ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ І ЕФЕКТИВНОСТІ МАШИН, ПРОЦЕСІВ І СИСТЕМ.
IMPROVING THE RELIABILITY AND EFFICIENCY OF MACHINES, PROCESSES AND SYSTEMS

April 16-18, 2025

c. Kropyvnytskyi

Центральноукраїнський національний технічний університет

Міністерство освіти і науки України

Кафедра експлуатації та ремонту машин

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ І ЕФЕКТИВНОСТІ МАШИН, ПРОЦЕСІВ І СИСТЕМ

VII Міжнародна науково-практична конференція

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

16-18 квітня 2025 року

м. Кропивницький

Central Ukrainian National Technical University

Ministry of Education and Science of Ukraine

Department of operation and repair of machines

IMPROVING THE RELIABILITY AND EFFICIENCY OF MACHINES, PROCESSES AND SYSTEMS

VII International scientific and practical conference

CONFERENCE MATERIALS

April 16-18, 2025

c. Kropyvnytskyi

ББК 34.41:39.3
УДК 62-192:656.02

Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 16-18 квітня 2025 р. – Кропивницький : ЦНТУ, 2025. – 153 с.

Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference "Improving the Reliability and Efficiency of Machines, Processes and Systems", April 16–18, 2025. – Kropyvnytskyi: Central Ukrainian National Technical University (CNTU), 2025. – 153 p.

В збірнику представлені матеріали доповідей наукових та науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та студентів, провідних вітчизняних і закордонних вищих навчальних закладів та наукових установ, працівників підприємств та державних установ, в яких розглядаються завершені етапи наукових розробок.

The collection presents materials of reports by scientific and academic staff, doctoral candidates, postgraduate students, and students from leading national and international higher education institutions and research organizations, as well as employees of enterprises and government institutions, addressing completed stages of scientific developments.

Друкується згідно листа Міністерства освіти і науки України, Державної наукової установи "Інститут модернізації змісту освіти" “Перелік проведення наукових конференцій з проблем вищої освіти і науки в системі Міністерства освіти і науки України на 2025 рік”. https://kntu.kr.ua/file/content/7313/naukovi-ta-naukovo-tekhnichni-zakhody-2025-roku.pdf

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems":

Голова – Володимир КРОПІВНИЙ, канд. техн. наук, проф., ректор ЦНТУ;

Заступник голови – Віктор АУЛІН, д-р техн. наук, проф. кафедри експлуатації та ремонту машин ЦНТУ;

Секретар – Дар'я КУЛЬОВА, доктор філософії з транспортних технологій, ст. викладач кафедри експлуатації та ремонту машин ЦНТУ;

Члени оргкомітету:

Андрій БАБІЙ, д-р техн. наук, професор, зав. кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету;

Андрій ТИХИЙ, канд. техн. наук, доц., проректор з наукової роботи та міжнародних зв'язків ЦНТУ;

Віктор БІЛІЧЕНКО, д-р техн. наук, проф., ректор Вінницького національного технічного університету;

Костянтин БОРАК, д-р. техн. наук, проф. кафедри машиновикористання, мобільної енергетики та сервісу технічних систем Поліського національного університету;

Олег БЕВЗ, канд. техн. наук, доцент, декан факультету будівництва, транспорту та енергетики;

Віктор ВОЙТОВ, д-р техн. наук, проф. завідувач кафедри транспортних технологій і логістики Державного біотехнологічного університету;

Станіслав ГЕРУК, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри агроінженерії Житомирського агротехнічного коледжу;

Олександр ГРАКОВСКІ, PhD, професор, Інститут транспорту і зв'язку (Латвія);

Олексій ДЕРКАЧ, канд. техн. наук, доц., зав. кафедри експлуатації машинно-тракторного парку Дніпровського державного аграрно-економічного університету;

Олександр ДИХА, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства Хмельницького національного університету;

Ігор КАБАШКІН, PhD, професор, Інститут транспорту і зв'язку (Латвія);

Володимир КВАСНІКОВ, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем і технологій Національного авіаційного університету;

Богдан КІНДРАТСЬКИЙ, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри експлуатації та ремонту автомобільної техніки Національного університету «Львівська політехніка»;

Святослав КРИШТОПА, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автомобільного транспорту Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Сергій ЛЕЩЕНКО, канд. техн. наук, доц., декан агротехнічного факультету ЦНТУ;

Сергій ЛУЗАН, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри зварювання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

Олег ЛЯШУК, д-р техн. наук, проф., перший проректор Тернопільського національного технічного університету;

Сергій МАГОПЕЦЬ, канд. техн. наук, доц., зав. кафедри експлуатації та ремонту машин ЦНТУ;

Микола МАРЧУК, канд. техн. наук, професор, завідувач кафедри автомобілів та автомобільного господарства Національного університету водного господарства та природокористування;

Юрій МОНАСТИРСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри автомобільного транспорту Криворізького національного університету;

Ігор МУРОВАНИЙ, канд. техн. наук, доцент, декан факультету транспорту та механічної інженерії Луцького національного технічного університету;

Анджей НЄВЧАС, PhD, професор, Люблінський технологічний університет (Польща);

Вікторія НИКОНЧУК, д-р економ. наук, проф., зав. кафедри транспортних технологій і технічного сервісу Національного університету водного господарства та природокористування;

Андрій НОВИЦЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., зав. кафедри надійності техніки Національного університету біоресурсів і природокористування України;

Рамунас ПАЛЬШАТІС, PhD, професор, Вільнюський технічний університет імені Гедимінаса (Литва);

Микола ПІДГУРСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., проф. кафедри інжинірингу машинобудівних технологій Тернопільського національного технічного університету імені І. Пулюя;

Олександр ПОЛЯНСЬКИЙ, д-р техн. наук, професор, проф. кафедри технології машинобудування та ремонту машин Харківського національного автомобільно-дорожнього університету;

Іван РОГОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, завідуючий кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту ім. М. П. Момотенка Національного університету біоресурсів і природокористування України;

Юрій РОЙКО, канд. техн. наук, доц., завідувач кафедри транспортних технологій, Національного університету «Львівська політехніка»;

Валерій САВУЛЯК, д-р техн. наук, проф., проф. кафедри галузеве машинобудування Вінницького національного технічного університету;

Володимир САХНО, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автомобілів Національного транспортного університету;

Людмила ТАРАНДУШКА, д-р техн. наук, доц., завідувачка кафедри автомобілів та технологій їх експлуатації Черкаського державного технологічного університету;

Рамазан ХАБУТДІНОВ, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри транспортних технологій Національного транспортного університету;

Сергій ЦИМБАЛ, канд. техн. наук, доц., завідувач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету;

Олег ЦЬОНЬ, канд. техн. наук, доц., зав. кафедри автомобілів Тернопільського національного технічного університету;

Сергій ЛИСЕНКО, канд. техн. наук, доц., зав. кафедри експлуатації та

ремонту машин ЦНТУ;

Олексій СМІРНОВ, канд. екон. наук, керівник методично-організаційного відділу (далі – МОВ) ЦНТУ;

Лілія РЕЗНІК, фахівець І категорії МОВ ЦНТУ.

Члени робочої групи оргкомітету:

Сергій МАГОПЕЦЬ, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Сергій ЛИСЕНКО, кандидат технічних наук,. доцент, доцент кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Дмитро ГОЛУБ, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Дар'я КУЛЬОВА, доктор філософії з транспортних технологій, ст. викладач кафедри експлуатації та ремонту машин ЦНТУ, секретар конференції;

Артем ГОЛОВАТИЙ, асистент кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Сергій КОВАЛЬОВ, докторант кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Олександр МАТВІЄНКО, докторант кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Руслан КІЧУРА, аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Олександр ЮВЖЕНКО, аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Сергій ХАРЧЕНКО, аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Дмитро КОСЯКЕВИЧ, аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Олексій ТЕРТИЦЯ, аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Тарас НАДИЧ, аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Володимир ПЕТЛЕНКО, аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Андрій ЗАЙЦЕВ, аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Сергій ТИЩЕНКО, аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Андрій СЕРГІЙЧУК, аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Віктор БАЙЦАН, аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Віталій ЧУМАК, аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Єгор МАНЬКО, аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Денис ДЯЧЕНКО, аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Вадим ЯЦЕНКО, аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Михайло МАГОПЕЦЬ, аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ;

Артем КРАСОТА, аспірант кафедри експлуатації та ремонту машин, ЦНТУ.

Секції конференції:

Секція 1. Фізичні та математичні основи надійності і ефективності машин і обладнання.

Секція 2. Трибологія вузлів деталей, систем і агрегатів, робочих органів машин і обладнання.

Секція 3. Підвищення зносостійкості та трибологічної ефективності деталей та вузлів сільськогосподарської та транспортної техніки.

Секція 4. Технологічні методи підвищення надійності і ефективності деталей машин і обладнання.

Секція 5. Підвищення надійності і ефективності вузлів деталей, систем і агрегатів машин та робочих органів методами інноваційного інжинірингу.

Секція 6. Експлуатаційна надійність та ефективність використання сільськогосподарської та транспортної техніки.

Секція 7. Підвищення надійності та ефективності транспортних систем та транспортних засобів із забезпеченням належного рівня якості пасажирських та вантажних перевезень.

Секція 8. Логістика виробничих та транспортних підприємств, фірм, компаній.

Секція 9. Економіка та управління виробничими та транспортними підприємствами, фірмами, компаніями.

Секція 10. Системи та стратегії технічного сервісу сільськогосподарської та транспортної техніки.

Секція 11. Підвищення надійності та ефективності функціонування систем, вузлів, агрегатів, машин інтелектуалізацією їх елементів.

Секція 12. Інформаційні технології та технології штучного інтелекту в розв'язанні проблем і завдань надійності та ефективності машин, процесів і систем.

UDC 621.436:665.75

RESEARCH ON THE ECONOMY AND HARMFUL EMISSIONS OF DIESEL WHEN RUNNING ON RAPESEED OIL

Y.M. Abramov, *Student of Group MM 1/1*,
A.R. Danchak, *Student of Group MM 1/1*,
A.S. Denysyuk, *Student of Group MM 1/1*,
D.D. Marchenko, *Assoc. Prof, PhD tech. sci.*,
O.O. Lymar, *Assoc. Prof, PhD phys. -math. sci.*
Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine

For optical research of the process of PM spraying in atmospheric conditions, a high-speed video recording stand was used, which allows for the recording of fast-moving pulse processes. The diagram of the high-speed video recording stand and the determination of the geometric parameters of the sprayed fuel jet are shown in Fig. 1. The video recording process was carried out on a high-speed camera "Video Sprint/G6". Further data transfer from the camera to a personal computer is carried out via the LA-1.5 PCI ADC board installed on it. The processing of the shooting results was carried out according to the approved method using a computer program [1, 2].

