационное управление автотранспортными системами (Часть 1. Системная эффективность эксплуатации автомобильного транспорта). *Вестник ОГУ*. Оренбург, 2009. №9. С. 148–153.
8. Мигачев В.А. Повышение эффективности использования грузовых автомобилей на основе выбора наиболее рационального парка подвижного состава : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10. Пенза, Ульяновск, 2012. 137 с.
9. Фасхиев Х.А., Крахмалева А.В., Сафарова М.А. Конкурентоспособность автомобилей и их агрегатов. Набережные Челны, 2005. 152 с.
10. Голованенко С.Л., Жарова О.М., Маслова Т.И., Посыпай В.Г. Справочник инженера-экономиста автомобильного транспорта / под общ. ред. С. Л. Голованенко. Москва : Транспорт, 1984. 319 с.
11. Пеньшин Н.В. Эффективность и качество как фактор конкурентоспособности услуг на автомобильном транспорте : монография / под ред. В.П. Бычкова. Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. 224 с.
12. Трусова Л.И., Богданов В.В., Щепочкин В.А. Экономика автотранспортного предприятия : учеб. пособие. Ульяновск : УлГТУ, 2010. 65 с.
13. Фасхиев Х.А., Нуретдинов Д.И. Экономическая эффективность, качество и конкурентоспособность транспортных средств : учеб. пособие. Набережные Челны, 2009. 152 с.
14. Вельможин А.В., Гудков В. А., Миротин Л.Б., Куликов А.В. Грузовые автомобильные перевозки : учеб. Москва : Горячая линия-Телеком, 2016. 560 с.
15. Бычков В.П. Экономика автотранспортного предприятия : учеб. Москва : Инфра-М, 2006. 381 с.

REFERENCES

1. Velikanov D.P. (1989). *Efficiency of Automotive Vehicles and Transportation Energy*. [Jеffektivnosti avtomobilnyh transportnyh sredstv i transportnoj jenergetiki] Moscow : Nauka Publ. 198 p.
2. Goncharuk O.V. (1991). *Economic efficiency of transport and technological systems*. [Jekonomicheskaja jеffektivnosti transportno-tehnologicheskikh sistem] Moscow, Nauka Publ. 128 p.
3. Ju.S. Kasjanova (2010). Fuel and lubricants: consumption rates, accounting and taxation. [GSM: normy rashoda, buhgalterskij uchjot i nalogooblozhenie] Moscow, ABAK Publ. 128 p.
4. Domnina S.V. (1998). *Features of determining costs when performing international road transport by road*. [Osobennosti opredelenija zatrat pri vypolnenii mezhdunarodnyh avtomobilnyh perevozok avtomobilnym transportom] Moscow, ASMAP Publ. 96 p.
5. Korchagin V.A., Pticyn D.V. (1980). *Calculation of the economic efficiency of the introduction of new technology at road transport enterprises*. [Raschjot jekonomicheskoy jеffektivnosti vnedrenija novoj tehniki na avtotransportnyh predpriyatijah] Kiev : Tehnika Publ. 104 p.
6. Korchagin V.A., Bondarenko E.V., Rizaeva Ju.N. (2007). *Evaluation of the effectiveness of engineering solutions*. [Ocenka jеffektivnosti inzhenernyh reshenij] Lipeck : LTU Publ. 160 p.
7. Rassokha V.I. (2009). *Situational management of motor vehicle systems*. [Situacionnoe upravlenie avtotransportnymi sistemami. Chast 1. Sistemnaja jеffektivnosti jekspluatacii avtomobilnogo transporta] Vestnik OGU. No. 9, Orenburg Publ. pp. 148–153.
8. Migachev V.A. (2012). Increasing the efficiency of the use of trucks based on the selection of the most rational fleet of rolling stock. Doct. Diss. [Povyshenie jеffektivnosti ispol'zovanija gruzovyh

avtomobilej na osnove vybora naibolee racionalnogo parka podvizhnogo sostava. Dokt, Diss.] Penza, Uljanovsk. 137 p.

9. Faskhiev H.A., Krahmaleva A.V., Safarova M.A. (2005). Competitiveness of cars and their units. [Konkurentosposobnosti avtomobilej i ih agregatov] Naberezhnye Chelny. 152 p.

10. Golovanenko S.L., Zharova O.M., Maslova T.I., Posypaj V.G. (1984). *Handbook of an engineer-economist of road transport*. [Spravochnik inzhenera-jekonomista avtomobilnogo transporta] / under total. ed. S.L. Golovanenko. Moscow, Transport Publ. 319 p.