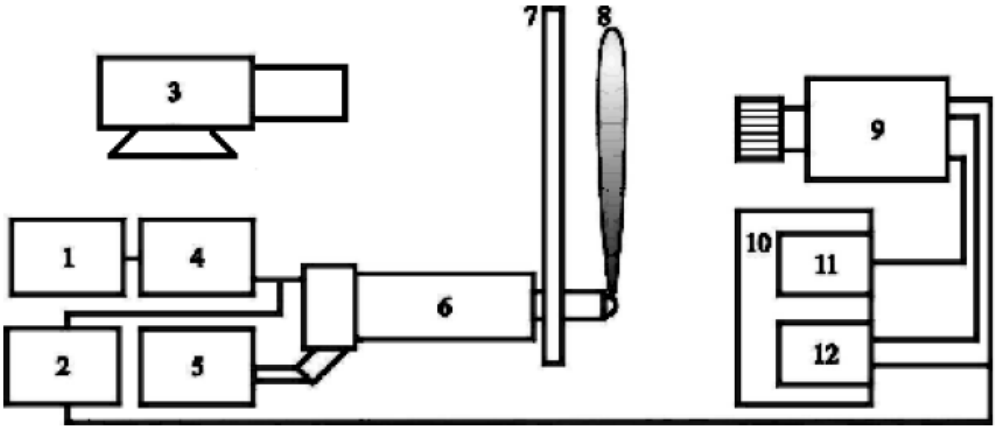


Fig. 1. - Scheme of a high-speed video recording stand for determining the dynamics, speed and length of the atomized fuel jet

Principle of operation: the device for controlling the operation of the KK-2 installation (1) at a given time, corresponding to a certain position of the engine crankshaft, sends a pulse to the control unit (4), opening the high-pressure electric valve of the injector (6). In the ramp (5) under a given pressure (up to 180 MPa) there is fuel that enters the injector atomizer (6) at the moment of opening the electric valve. The pulse from the electric valve (4) simultaneously enters the synchronization unit (2), which coordinates the voltage levels on the injector with the digital high-speed video camera "Video Sprint/G6" (9) and the ADC board LA-1.5 PCI installed in the personal computer (12). In this way, the start of the operation of the video camera is synchronized with the moment of the leading edge of the pulse entering the injector electric valve. The information signal from the video camera (9) is transmitted via the controller-camera cable to the controller board (11), also installed in the personal computer (10). In addition, the LA-1.5 PCI ADC (12) the exposure signal of the video camera (9) is supplied. The synchronization pulse signals from the synchronization device (2) and the exposure moment signal of the video camera (9) are necessary when determining the recording time of a given frame in the video film, which is recorded by the

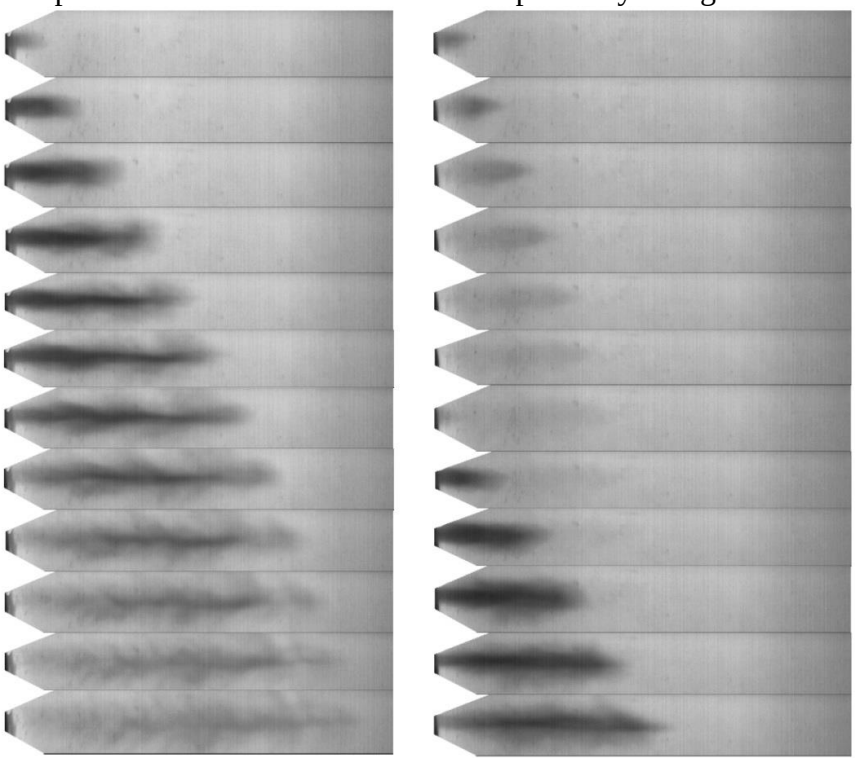
camera (9) and recorded on a personal computer (10). The fuel jet (9), sprayed by the nozzle (6), moves along the surface of the screen (7) in the form of frosted glass, on the inside of which there is a light source (3) with a 150 W incandescent lamp and a power supply. To register the image of the fuel jet, synchronization was used with an external synchronization pulse - a signal from the EGF electromagnet signal (for the CR TPA) [4].

The fuel system operating parameters are precisely recorded on the control panel of the UK-2 installation, which allows experiments to be conducted for various stable injection pressures and crankshaft rotation angle, which, in turn, is closely related to the synchronization pulse of the "Video Sprint/G6" camera control.

The use of external synchronization for the "Video Sprint/G6" camera has some specifics, which is that the synchronization pulse received by the camera starts its work of shooting and transferring video frames to the memory of the controller (11) of the computer for 8 μs. In one second, at a crankshaft speed of 1700 min^{-1}, 14 injections occur. The frequency of the frame pulses is constant and is determined by the camera settings by the operator. Thus, the "Video Sprint/G6" camera starts at the first pulse of the fuel injector valve opening and continuously records the captured image in the controller's memory, and subsequent fuel injector valve pulses may no longer coincide on the front with the frame pulse. As a result, there is uncertainty in the time of shooting the first frame after the injector valve is triggered for all subsequent sprayings, except the first. Recording and further processing of oscillograms of signals from the camera frame pulse and the injector valve opening pulse allows us to calculate the time between the pulses from the injector valve and the first frame of the atomized fuel flow [5, 6].

The high-speed video shooting stand allows for digital high-speed shooting of images that reflect the dynamics of fuel atomization by a high-pressure nozzle for various liquid fuels in light, to determine the length and describe the presence of internal optical seals of the jets in each image. The jet is recorded on a light background and has dark outlines of the borders and internal optical seals that are connected to each other in a gradient manner.

As an example, images of mono- and fractional injection for the maximum of the investigated injection pressures of 160 MPa are shown respectively in Fig. 2.



a) mono injection b) fractional injection

Fig. 2. - Image of the fuel atomization process at a pressure of 160 MPa mono- and fractional injection

The presented images show that with the use of fractional injection, the main part of the injected fuel falls into the wake of the previously injected fuel. Thus, it can be assumed that the propagation speed of the front of the main part of the injected fuel decreases due to the reduction in the mass of this portion and the collision with drops of previously injected fuel, which means a decrease in the range and an increase in the proportion of volumetric mixture formation. The area of the zone with a more uniform distribution of fuel increases, which indicates better homogenization (i.e., uniform distribution in the volume of fuel and oxidizer) [7].

Dynamics of changes in bright zones of a jet of atomized fuel. When light radiation passes through a atomized jet due to a decrease in the light flux that has passed through zones with a high concentration of fuel droplets, the area of this zone will correspond to lower brightness, and vice versa [9], which is caused by the optical inhomogeneity of the jet. Optical inhomogeneity is understood as the phenomenon of unequal transmission and absorption of light by different zones of the fuel jet, which causes a non-uniform color of the jet image, as a result of its unequal brightness along its entire length. This, in turn, is caused by the real inhomogeneity of atomization and distribution of fuel droplets in a real jet [10-12].

Experimental studies of the dynamics of the fuel jet development were carried out with the allocation of six bright zones of the sprayed PM jet on the stand. Each point was obtained by processing fuel jet images using the method of calculating the areas of bright zones of the jet, developed and tested by Professor Eskov O.V. [3]. The areas of the zones on all graphs are normalized to the total area of the entire jet.

List of sources used

1. Yes′kov, A. V. Prylady ta metody optychnoho kontrolyu parametriv impul′snykh dyspersnykh potokiv [Tekst] : dys. … dokt. tekhn. nauk / O. V. Yes′kov; AltDTU im. I. I Polzunova. - 2007. - 363 s.
2. Zaydel′, A. N. Pokhybky vymiru fizychnykh velychyn [Tekst] / A. N. Zaydel′. - Nauka, 2005. - 112 s.
3. Zaydel′, A. N. Elementarni otsinky pomylok vymiriv [Tekst]/A. N. Zaydel′. - Nauka, 2008. - 96 s.
4. Dzvin, V.A. Toksychnist′ dvyhuniv vnutrishn′oho z·horyannya [Tekst]/V. A. Zvonov. - K: Mashynobuduvannya, 2003. - 200 s.
5. Zel′dovych, YA. B. Matematychna teoriya horinnya ta vybukhu [Tekst] / YA. B. Zel′dovych, H. I. Barenblat, V. B. Librovych. - K: Nauka, 2000. - 478s.
6. O. Lymar, D. Marchenko, "Prospects for the Application of Restoring Electric Arc Coatings in the Repair of Machines and Mechanisms", Proceedings of the 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System, MEES 2022. https://doi.org/10.1109/MEES58014.2022.10005709.
7. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2022). Increasing warning resistance of engine valves by gas nitrogenization method. Problems of Tribology, 27(2/104), 20–27. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2022-104-2-20-27.
8. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2022). Study of the Stress-Strain State of the Surface Layer During the Strengthening Treatment of Parts. Problems of Tribology, 27(3/105), 82–88. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2022-105-3-82-88.
9. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2023). Increasing the Wear Resistance of Restored Car Parts by Using Electrospark Coatings. Problems of Tribology, 28(1/107), 65–72. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2023-107-1-65-72.
10. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2023). Research of Increase of the Wear Resistance of Machine Parts and Tools by Surface Alloying. Problems of Tribology, 28(3/109), 32–40. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2023-109-3-32-40.
11. Marchenko, D., Matvyeyeva, K., Kurepin, V. (2024). Increasing the wear resistance of plunger pairs of high-pressure fuel pumps using extreme pressure additives. Problems of Tribology, 29(4/114), 24–31. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-114-4-24-31
12. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2024). Study of Wear Resistance of Cylindrical Parts by Electromechanical Surface Hardening. Problems of Tribology, 29(1/111), 25–31. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-111-1-25-31.

UDC 631.112.013.3

RESEARCH OF RENOVATED WORKING BODIES OF MACHINES FOR SOIL CULTIVATION IN A SOLID METHOD

O.Y. Kolisnychenko, *Student of Group MM 1/1,*
A.V. Pelikhatyy, *Student of Group MM 1/1,*
Y.V. Shedenko, *Student of Group MM 1/1,*
E.D. Yatsenko, *Student of Group MM 1/1,*
D.D. Marchenko, *Assoc. Prof, PhD tech. sci.,*
O.O. Lymar, *Assoc. Prof, PhD phys. -math. sci.*
Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine

The works of such scientists as M. M. Khrushchev, A. Sh. Shevchenko, I. V. Kragelsky and others are known for increasing abrasive wear resistance. The wear resistance of the working bodies of machines for continuous soil cultivation has significantly increased thanks to the works of M. A. Babichev, M. M. Severnyeva, Rabinovich, M. I. Chernoval, O. M. Mikhalchenkov, V. V. Aulin, A. I. Boyk, B. I. Kostetsky and others. The spouses B.R. and N.I. Lazarenko, A.L. Livshyts, L.Ya. Popilov and other scientists made a significant contribution to the development of new electrophysical methods of metal processing. The works of I. E. Ulman, B. Ya. Borisov, I. I. Bevz, A. K. Olkhovatsky, L. O. Solodkina, M. O. are known directly from the electrocontact processing of parts of agricultural machines. Vasylenko, K. V. Borak, etc [1-3].

It has been established that depending on the wear resistance of the soil, the nature of wear of plow blades varies (Fig. 1), which determines a differentiated approach to the restoration and strengthening of technological processes of such working bodies [4-6].

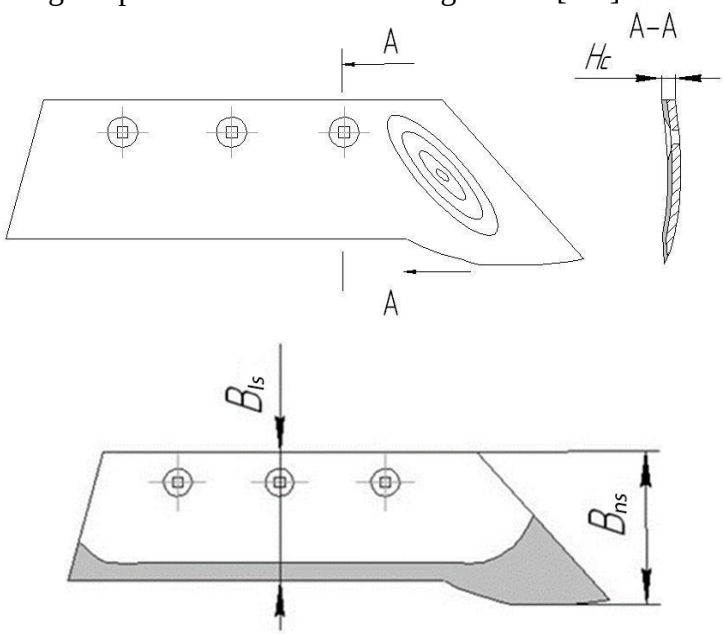


Fig. 1. - Wear properties of share blades of the serial batch:
on sandy and sandy soils (δ – share thickness); on clay and loamy soils
(Bls – blade by share width, Bns – toe by share width)

Of the analyzed methods, the most accessible and economically feasible is the method of electrocontact processing, which provides simultaneous sharpening and strengthening of restored share blades. Additional strengthening in local places of greatest wear of share blades will ensure an

increase in their resource depending on the wear of the soils in which they are operated, and a decrease in cost compared to the cost of new domestic working bodies on the market [7].

On clay and loamy soils, the plow blades reach the limit state due to linear wear along the width B, and the toe of the share ceases to protrude above the blade due to more intense wear due to increased specific loads, which also leads to the onset of the limit state of the plows (Fig. 1).

The dependence of the structural parameters of plow blades after their strengthening by electrocontact processing and spot welding on the parameters and modes of the strengthening process, which take into account the conditions of their use on soils of different wear rates, has been established [8].

Theoretical calculations based on probability theory and the results of micrometric studies have determined the quantitative values of the coefficients of rejection, recovery, and repeatability of plow blade defects.

The geometric parameters of the repair inserts were determined according to the statistical analysis of plow blade wear and the criteria for their maintainability [9, 10].

For electrocontact processing of plow blades, an original installation for electrocontact processing of parts was selected.

For welding repair inserts, electrodes with a low carbon content of the UONI-13/45 brand were selected, which allows to reduce the negative impact on the properties of the reinforcing structures of the welded joint, as well as for spot strengthening with electrodes of the T-590 brand, which allows to obtain a deposited metal layer with a hardness of 58-62 HRC to increase the wear resistance of the plow blades in places of their greatest local wear [11, 12].

The technological equipment for welding repair inserts to share blades is designed in accordance with the requirements of ergonomics, uniformity and operational safety while ensuring the specified quality of restored and reinforced share blades.

List of sources used

1. Buslayev D. O., Vasylenko M. O., Kalinin O. YE. Modyfikuvannya nanostruktury stvorenoho poverkhnevoho sharu kul′tyvatornykh lap dlya ekspluatatsiyi v gruntakh riznykh typiv. Mekhanizatsiya ta elektryfikatsiya sil′s′koho hospodarstva: zahal′noderzh. zb. Vyp. №1 (100). Hlevakha, 2015. S. 195–204.
2. Kononohov YU. A., Vasylenko M. O., Buslayev D. O., Kalinin O. YE. Analiz konstruktsiyno-tekhnolohichnykh parametriv polol′nykh lap kul′tyvatoriv, shcho ekspluatuyut′sya na gruntakh riznykh typiv. Tekhnichnyy prohres u sil′s′kohospodars′komu vyrobnytstvi: materialy KHKHV Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. ta KHVII Vseukr. konf.-seminaru aspirantiv, doktorantiv ta zdobuvachiv u haluzi ahrarnoyi inzheneriyi: tezy dopovidey (29-30 chervnya 2017 r., smt Hlevakha). Hlevakha, 2017. S. 70.
3. Kalinin O. YE. Kryteriyi vyboru ratsional′noho sposobu vidnovlennya robochykh orhaniv gruntoobrobnykh mashyn. Istoriya osvity, nauky i tekhniky v Ukrayiny: mat. IX Vseukr. konf. mol. uch. ta spets. (22 travnya 2014 r., m. Kyyiv). Kyiv, 2014. S. 272.
4. Vasylenko M. O., Kalinin O. YE. Konstruktsiyni osoblyvosti lemeshiv, shcho ekspluatuyut′sya na pishchanykh ta supishchanykh gruntakh. Perspektyvy ta tendentsiyi rozvytku konstruktsiy sil′s′kohospodars′kykh mashyn ta znaryad′: zb. tez I Vseukrayins′koyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi studentiv ta molodykh naukovtsiv (16- 17 zhovtnya 2014 r., m. Zhytomyr). Zhytomyr, 2014. S.100–101.
5. Kononov, Y., & Lymar, O. (2025). Investigating the stability of oscillations of rectangular plates in an infinitely long rectangular parallelepiped with an ideal fluid. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(7 (133), 14–21. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.323200
6. O. Lymar, D. Marchenko, “Prospects for the Application of Restoring Electric Arc Coatings in the Repair of Machines and Mechanisms”, Proceedings of the 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System, MEES 2022. https://doi.org/10.1109/MEES58014.2022.10005709.
7. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2022). Increasing warning resistance of engine valves by gas nitrogenization method. Problems of Tribology, 27(2/104), 20–27. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2022-104-2-20-27.
8. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2022). Study of the Stress-Strain State of the Surface Layer During the Strengthening Treatment of Parts. Problems of Tribology, 27(3/105), 82–88. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2022-105-3-82-88.

9. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2023). Increasing the Wear Resistance of Restored Car Parts by Using Electrospark Coatings. Problems of Tribology, 28(1/107), 65–72. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2023-107-1-65-72.
10. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2023). Research of Increase of the Wear Resistance of Machine Parts and Tools by Surface Alloying. Problems of Tribology, 28(3/109), 32–40. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2023-109-3-32-40.
11. Marchenko, D., Matvyeyeva, K., Kurepin, V. (2024). Increasing the wear resistance of plunger pairs of high-pressure fuel pumps using extreme pressure additives. Problems of Tribology, 29(4/114), 24–31. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-114-4-24-31
12. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2024). Study of Wear Resistance of Cylindrical Parts by Electromechanical Surface Hardening. Problems of Tribology, 29(1/111), 25–31. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-111-1-25-31.

UDC 631.3

RESEARCH ON INCREASING THE EFFICIENCY OF USE OF MACHINERY AND TRACTOR UNITS BY USING FUEL WITH A MODIFIER

M.V. Oliynyk, *Student of Group MM 1/1,*
S.R. Artemenko, *Student of Group MM 1/2,*
A.O. Hryhorenko, *Student of Group MM 1/2,*
D.D. Marchenko, *Assoc. Prof, PhD tech. sci.,*
O.O. Lymar, *Assoc. Prof, PhD phys. -math. sci.*
Mykolaiv National Agrarian University, Mykolaiv, Ukraine

Based on the analysis of literature sources, it can be concluded that the main reasons affecting the reduction of power indicators of tractor engines in operation are malfunctions of the cylinder-piston group of the crank mechanism and fuel equipment. These malfunctions significantly affect the productivity of machine-tractor units and their fuel efficiency. This leads to additional financial costs for agricultural enterprises, including due to the extension of agro-technological terms of operations [1].

Of scientific and practical interest is the development of methods for using modified and alternative fuels in agriculture, which until now have mainly pursued the goals of increasing environmental safety and fuel efficiency [2]. The use of fuels with modified characteristics as a means of maintaining powerful performance of tractor engines has not been considered.

The use of modified fuel as a means of increasing the performance of tractor engines requires changes in fuel equipment regulations. However, the existing regulatory and technical documentation does not take into account the possibility of using fuel with modifiers to increase the specified performance of machine-tractor units [3]. Therefore, it is necessary to assess the impact of fuel with a modifier on the power and fuel-economic performance of the tractor engine, and then on the effect of using MTA.

In order to justify the use of fuel with a modifier in operation, we have developed a block diagram. According to the developed diagram, if the results of the diagnostics show that the engine does not have the required amount of installed power, then maintenance (TI) is carried out. After the maintenance, the diagnostic indicators are checked again. If the installed power cannot be ensured, then the use of fuel with a modifier is justified [4]. The use of this method is envisaged in the case of detection of limit wear of the engine cylinder-piston group during the diagnostics process, for a justified period of operation.

Theoretical justification of increasing the efficiency of the use of MTA taking into account the use of a modifier in fuel presents a method for assessing the decrease in the productivity of a machine-tractor unit taking into account the loss of tractor engine power. The period of rational use of fuel with a modifier to compensate for the decrease in power is justified. The requirements for the fuel modifier and its concentration are justified. The change in the engine operating process, which leads to an increase in its power, is theoretically considered. According to the results of numerical mathematical modeling of the heat release process in the engine cylinder, a detailed indicator diagram of the engine and the dependence of the heat release coefficient on the angle of rotation of the KV according to the previously adopted coefficients of useful heat utilization at point z' (Fig. 1). The simulated course of the working process in the 4CH 11/12.5 engine showed that when the power value at the nominal operating mode decreases from 55.6 to 48.0 kW (a decrease of 13.64%), it leads to a drop in the compression value by 8.24% and an increase in the self-ignition delay period in the range of 43.7…45.5% [5].