11. Penshin N.V. (2008). Efficiency and quality as a factor in the competitiveness of road transport services. [Jеffektivnost i kachestvo kak faktor konkurentosposobnosti uslug na avtomobilnom transporte. Monografija] under total. ed. V.P. Bychkov. Tambov, Tambov State Technical University Publ. 224 p.

12. Trusova L.I., Bogdanov V.V., Shhepochkin V.A. (2010). *Economy of a trucking company*. [Jekonomika avtotransportnogo predprijatija. Uchebnoe posobie] Uljanovsk : UIGTU Publ. 65 p.

13. Faskhiev H.A., Nuretdinov D.I. (2009). *Economic efficiency, quality and competitiveness of vehicles*. [Jekonomicheskaja jеffektivnosti, kachestvo i konkurentosposobnosti transportnyh sredstv. Uchebnoe posobie] Naberezhnye Chelny. 152 p.

14. Velmozhin A.V., Gudkov V.A., Mirotin L.B., Kulikov A.V. (2016). *Freight road transport*. [Gruzovye avtomobilnye perevozki. Uchebnik] Moscow, Gorjachaja linija-Telekom Publ. 560 p.

15. Bychkov V.P. (2006). *The economics of a trucking company*. [Jekonomika avtotransportnogo predprijatija. Uchebnik] Moscow, Infra-M Publ. 381 p.

V. Khavruk, O. Parkhomenko. Method of calculating the efficiency of operation trucks.

The paper considers the issue of assessing the efficiency of operation of trucks. It is established that the efficiency of car operation is functionally related to the economic efficiency, reliability and reliability of cars the relationship between which is presented in the form of a structural and functional diagram.

It was found that the net profit of a trucking company depends on three components: the tariff cost of transportation, the cost of transportation and the amount of taxes.

Formulas for determining the cost of transportation of goods, the cost of transporting goods, conditional and technical costs. In the structure of conditional and technical costs the expenses are considered: on fuel, on lubricants, on tires, on spare parts and materials at performance of maintenance and repair of a rolling stock.

Based on the analysis of the structure of the cost of transportation of goods by car, ten indicators are identified, which determine the «unplanned» costs, such as: costs associated with increasing the distance of transportation of goods; costs associated with damage and loss of cargo; costs associated with additional storage of cargo; costs associated with increasing the cost of preparing the goods for transportation; costs associated with increasing the cost of warehousing.

It was found that conditional fixed costs (depreciation costs, overhead costs, the amount of taxes) do not significantly affect the size of the annual economic effect when updating the rolling stock.

The dependences for determination of: specific conditional and technical expenses for operation of the car at delivery of freights are received; the magnitude of the annual economic effect achieved by the owner of the trucks when updating the rolling stock.

Keywords: truck, criterion, rolling stock, cost, conditional organizational costs, conditional technical costs.

ХАВРУК Володимир Олександрович, асистент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, Національний транспортний університет, e-mail: khavruk@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-4686-4109>.

ПАРХОМЕНКО Олександр Олександрович, асистент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, Національний транспортний університет, e-mail: oluparkhom@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-4752-0148>.

Volodymyr KHAVRUK, Assistant of Motor Vehicle Maintenance and Service Department, Kyiv National Transport University, e-mail: khavruk@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-4686-4109>.

Oleksandr PARKHOMENKO, Assistant of Motor Vehicle Maintenance and Service Department, Kyiv National Transport University, e-mail: oluparkhom@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-4752-0148>.

ПЕРЕЛІК РЕЦЕНЗЕТІВ

Бартоломейчик Миколай, доктор інженерії, Політехніка Гданська (Польща).

Грабовець Віталій Валерійович, к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького НТУ.

Дембіцький Валерій Миколайович, к.т.н., доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького НТУ.

Дударєв Ігор Миколайович, д.т.н., професор, професор кафедри технологій і обладнання переробних виробництв Луцького НТУ.

Захарчук Віктор Іванович, д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького НТУ.

Кравченко Олександр Петрович, доктор технічних наук, професор, Житомирський державний технологічний університет

Матейчик Василь Петрович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет

Мурований Ігор Сергійович, к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького НТУ.

Налобіна Олена Олександрівна, доктор технічних наук, професор кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських робіт і обладнання, Національний університет водного господарства та природокористування.

Пустюльга Сергій Іванович, д.т.н., професор, професор кафедри архітектури та дизайну Луцького НТУ.

Самостян Віктор Русланович, к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького НТУ.

Самчук Володимир Петрович, к.т.н., доцент, доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії Луцького НТУ.