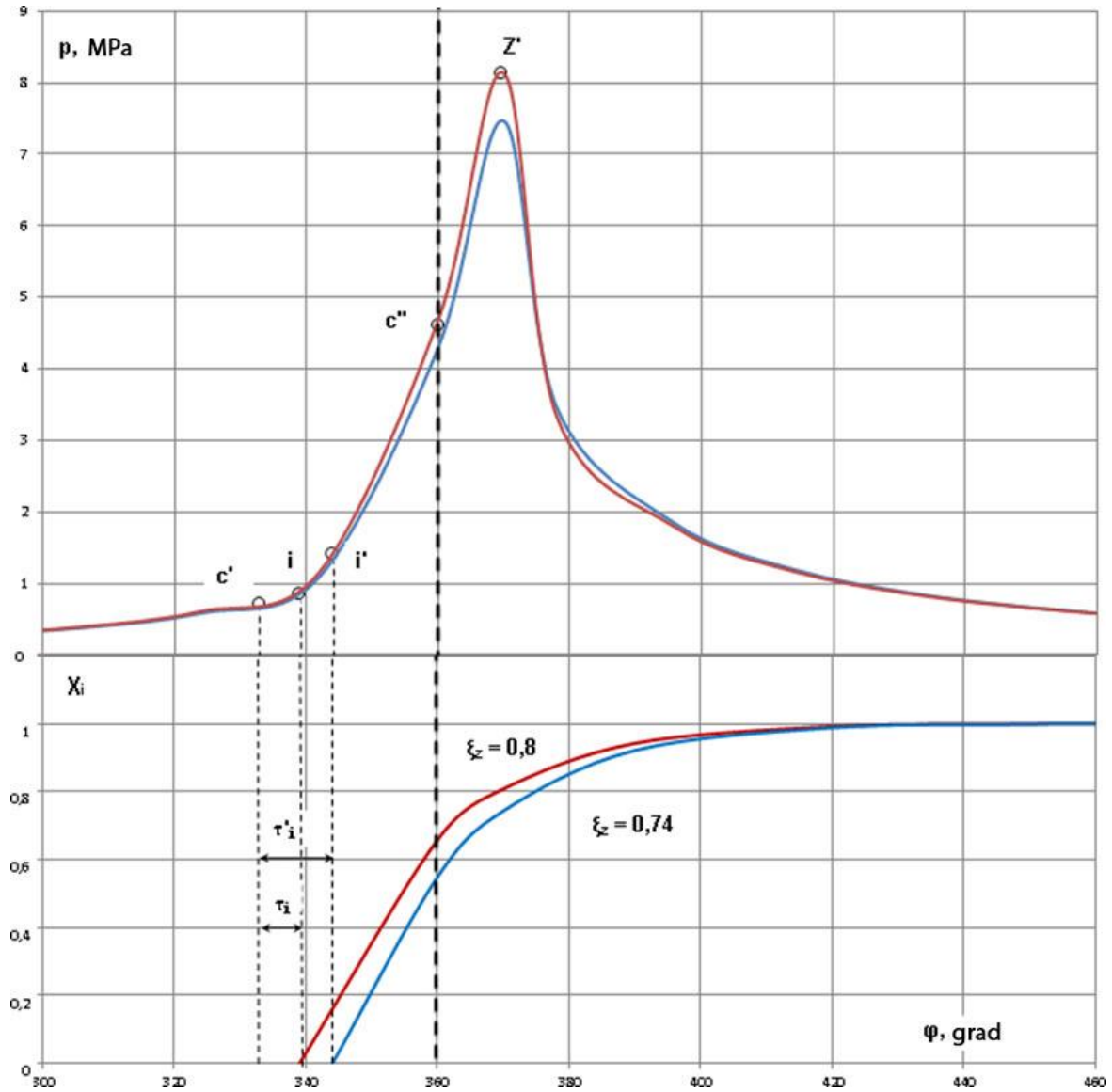


Fig. 1. - Combined expanded indicator diagram of the 4CH 11/12.5 engine and heat release diagram in the cylinder: c' - point corresponding to fuel injection into the cylinder; i, i' - points corresponding to the beginning of visible combustion for a standard engine and an engine with reduced power; c" - point corresponding to the highest pressure on the compression stroke; z' - point of maximum pressure of the thermodynamic cycle

For engines with reduced installed power, it was assumed to use fuel modified with an additive. In accordance with the classification of cations presented in the works of Bolshakov G.V. and Danilov A.M., the requirements for the additive were formulated. One of which was to increase the cetane number of diesel fuel [6-8]. Based on the presented requirements, the choice of additive modifiers (hereinafter - modifiers) was justified. According to the results of consideration of potential samples for further research. the Bio petro improver (BPI) modifier was selected.

Based on the chromatographic analysis, which revealed that the active substance of the modifier is a bibenzene compound, calculations of its maximum concentration in the fuel were made based on the criterion of complete combustion in the engine cylinder to elementary components [9, 10]. The results of the calculations justified the concentration of the selected modifier, which does not exceed 0.02% by mass.

Based on the results of processing statistical data on the indicators of modern domestic tractors of different traction classes and different models of seeders, an analytical dependence of the required nominal power of the tractor engine depending on the hourly productivity of the sowing unit was obtained.

$$N\text{n} = 31{,}954e\ 0{,}1078W_{\text{h}}$$

The obtained dependence proves that an increase in the installed power of the tractor engine does not lead to a proportional increase in the hourly productivity of the MTA.

Analyzing the obtained dependences, we can conclude that when the engine power of the tractor corresponds to the nominal value, the minimum specific operating costs during sowing are observed in MTA with a nominal engine power of 130 kW [11]. When operating tractors with a diesel engine power reduced by 15%, the minimum operating costs are achieved at an engine power of 60 kW. The difference in costs for processing a unit of area was 28.4%.

List of sources used

1. Ametov V.A. Model′na ustanovka dlya vyprobuvan′ dyzel′noyi palyva. noyi aparatury avtotraktornykh dvyhuniv / V.A. Ametov, M.M. Bril′kov // Visnyk DTU. - № 2. - 2012. - S. 101-104.
2. Zubryts′kyy V.A. Tekhnolohiya tekhnichnoho obsluhovuvannya palyvnoho aparatury pry roboti na modyfikovanomu palyvi / V.A. Zubryts′kyy, A.V. Alushkin // Visnyk - № 2. - 2014. - S. 132-138.
3. Alushkin T.YE. Neobkhidnyy riven′ tekhnichnoho zabezpechennya // Zbirnyk materialiv i dopovidey pershoho ahronomichnoho zboriv. - 2016. - S. 60-64.
4. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2022). Increasing warning resistance of engine valves by gas nitrogenization method. Problems of Tribology, 27(2/104), 20–27. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2022-104-2-20-27.
5. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2022). Study of the Stress-Strain State of the Surface Layer During the Strengthening Treatment of Parts. Problems of Tribology, 27(3/105), 82–88. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2022-105-3-82-88.
6. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2023). Increasing the Wear Resistance of Restored Car Parts by Using Electrospark Coatings. Problems of Tribology, 28(1/107), 65–72. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2023-107-1-65-72.
7. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2023). Research of Increase of the Wear Resistance of Machine Parts and Tools by Surface Alloying. Problems of Tribology, 28(3/109), 32–40. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2023-109-3-32-40.
8. Marchenko, D., Matvyeyeva, K., Kurepin, V. (2024). Increasing the wear resistance of plunger pairs of high-pressure fuel pumps using extreme pressure additives. Problems of Tribology, 29(4/114), 24–31. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-114-4-24-31
9. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2024). Study of Wear Resistance of Cylindrical Parts by Electromechanical Surface Hardening. Problems of Tribology, 29(1/111), 25–31. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-111-1-25-31.
10. Mema, O., Jojic, E., Laze, P., Khramov, M., & Lymar, O. (2024). Application of analytical hierarchical process in assessing the suitability of land for growing grain crops. Scientific Horizons, 27(12), 79–89. https://doi.org/10.48077/scihor12.2024.76
11. Kairov, A. S., Iskanderov, R. A., Lymar, O. O., Oshovskyi, V. Y., Kapura, I. A., & Bakhshiyev, I. I. (2024). Effect of composite nanocoatings on wear-resistance and productivity of socket mills. International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering, 16(4), 77–84.

UDC 621.793.7

RESEARCH OF A METHOD FOR RESTORING WORN AUTOMOBILE PARTS BY USING ELECTRO-SPIRCULATION COATINGS BASED ON ELECTRO-ESCRIPT NANOMATERIALS

R.S. Kryvoruchko, *Student of Group MM 1/2,*
S.S. Kurochkin, *Student of Group MM 1/2,*
S.V. Mostovyy, *Student of Group MM 1/2,*
***D.D. Marchenko**, Assoc. Prof, PhD tech. sci.,*
***O.O. Lymar**, Assoc. Prof, PhD phys. -math. sci.*
Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine

A modern car consists of 15...20 thousand parts, of which 7...9 thousand lose their original properties during operation, and about 3...4 thousand parts have a service life shorter than that of the car as a whole. All this causes the greatest downtime of cars, resource costs of operation [1].

A literature review has shown that more than 70% of worn-out parts of automotive equipment would be rationally reused after restoration. This significantly reduces the resource costs of motor transport enterprises, and in addition, it is economically justified for repair production. The costs of restoring parts in most cases do not exceed 25-30% of their cost, and with a qualified appointment of restoration technology, 100% resource is achieved. The different service life of automotive parts is due to various reasons. The main ones are: functional purposes performed, a diverse range of loads, different types of friction in the connected parts and different materials from which they are made, accuracy and quality of processing in the connected parts [2].

Automotive parts of the “shaft” type make up a large part of the range of parts that are restored. In most cases, these parts limit the resource of machine components and assemblies. Their restoration coefficient during major repairs of machines is 0.25 ... 0.95. The length of the restored shafts is 100 ... 4000 mm, but more than 90% of these parts have a length of slightly more than 1000 mm. The diameters of the shafts are 12 ... 210 mm, but in 98% of the shafts the diameter does not exceed 60 mm. The average mass is about 3 kg.

In parts of the "shaft" type, defects most often appear on the bearing seating surfaces and threaded surfaces. Bearing surfaces are restored when wear exceeds 0.017...0.060 mm; surfaces of fixed connections (hub locations with keyways, etc.) due to additional parts - when wear exceeds 0.04...0.13 mm; surfaces of movable connections - when wear exceeds 0.4...1.3 mm; under seals - more than 0.15...0.20 mm [3]. Keyways are restored when wear exceeds 0.065...0.095 mm in width; spline surfaces - when wear exceeds 0.2...0.5 mm [4].

Of the entire set of restored shaft surfaces, 46% wear down to 0.3 mm; 27% - from 0.3 to 0.6 mm; 19% - from 0.6 to 1.2 mm and 8% - more than 1.2 mm (Fig. 1).

The main requirement that must be met when restoring shafts is to ensure the dimensions and roughness of the restored surfaces, their hardness, coating continuity, adhesion strength of the applied layers to the base metal, as well as symmetry, coaxiality, radial and end runout of the treated surfaces, and parallelism of the side surfaces of the teeth of the spline and keyway grooves of the shaft axis.

Automotive shafts are made mainly of medium-carbon and low-alloy steels [5]. They are subjected to surface hardening with high-frequency currents, carburizing with subsequent quenching, and normalizing.

After analyzing the literature [1-3], defects in "shaft" type automobile parts are usually divided into three groups: mechanical damage, chemical-thermal damage, and wear of "shaft" type automobile parts.

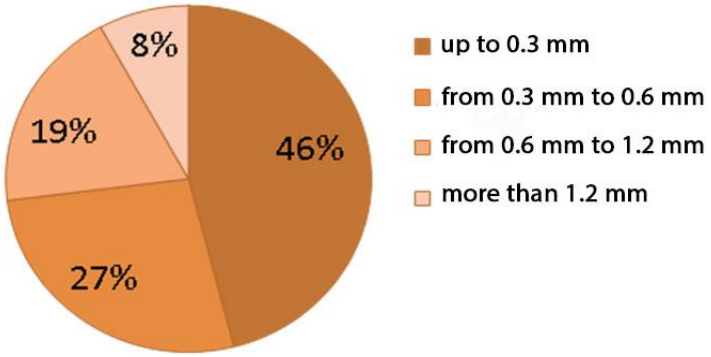


Fig. 1. - Analysis of defects of shaft-type parts by degree of wear

Mechanical damage to shaft-type parts occurs as a result of damage to its surface by cracks, risks and scoring, as well as possible bending of the shaft, its breakage or twisting [6].

In some cases, risks and gouges form on the working surfaces of shaft-type parts, especially often this occurs in shaft-slide bearing joints, due to contamination of the lubricant or the abrasive action of foreign particles [7].

When surfacing under a layer of flux, a loose flux is fed into the arc burning zone (Fig. 2), which consists of individual small grains (grains). Due to the influence of high temperature, part of the flux melts around the arc, forming an elastic shell that protects the molten metal from the action of nitrogen and oxygen [8]. After the arc moves, the liquid metal solidifies together with the flux, forming a brittle slag crust on the surfacing surface. The flux that has not melted can be used again. Surfacing under a layer of flux is used to restore various parts of cars, tractors and agricultural machinery.

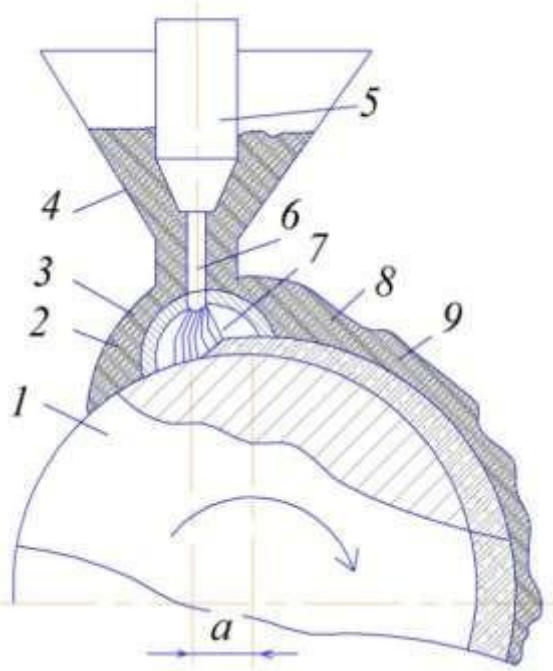


Fig. 2. - Scheme of automatic surfacing:
1 - part to be surfacing; 2 - liquid flux shell; 3 - elastic shell; 4 - hopper with flux; 5 - mouthpiece; 6 - electrode; 7 - electric arc; 8 - slag crust; 9 - surfacing metal; a - Offset from the zenith

In cases where it is necessary to weld a layer with a thickness of more than 3 mm (when performing welding on parts of the chassis of tractors and agricultural machines - rollers, axles, rollers, axles, etc.), automatic welding is effective [9, 10]. Deep penetration is undesirable, as it increases the deformation of the parts.

In the technology of mass restoration of smooth and splined shafts, the organizational plan applies the advanced principle of group restoration technology, the creation of unified group equipment for restored surfaces of parts [11]. According to the technology, it is necessary to switch to high-performance gas-thermal methods of applying powder materials with increased wear resistance for the external cylindrical surfaces of movable and fixed connections.

List of sources used

1. Mashkina, M. N. Vyvchennya vtrat kobal′tu pry elektroeroziynomu dysperhuvannya splaviv hrupy VK / M. N. Mashkina // Zvaryuvannya i rodynni tekhnolohiyi v mashynobuduvanni i elektronitsi: rehional′nyy zbirka naukovykh prats′. - 2001. - S.143-145.
2. Petrydis, A. U Doslidzhennya poroshku tverdoho splavu, otrymanoho elektroeroziynym dysperhuvannyam / A.V Petridis [ta in.] // Problemy khimiyi ta khimichnoyi tekhnolohiyi: tezy ta materialy dopovidey rehional′noyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi. - 1995. - S.31-36.
3. Fomins′kyy, L. P. Osoblyvosti poroshkiv, oderzhuvanykh elektroeroziynym dysperhuvannyam u vodi splavu typu sormayt / L. P. Fomins′kyy, S. P. Tyrabina, M. S. Levchuk // Novi metody otrymannya metalevykh poroshkiv: zbirka naukovykh prats′. - Kyiv, 1985. - S. 109-113.
4. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2022). Increasing warning resistance of engine valves by gas nitrogenization method. Problems of Tribology, 27(2/104), 20–27. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2022-104-2-20-27.
5. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2022). Study of the Stress-Strain State of the Surface Layer During the Strengthening Treatment of Parts. Problems of Tribology, 27(3/105), 82–88. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2022-105-3-82-88.
6. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2023). Increasing the Wear Resistance of Restored Car Parts by Using Electrospark Coatings. Problems of Tribology, 28(1/107), 65–72. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2023-107-1-65-72.
7. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2023). Research of Increase of the Wear Resistance of Machine Parts and Tools by Surface Alloying. Problems of Tribology, 28(3/109), 32–40. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2023-109-3-32-40.
8. Marchenko, D., Matvyeyeva, K., Kurepin, V. (2024). Increasing the wear resistance of plunger pairs of high-pressure fuel pumps using extreme pressure additives. Problems of Tribology, 29(4/114), 24–31. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-114-4-24-31
9. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2024). Study of Wear Resistance of Cylindrical Parts by Electromechanical Surface Hardening. Problems of Tribology, 29(1/111), 25–31. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-111-1-25-31.
10. Kononov, Y., & Lymar, O. (2022). Stability of the Coupled Liquid-Elastic Bottom Oscillations in a Rectangular Tank. Journal of Theoretical and Applied Mechanics (Bulgaria), 52(2), 164-178. doi:10.55787/jtams.22.52.2.164.
11. Hruban, V., Pastushenko, A., Khramov, M., Lymar, O., & Sukovitsyna, I. (2024). Study of mechanical and technological properties of seed fruits of vegetable and melon crops. Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science, 28(1), 29-39. https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/1.2024.29.

UDC 621.924

RESEARCH ON THE EFFICIENCY OF VIBRATION-CENTRIC MACHINING OF PARTS WITH FREE ABRASIVES

R.E. Muntyan, *Student of Group MM 1/2,*
Y.Y. Podlubnyy, *Student of Group MM 1/2,*
O.I. Khomut, *Student of Group MM 1/2,*
O.S. Tokaryev, *Student of Group MM 1/2,*
D.D. Marchenko, *Assoc. Prof, PhD tech. sci.,*
O.O. Lymar, *Assoc. Prof, PhD phys. -math. sci.*
Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine

The wide technological capabilities of the vibration machining process in combination with high productivity and the ability to process parts of complex configuration and low rigidity [1] when performing finishing operations (cleaning, grinding, polishing, increasing the microhardness of machined surfaces) put it among the most relevant and promising methods of machining machine parts. The work of scientists O.P. Babichev, P.S. Bernik, I.S. Aftanaziv, B.B. Khodosh, V.I. Dyachenko, I.M. Kartashov, V.A. Vlasov, M.E. Shainsky, E.A. Kogan, A.M. Tamarkin, V.M. Moroz, Yu.M. Samodumsky, B.M. Givko, as well as foreign specialists: M. Matsunatsi and Ush Hagidbi (Japan), O. Polish (England), K. Wellinger (Germany), St. Brandzha and Y. Raosha (USA) and others.

A theoretical model of vibration-centrifugal machining of parts has been developed, which reveals the essence of the force interaction of the working granule with the surface of the part [2]. The calculation by the method of BVO and its varieties is based on the phenomenon of increasing the energy level of the working medium due to additional movements of the working chamber [3]. The complication of the kinematics of the movement of the working chamber occurred in such a way that the working medium and the parts being machined were subjected to the simultaneous influence of directional vibrations and centrifugal forces. Receiving kinetic energy in the form of two component forces of vibration P and centrifugal forces P in, the granule penetrates the machined surface with a normal force R N and is displaced along the surface by the associated force R (Fig. 1).

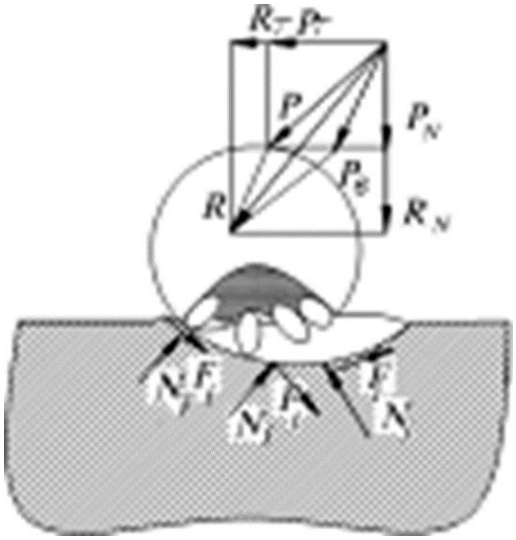


Fig. 1. - Calculation scheme of the interaction of the granule with the treated surface

The complex nature of the movement of particles of the working medium under the hour in the VO provides an increase in the intensity of vibration processing [4]. This is achieved by increasing the speed, acceleration and complication of the trajectory of movement of the working chambers of vibration-centrifugal installations (Fig. 2).

The mathematical model for determining the cutting force and metal removal during vibration-centrifugal machining was based on its energy capabilities [5]. The kinematic energy E of the particle consists of the energy of the particle under the influence of directional vibration E in and the energy from the movement of the oscillating surface along the. Accordingly, the force of impact P of the particle of the working medium with the surface being machined in the vibration-centrifugal model can be represented as the sum of the force of vibration P in and the centrifugal force Pvc.

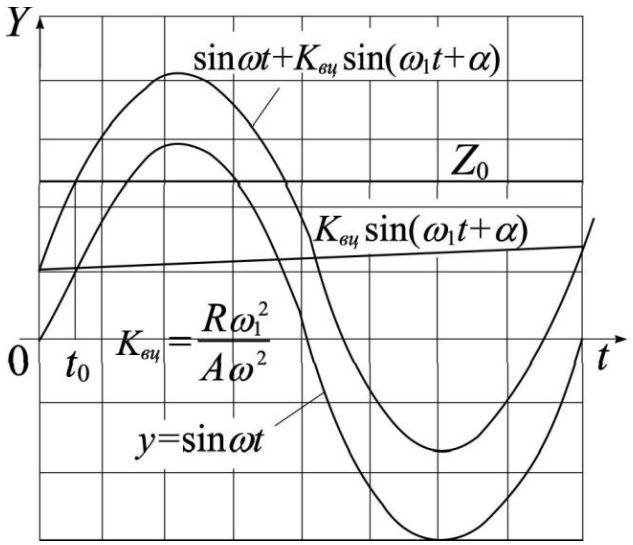


Fig. 2. - Graphs of the movement of an abrasive particle on the surface

The study of energy-power parameters, cutting force and metal removal rate during machining of parts in an abrasive environment of a vibration-centrifugal unit (VCU) with volumetric vibration of the working chamber was based on its energy capabilities [6]. The quantitative and qualitative indicators of the VCU process are largely determined by the design parameters and kinematic elements of the movement of the working chamber [7-9].