Сахно Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор кафедри «Автомобілі», Національний транспортний університет, Київ, Україна.

Сітовський Олег Пилипович, к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького НТУ.

Стельмашук Валерій Віталійович, к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького НТУ

Таран Ігор Олександрович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Управління на транспорті», НТУ «Дніпровська політехніка».

Толстушко Микола Миколайович, к.т.н., доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування Луцького НТУ.

Цизь Ігор Євгенович, к.т.н., доцент, доцент кафедри аграрної інженерії ім. проф. Г.А. Хайліса ЛНТУ.

LIST REVIEWERS

Nikolai Bartolomeychyk, Doctor of Engineering, Gdansk Polytechnic (Poland).

Vitaliy Grabovets - Ph.D., Associate Professor, Department of Automobiles and Transport Technologies of Lutsk NTU.

Valery Dembitsky, Ph.D., Associate Professor, Department of Automobiles and Transport Technologies of Lutsk NTU.

Igor Dudarev, Doctor of Science (Engineering), Professor, Professor of the Department of Technology and Equipment for Manufacturing of Lutsk NTU.

Viktor Zakharchuk, Doctor of Science (Engineering), Professor, Professor of Automobile and Transport Technologies Department of Lutsk NTU.

Alexander Kravchenko, Doctor of Science in Engineering, Professor, Zhytomyr State Technological University

Vasyl Mateichyk, Doctor of Science (Engineering), professor, National Transport University

Igor Murovanyi, PhD. in Engineering, Assoc. Professor, Assoc. Professor of Automobile and Transport Technologies Department of Lutsk NTU.

Olena Nalobina, Doctor of Science (Engineering), Professor of the Department of Construction, Road, Reclamation, Agricultural Works and Equipment, National University of Water Management and Nature Management.

Sergiy Pustulga, Doctor of Science (Engineering), Professor of Architecture and Design department Lutsk NTU.

Victor Samostyan, Ph.D., Associate Professor Assoc., Professor of Automobile and Transport Technologies Department of Lutsk NTU

Volodymyr Samchuk, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor, Department of Civil Engineering and Civil Engineering Lutsk NTU.

Volodymyr Sakhno, Doctor of Science in Engineering, Professor of Automobiles Department, National Transport University, Kiev, Ukraine.

Oleg Sitovsky, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor, Department of Automobiles and Transport Technologies of L NTU.

Valery Stelmashchuk, Ph.D in Engeneering, Associate Professor of Automobiles and Transport Technologies department, Lutsk National Technical University

Igor Taran, Doctor of Science in Engineering, Professor, Head of the Department "Transport Management", NTU "Dniprovsk Polytechnic".

Mykola Tolstushko, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industry Engineering of LNTU.

Igor Tsizh, Ph.D., Associate Professor, Assoc. Professor of the Department Agricultural Engineering of LNTU.

Шимчук Сергій Петрович, к.т.н., доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування Луцького НТУ.

Ярошевич Микола Павлович, д.т.н., професор, професор кафедри галузевого машинобудування Луцького НТУ.

Sergiy Shymchuk, Ph.D, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industry Engineering of Lutsk NTU.

Mykola Yaroshevych, Doctor of Science in Engineering, Professor, Department of Sector Engineering of Lutsk NTU.

Ціна договірна

Колектив авторів

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ ТА ТРАНСПОРТІ

ADVANCES IN MECHANICAL ENGINEERING AND TRANSPORT

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ SCIENTIFIC JOURNAL

Випуск 2 (17), 2021 Volume 2 (17), 2021

Видається двічі на рік Publication Frequency: 2 issues per year

Комп'ютерний набір та верстка: В. Самостян

Матеріали друкуються в авторській редакції. За стилістику і орфографію статей відповідальність несуть автори.

Адреса редакції:
вул. Львівська, 75, ауд. 148, Луцьк,
Волинська обл., Україна, 43018.
тел. (0332) 74-61-31.
e-mail: tehavtomash@gmail.com

Підписано до друку 26.11.2021 р.
Формат 60x84/8. Гарнітура Times. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 19,93. Обл. вид. арк. 19,71. Тираж 100 прим.

Інформаційно-видавничий відділ
Луцького національного технічного університету
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75.
Свідоцтво Держкомтелерадіо України ДК № 4123 від 28.07.2011 р.

Друк – Вежа-Друк. Зам. № 132.
(м. Луцьк, вул. Шопена, 12, тел. (0332) 29-90-65).
Свідоцтво Держ. комітету телебачення та радіомовлення України
ДК № 4607 від 30.08.2013 р.