During the study of surface quality, an analysis of its roughness and microhardness was carried out. The treatment was carried out in an abrasive environment and in an environment of hardened polished balls [10]. The samples were made in prismatic and cylindrical shapes from carbon and alloyed structural steels of the same grades as in determining the process productivity.

It was established that the change in surface roughness parameters depending on the type of processing time in an abrasive environment occurs discretely. During the first 15 min. of processing, an intensive reduction in micro-roughness occurs. The next 15 min. the intensity of the roughness reduction is insignificant. In the period from 30 to 45 min. the roughness increases, but the parameter R a does not exceed the initial one [11]. During further processing, from 45 to 60 min. a repeated reduction in roughness is observed, the intensity of the reduction of which is approximately equal to the intensity in the initial processing period. Further, the formation of surface roughness occurs discretely with a decrease in discreteness with an increase in the processing time. When a constant roughness is achieved, the force interaction of the granule with the surface of the part takes on the character of an elastic impact. With an increase in the mechanical properties of the processed material, the quality of the surface ball improves. During the hour of processing of samples of steel 45 in the environment of hardened steel balls with a diameter of 12 mm at an angular amplitude of 3 degrees. and a frequency of oscillations of 22 s^{-1}, the

microhardness of annealed samples increases from 202 to 275 N/mm^2, and of hardened samples - from 504 to 647 N/mm^2.

List of sources used

1. Kondratyuk O. M. Matematychne modelyuvannya protsesu eksperymentu vibratsiyno-vidtsentrovoyi obrobky / O. M. Kondratyuk // Visnyk: zb. nauk. prats′. – Rivne : NUVHP, 2008. - Vol. 2(42). - S. 354-360.
2. Kondratyuk O. M. Optymizatsiya parametriv provedennya eksperymental′nykh doslidzhen′ vibratsiyno-vidtsentrovoyi obrobky / O. M. Kondratyuk // Visnyk NUVHP: zb. nauk. prats′. – Rivne : NUVHP, 2008. - Vol. 1(41). - S. 315–321.
3. Radon′ I. H. Teoretychni peredumovy upravlinnya protsesom obrobky zalezhno vyd zminy shorstkosti poverkhni, yaka obroblyayet′sya // Naukovyy visnyk: zb. naukovo-tekhnichnykh prats′. – L′viv: UDLTU, 2001. - Vol. 114. - S. 178-180.
4. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2022). Increasing warning resistance of engine valves by gas nitrogenization method. Problems of Tribology, 27(2/104), 20–27. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2022-104-2-20-27.
5. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2022). Study of the Stress-Strain State of the Surface Layer During the Strengthening Treatment of Parts. Problems of Tribology, 27(3/105), 82–88. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2022-105-3-82-88.
6. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2023). Increasing the Wear Resistance of Restored Car Parts by Using Electrospark Coatings. Problems of Tribology, 28(1/107), 65–72. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2023-107-1-65-72.
7. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2023). Research of Increase of the Wear Resistance of Machine Parts and Tools by Surface Alloying. Problems of Tribology, 28(3/109), 32–40. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2023-109-3-32-40.
8. Marchenko, D., Matvyeyeva, K., Kurepin, V. (2024). Increasing the wear resistance of plunger pairs of high-pressure fuel pumps using extreme pressure additives. Problems of Tribology, 29(4/114), 24–31. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-114-4-24-31
9. Marchenko, D., Matvyeyeva, K. (2024). Study of Wear Resistance of Cylindrical Parts by Electromechanical Surface Hardening. Problems of Tribology, 29(1/111), 25–31. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-111-1-25-31.
10. Mema, O., Jojic, E., Laze, P., Khramov, M., & Lymar, O. (2024). Application of analytical hierarchical process in assessing the suitability of land for growing grain crops. Scientific Horizons, 27(12), 79–89. https://doi.org/10.48077/scihor12.2024.76
11. Kairov, A. S., Iskanderov, R. A., Lymar, O. O., Oshovskyi, V. Y., Kapura, I. A., & Bakhshiyev, I. I. (2024). Effect of composite nanocoatings on wear-resistance and productivity of socket mills. International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering, 16(4), 77–84.

УДК 629.3:656:711+502.131.1

ТРАНСПОРТ ТА ІНФРАСТРУКТУРА: ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

І.О. Хітров, *доц., канд. техн. наук*
Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

Транспортна система – сукупність взаємопов'язаних видів транспорту, інфраструктурних об'єктів та сервісів, які забезпечують переміщення пасажирів і вантажів у просторі та часі. Ефективна транспортна система сприяє економічному розвитку регіонів, скорочує витрати часу та ресурсів, зменшує екологічне навантаження і підвищує якість життя населення.

Стаття 21 Закону України «Про транспорт» [1] чітко роз'яснює поняття про єдину транспортну систему нашої держави, до складу якої входять всі види транспорту та шляхи сполучення. Вона повинна відповідати вимогам суспільного виробництва, вимогам національної безпеки, мати розгалужену інфраструктуру для надання всього комплексу транспортних послуг, забезпечувати зовнішньоекономічні зв'язки.

Розкриємо зміст основних компонент (рис.), необхідних для функціонування єдиної транспортної системи [2-5]:

1. Транспортне забезпечення характеризує різні види транспорту, який використовується для забезпечення мобільності пасажирів і (або) доставки вантажів (автомобільний, авіаційний, залізничний, метрополітен та ін.).
2. Інфраструктура характеризує фізичну підтримку видів транспорту, найважливішим компонентом якої є маршрутна мережа і термінали.
3. Шляхи сполучення включають систему взаємопов'язаних розташувань, які використовуються для представлення функціональної та просторової організації транспортної діяльності.
4. Потоки (псажиро\вантажо) визначають переміщення населення, вантажів за відповідними шляхами.

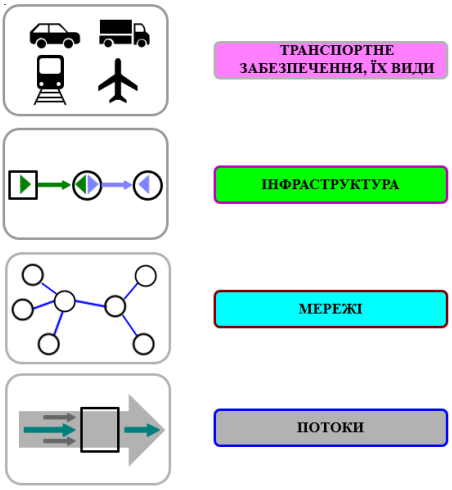


Рис. 1 Компоненти транспортної системи [2]

З огляду на вище сказане, ми можемо зробити висновок, що транспортна інфраструктура є складовою частиною єдиної транспортної системи.

Шляхи сполучення (вулично-дорожня мережа), як система транспортних і пішохідних зав'язків планувальної структури міста, що призначена для організації руху транспорту і пішоходів, прокладання інженерних комунікацій та благоустрою.

Об'єкти обслуговування (автовокзал, залізничний вокзал), як комплекс будівель і споруд, що призначена для обслуговування пасажирів, управління рухомим складом, зберігання вантажів.

Технологічні об'єкти (будівлі і споруди служб утримання та ремонту шляхів сполучення, об'єкти енергетичного господарства), тобто виробничі об'єкти, що призначені для забезпечення функціонування шляхів сполучення.

Об'єкти засобів управління рухом (технічні засоби організації та управління рухом, управлінські центри тощо), тобто будівлі та споруди, певні технологічні системи які призначені для управління рухом транспортних засобів.

Однак транспортна система в багатьох регіонах України стикається з низкою проблем через недостатню розвиненість мереж, неефективною організацією руху, відсутністю інтеграції між видами транспорту та негативним впливом на довкілля.

Основні виклики, що постають перед транспортною інфраструктурою:

- нерівномірний розвиток транспортної мережі різних регіонах;
- перенасичення дорожньої інфраструктури приватним автотранспортом;
- недостатня доступність громадського транспорту для маломобільних груп населення;
- низький рівень цифровізації транспортних послуг.

Транспортні засоби в транспортних технологіях призначені для організованого переміщення людей, вантажів і спеціальних вантажів у просторі з мінімальними витратами часу і ресурсів. Залежно від основної функції їх умовно можна поділити на групи: пасажирський, вантажний, спеціалізований, малі та індивідуальні засоби пересування, логістичні платформи, будівельна та дорожньо‑ експлуатаційна техніка.

Ключові завдання транспортних засобів направлені на мобільність (забезпечення доступності різних територій для людей і вантажів), економічність (мінімізації енергетичних витрат і часу на перевезення), безпеці (захисту пасажирів, вантажів і навколишнього середовища від ризиків), універсальність і спеціалізацію (застосування стандартних та адаптованих рішень під конкретні потреби).

Завдяки різноманіттю конструкцій і технічних рішень кожен вид транспортного засобу виконує свою роль у забезпеченні ефективного функціонування сучасної економіки та покращенні якості життя.

Інтеграція в інфраструктуру: взаємодія з дорогами, залізницями, портами та аеропортами для безперервного логістичного ланцюга.

Завдяки різноманіттю конструкцій і технічних рішень кожен вид транспортного засобу виконує свою роль у забезпеченні ефективного функціонування сучасної економіки та покращенні якості життя.

Для сталого розвитку транспорту доцільно впроваджувати комплексні підходи:

- розвиток мультимодальної мобільності та інтеграція різних видів транспорту;
- пріоритет екологічно чистих та енергоефективних видів транспорту;
- модернізація інфраструктури із врахуванням принципів «розумного міста»;
- залучення інвестицій у реконструкцію та будівництво транспортних об'єктів.

Перспективним напрямом є впровадження цифрових рішень у сфері управління трафіком, моніторингу пасажиропотоків, онлайн-сервісів для користувачів транспорту, а також розвиток мобільності.

Проведений аналіз транспортної системи та інфраструктури засвідчив, що їхній якісний стан і синергія взаємодії безпосередньо впливають на економічний розвиток, екологічну безпеку та соціальне благополуччя суспільства через:

1. Інтегрованість як головний чинник ефективності.

Ефективне функціонування транспортної мережі досягається лише за умов тісної координації між усіма її компонентами — автомобільним, залізничним, авіа- й водним транспортом, а також «останньою милею» (велосипедні й пішохідні маршрути). Впровадження мультимодальних хабів і уніфікованих стандартів (контейнеризація, інтегровані квиткові платформи) суттєво скорочує простої вантажів і пасажирів у переходах між видами транспорту.

2. Сталий розвиток і «зелена» трансформація.

Перехід на електрифіковані й гібридні засоби, використання альтернативних паливних технологій і адміністрування шкідливих викидів є ключем до зниження екологічного навантаження. Створення екологічних коридорів, встановлення зарядних станцій і заохочення «зелених» інвестицій формують основу для відповіді на виклики кліматичних змін і погіршення якості повітря [6].

3. Цифровізація та інтелектуальне управління.

Використання систем «розумного» транспорту, систем GPS‑моніторингу, Big Data‑аналітики й автоматизованих систем керування трафіком дозволяє оптимізувати маршрути, зменшувати затори та підвищувати безпеку руху. Впровадження MaaS‑платформ (Mobility as a Service) створює гнучкі сервіси з персоналізованими маршрутами, що стимулює зростання попиту на громадський транспорт [7].

4. Інвестиційна привабливість.

Модернізація дорожньої та залізничної інфраструктури вимагає значних капіталовкладень. Залучення приватних інвесторів через механізми державно-приватного партнерства і випуск «зелених» облігацій допомагає мобілізувати ресурси й розподілити ризики між державою та бізнесом.

5. Соціальна інклюзія та безпека.

Забезпечення доступності транспорту для маломобільних груп населення (низькопідлогові маршрути, тактильні панелі, адаптовані посадкові майданчики) і системи пасивної та активної безпеки сприяють підвищенню рівня комфорту й зниженню аварійності.

6. Перспективи та сценарії розвитку.

В середньостроковій перспективі (5-10 років) слід очікувати пожвавлення інтересу до автономних транспортних систем, дрон-доставки та розумних міст (Smart City). Довгостроковий успіх ґрунтуватиметься на збалансованому поєднанні «твердих» інфраструктурних рішень і «м’яких» політик – цифрових сервісів, екологічного регулювання й стимулювання сталого способу життя.

Таким чином, цілісна стратегія розвитку транспортної інфраструктури з урахуванням інновацій, «зелених» технологій та партнерського фінансування стане ключовим чинником підвищення конкурентоспроможності регіонів і якості життя громадян.

Список використаних джерел

1. Закон України «Про транспорт». 1994. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/232/94-%D0%B2%D1%80#Text.
2. Rodrigue J.-P. The Geography of Transport Systems. New York: Routledge, 2024. 402 p.
3. Криворучко О. П. Сутність транспортної інфраструктури на сучасному етапі. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. Економічні науки. Вип. 33. 2019. С. 25-28.
4. Small K. and E. Verhoe. The economics of urban transportation. Routledge, Oxford, 2007. P 293.
5. Integrating Urban Public Transport Systems and Cycling. Summary and Conclusions. 2017. URL : https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/integrating-urban-public-transport-systems-cycling-roundtable-summary_0.pdf
6. ITF (International Transport Forum). 2008. Towards Zero: Ambitious Road Safety Targets and the Safe System Approach. Paris: OECD Publishing. URL : https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/08targetssummary.pdf.
7. Розумний транспорт (Smart Mobility). 2020. URL : https://www.smartcity.ks.ua/rozumnyj-transport/.

УДК: 631.363.2:621.928

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩІТКОВОГО ПРОСІЮВАЧА

Е.Б. Алієв, *старш. дослідн., д-р техн. наук,*
І.В. Литвинов, *асп.*
Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна

Підвищення ефективності процесів первинної та вторинної переробки сільськогосподарської продукції є актуальним завданням агропромислового комплексу. Одним із важливих етапів обробки макухи після віджимання олії є її просіювання з метою виділення білкової фракції. Від ефективності цієї операції значною мірою залежить якість кінцевого продукту, зменшення втрат цінних компонентів та підвищення економічної доцільності виробництва. Удосконалення конструкції роторного просіювача, обґрунтування його оптимальних режимів роботи з урахуванням фізико-механічних властивостей матеріалу сприяє досягненню високих техніко-економічних показників.

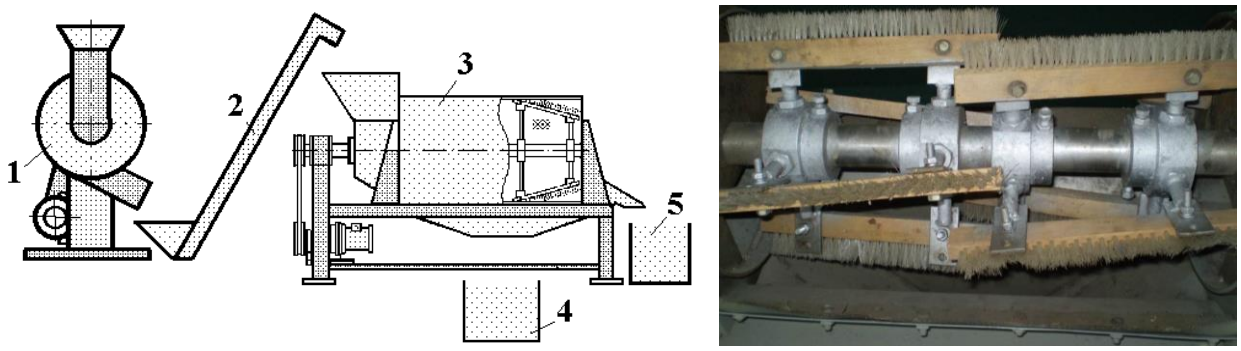
Метою даної роботи є експериментальне визначення впливу технологічних та конструктивних параметрів на ефективність процесу просіювання макухи в роторному просіювачі зі щітковим барабаном, побудова регресійної моделі та встановлення оптимальних умов роботи обладнання для досягнення максимального ступеня просіювання білкової фракції.

Програма була створена на основі попередніх теоретичних та експериментальних досліджень. Вона передбачає такі етапи експериментальної роботи:

– вивчення впливу завантаження матеріалу (q), частоти обертання ротора (n) та кута закручування щіток (α) на ефективність просіювання білкової фракції (ηп);

– визначення оптимальних параметрів щіткового просіювача.

Для реалізації цієї програми була розроблена і змонтована експериментальна установка (рис. 1), що складається з подрібнювача, живильника та роторного просіювача.



а б

а – схема технологічна, б – щітковий барабан просіювача, 1 – дробарка; 2 – живильник, 3 – щітковий просіювач, 4 – приймач білкового порошку, 5 – приймач лушпинного порошку

Рисунок 1 – Експериментальна установка щіткового просіювача

Основними робочими елементами роторного просіювача є щітки і сито. Щітки розташовані відносно вала ротора під певним кутом закручування. Ситова поверхня виготовлена з капронових або поліамідних волокон, з розміром вічок на 1 см довжини, що становить.

Об'єктом дослідження стала макуха з насіння гібрида соняшнику Запорізький 28, яка подрібнювалася на дробарці. Подрібнена макуха масою 10 кг завантажувалася в бункер

живильника. Після включення двигуна просіювача та живильника, матеріал, що пройшов через вічка сита, зважували, щоб визначити ступінь просіювання ($\eta_п$).

Для досліджень використовувалося сито з розміром вічок 258 мкм. Подачу матеріалу регулювали живильником шляхом зміщення заслінки шнека, що дозволяло змінювати об'єм захвату матеріалу. Частоту обертів ротора контролювали за допомогою перетворювача частоти.

Для точного вимірювання частоти обертів використовувався тахометр. Кут закручування α коригувався за допомогою зміщення бобишок відносно вала ротора, які фіксувалися за допомогою гвинтів.

Під час експериментів також фіксувалася потужність двигуна за допомогою приладу РП-50.

Для варіювання параметрів процесу були обрані такі фактори: завантаження матеріалу q (0,2–0,6 кг/с); частота обертів ротора n (80–120 хв$^{-1}$); кут закручування щіток α (5–15°). Для планування експериментів застосовувалася стандартна трирівнева матриця оптимального плану Бокса-Бенкена другого порядку для трьох факторів.

На основі статистичної обробки експериментальних даних було побудовано рівняння регресії, яке відображає залежність ступеня просіювання $\eta_п$ (%) від основних керованих параметрів процесу:

$$\eta_п = 26,9 + 0,525n – 0,5125α – 0,4750qn – 0,425nα – 0,8583n^2 – 1,7667α^2. \quad (1)$$

Оптимальні умови функціонування просіювача з ситом (розмір вічок — 258 мкм), що забезпечують найвищий ступінь просіювання, досягаються за таких значень параметрів: q = 0,2 кг/с, n = 112,7 об/хв, α = 8,9°, при цьому ступінь просіювання становить $\eta_п$ = 27,28 %.

Технологічні показники: максимально допустиме завантаження матеріалу $q_м$ = 0,214 кг/с. Потужність приводу: N = 1,1 кВт.

Список використаних джерел

1. Алієв Е. Б., Пацула О. М., Гриценко В. Т. Технологія комплексної безвідхідної переробки макухи з насіння олійних культур з одержанням високоякісних повноцінних протеїнових добавок у вигляді пелет та твердого біопалива : науково-методичні рекомендації [Електронний ресурс] / Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України. – Запоріжжя : Статус, 2017. – 68 с. – ISBN 978-617-7353-59-0. – Режим доступу: електронна книга.
2. Техніко-технологічне забезпечення безвідходної переробки зернової сировини у харчові продукти і корми : колективна монографія / Е. Б. Алієв, С. Ю. Миколенко, Н. А. Сова та ін. ; за заг. ред. Е. Б. Алієва. – Дніпро : Ліра, 2022. – 192 с. – ISBN 978-966-981-687-0.
3. Алієв Е. Б. Технологія і технічні засоби комплексної безвідхідної переробки макухи з насіння олійних культур з одержанням високоякісних повноцінних протеїнових добавок у вигляді пелет та твердого біопалива. Пропозиція. – 2019. – № 5. – С. 187–193.
4. Алієв Е. Б., Пацула О. М. Техніко-економічна оцінка ефективності технології комплексної безвідхідної переробки макухи з насіння олійних культур. Олійні культури: тенденції та перспективи : зб. тез Міжнар. наук. інтернет-конф. (1 листопада 2016 р.) – Запоріжжя : ІОК НААН, 2016. – С. 136–137.
5. Алієв Е. Б., Пацула О. М. Результати експериментальних досліджень установки для виготовлення пелет з білкової фракції макухи олійних культур. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. – 2015. – Вип. 22. – С. 150–158. – ISSN 2078-7316.

УДК: 62.614

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІБРИДНОЇ ПНЕВМАТИЧНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ СИЛОВИХ ПРИВОДІВ

Л.І. Криштопа, *доц., канд. техн. наук,*
Р.М. Матвієнко, *асп.,*
Д.В. Копильців, *асп.*
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

Розробка автомобілів на стисненому повітрі є цікавим і перспективним напрямком. Перший прототип автомобіля на стисненому повітрі під назвою AIRPod, показаний на рис. 1, був випущений компанією MDI в 1998 році [1]. Пізніше MDI випустила серію прототипів, включаючи OneFlowAir, CityFlowAir, MiniFlowAir і MultiFlowAir.

Рисунок 1 – Транспортний засіб зі стисненим повітрям AirPod

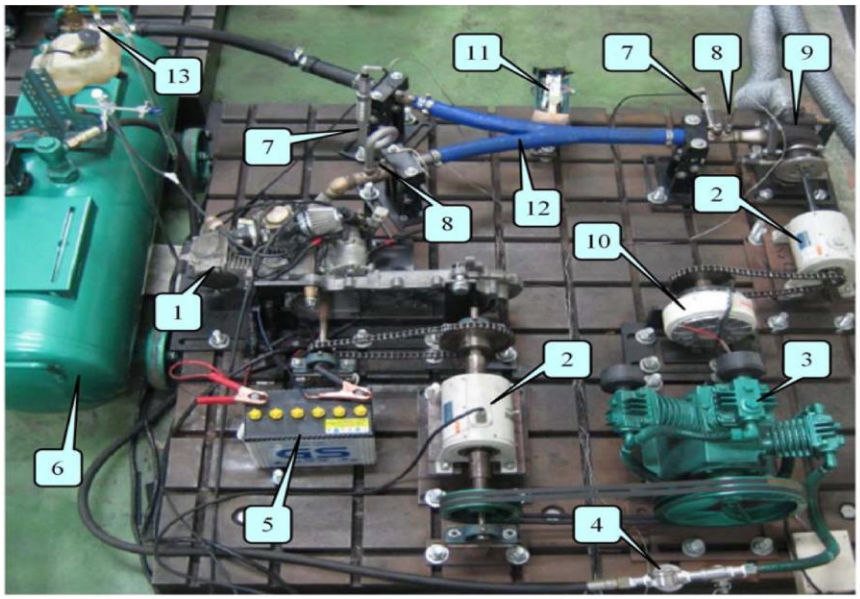
Tata Motors з Індії є ще одним виробником автомобілів, що працює над транспортними засобами із двигунами на стисненому повітрі. У 2009 році компанія Tata випустила автомобіль з пневматичним приводом із двигуном на стисненому повітрі [2]. Tata також розглядає плани відродження версії Tata Nano зі стисненим повітрям, яка раніше розглядалася в рамках їхньої співпраці з MDI. Крім MDI і Tata Motors, були й інші компанії, які працювали над двигуном на стисненому повітрі. Наприклад, компанія EngineAir з Австралії розробила роторний повітряний двигун під назвою «мотор Di Pietro» (рис. 2) [3]. На відміну від існуючих роторних двигунів, двигун Di Pietro використовує простий циліндричний обертовий поршень (привідний вал), який котиться всередині циліндричного статора.

Науковцями ІФНТУНГ було досліджено економічно ефективну концепцію гібридного двигуна зі стисненим повітрям для технологічного транспорту і комерційних транспортних засобів. Стиснене повітря перетворюється в процесі гальмування транспортного засобу та може використовуватися для приводу пневматичного стартера та досягнення рекуперативного гальмування для транспортних засобів з операціями «стоп-старт». Рекуперативне гальмування стисненим повітрям, в основному, застосовувалося до дизельних двигунів. Це пояснюється тим фактом, що і дизельний двигун, і двигун на стисненому

повітрі працюють на відносно низькій швидкості. Відпрацьоване тепло, що утворюється під час згоряння палива традиційного двигуна, займає приблизно 60-65 % загальної енергії палива у формі охолоджувальної рідини двигуна та вихлопної енергії, демонструючи великий потенціал у рекуперації відпрацьованого тепла.

Рисунок 2 – Транспортний засіб на стисненому повітрі EngineAir

Дослідники ІФНТУНГ запропонували гібридну систему стисненого повітря (рис. 3) для відновлення відпрацьованого тепла від дизельного двигуна з метою підвищення його ефективності.



1 - Дизельний двигун; 2 - Датчик крутного моменту; 3 - Повітряний компресор; 4 - Клапан стабілізатора напруги; 5 - Акумулятор; 6 - Бак зберігання повітря; 7 - Датчик тиску; 8 - Датчик температури; 9 - Турбіна; 10 - Тензодатчик; 11 - Електричний двигун; 12 - Колектор; 13 - Регулюючий клапан

Рисунок 3 – Гібридна пневматична енергетична система

Досліджуючи гібридну систему стисненого повітря на основі окремої рекуперації тепла вихлопних газів і охолоджуючої рідини було доведено, що продуктивність і ефективність двигуна на стисненому повітрі можна покращити шляхом рекуперації відпрацьованого тепла від звичайного ДВЗ. Оцінили потенціал енергозбереження гібридної системи зі стисненим повітрям, моделюючи систему охолодження дизельного двигуна і дійшли висновку, що застосування пневматичної гібридизації може заощадити 80 %

потужності вентилятора охолодження, оскільки відпрацьоване тепло, що міститься в охолоджувальній рідині, рекуперується стисненим повітрям.

Разом з тим застосування двигунів на стисненому повітрі в транспортних засобах не настільки популярне, порівняно з іншими технологіями альтернативної енергії, такими як електромобілі. Кілька технологічних причин підсумовані нижче. Високі втрати енергії стисненого повітря під час роботи є головним технічним бар'єром. Через низьку щільність енергії необхідно збільшити тиск зберігання стисненого повітря, що може призвести до серйозних втрат стисненого повітря відносно дросельної заслінки, коли повітря випускається з повітряного бака. Під час робочого процесу двигуна, що працює на стисненому повітрі, тиск у циліндрі вищий, ніж після розширення стисненого повітря, що означає, що енергія стисненого повітря недостатньо перетворюється на вихідну потужність. Крім того, стиснене повітря може зазнавати великих втрат потоку під час процесу всмоктування через високу швидкість потоку та конструкцію системи клапанів. Процес дроселювання стисненого повітря створює низьку температуру в певних місцях труб або клапанів відповідно до ефекту Джоуля-Томсона, що може призвести до проблем блокування льодом двигуна після тривалої роботи.

Сумування енергії, що з'єднує вихлопну трубу двигуна та вихід компресора дизельного двигуна, також було вивчено за допомогою CFD моделювання та експериментів. Було зроблено висновок, що на процес злиття енергії суттєво впливає площа поперечного перерізу з'єднувальної труби. І близько 70 % відпрацьованого тепла вихлопних газів може бути рекуперовано. Гібридна система була оцінена та продемонстрована в експерименті, який показав потенціал підвищення ефективності силового приводу до 40 %, коли тиск стисненого повітря стабільний на рівні 8 бар.

Перероблене стиснене повітря зберігалося в повітряному резервуарі та використовувалося для прискорення двигуна. Під час прискорення двигун міг працювати і як пневматичний двигун, і як двигун внутрішнього згоряння в чотиритактному циклі з пневматичною підтримкою. Під час роботи в циклі живлення з підтримкою повітря, стиснене повітря вводилося в циліндр двигуна, розширювалося та виконувало роботу під час першого ходу поршня вниз. Потім цей же заряд повітря використовувався в наступному процесі згоряння, виконуючи додаткову роботу над поршнем під час його другого ходу вниз.

Принцип рекуперативного гальмування полягає у відновленні зайвої кінетичної енергії транспортного засобу під час фази гальмування та перетворенні в доступну енергію, таку як заряд акумулятора. Подібним чином рекуперативне гальмування можна використовувати для виробництва стисненого повітря в гібридній системі повітря. Основна відмінність полягає в тому, що енергія акумулятора відновлюється в процесі заряджання на основі хімічної реакції, тоді як стиснене повітря виробляється в процесі стиснення компресора. Порівняно з гібридною електричною силовою установкою, гібридна система зі стисненим повітрям є більш компактною, оскільки стиснення та вихідна потужність можуть бути реалізовані на одному двигуні.

Список використаних джерел

1. Y. Lu, A.P. Roskilly, X. Yu, K. Tang, L. Jiang, A. Smallbone, et al. (2023). Parametric study for small scale engine coolant and exhaust heat recovery system using different Organic Rankine cycle layouts, Appl. Therm. Eng. 127, 1252–1266.
2. Wang, C. Dong, Y. Lu, Y. L. Wang, A.P. Roskilly. (2022). Design and assessment on a novel integrated system for power and refrigeration using waste heat from diesel engine, Appl. Therm. Eng. 91 591–599.
3. J.-Q. Hu, X.-L. Yu, X.-H. Nie, P.-L. Chen. (2019)Feasibility of parallel air-powered and diesel hybrid engine, Zhejiang Daxue Xuebao (Gongxue Ban)/J. Zhejiang Univ. Eng. Sci. 43, 1632–1637.

УДК: 62.614

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ НАДКРИТИЧНОГО ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ НА ВАНТАЖНОМУ ТРАНСПОРТІ

А.І. Сем`янчук, *асп.*,
І.М. Солярчук, *асп.*,
Т.Т. Гріштор, *асп.*
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

Існує три багатообіцяючі системи рекуперації відпрацьованого тепла двигунів внутрішнього згорання, які зараз досліджуються на транспорті. Це термоелектричні генератори (ТЕГ), системи на основі органічного циклу Ренкіна (ОЦР) і системи на основі надкритичного діоксиду вуглецю (sCO_2) [1]. Ці системи можна використовувати не лише для рекуперації тепла вихлопних газів двигунів внутрішнього згорання вантажного автомобільного транспорту, але й у багатьох інших галузях, таких як виробництво електроенергії на викопному паливі або суднова енергетика. Зазначені системи були спеціально обрані авторами статті, оскільки вони перебувають на найвищому стані технологічної готовності, порівняно з іншими новітніми доступними варіантами зниження витрат палива та зменшення токсичності відпрацьованих газів (наприклад, термоакустичними системами), які знаходяться на початковій та середній стадії дослідження.

Двоокис вуглецю - це екологічно безпечна природна робоча речовина, яка є недорогою, негорючою, вибухобезпечною та поширена в природі. Крім того, двоокис вуглецю має низький потенціал з точки зору впливу на глобальне потепління і не має озоноруйнівного ефекту [2], що є важливими екологічними характеристиками при виборі робочої рідини для термодинамічного циклу виробництва електроенергії. Коли CO_2 наближається до критичної точки, він стає менш податливим до стиснення. Отже, робота компресора може бути суттєво зменшена, що призведе до підвищення ефективності термодинамічного циклу. Ще одна перевага використання циклів sCO_2 полягає в тому, що вони працюють під набагато вищим тиском протягом усього циклу, що призводить до більш високої щільності робочої рідини, що також сприяє меншим розмірам обладнання, а отже, меншим капітальним витратам [3].

Метою даного дослідження є оцінка потенціалу рекуперації електроенергії за допомогою систем ОЦР, sCO_2 та ТЕГ у системах утилізації тепла вихлопних газів дизельних двигунів внутрішнього згоряння вантажного автомобільного транспорту.

Дослідження виконано за допомогою програмного комплексу GT-SUITE – спеціалізованого програмного забезпечення для симуляції двигунів, трансмісій та транспортних засобів. Цей комплекс є потужним інструментом для моделювання різних систем двигунів і широко використовується провідними виробниками у сфері автомобілебудування. GT-SUITE включає вбудовані 3D CAD-інструменти, засоби оптимізації та можливості навчання нейронних мереж. Крім того, воно інтегрується з MATLAB і Simulink, що дозволяє проводити глибший аналіз систем керування.

Важливою частиною моделювання в GT-SUITE є калібрування різних компонентів системи. У цьому проекті першим кроком було створення автономних калібрувальних моделей для теплообмінників, компресорів, насосів і турбін, які використовуються в моделях дизельного двигуна на вантажного автомобільного транспорту. Ці моделі порівнювалися з довідковими даними випробувань, наданими виробниками дизельних двигунів, а також іншими даними калібрування, знайденими в літературі. Коли компоненти були

відкалібровані, а якість результатів порівняно з даними тестування стала прийнятною, було розпочато моделювання для цього проекту.

Для цього проекту використовувався 6-циліндровий 4-тактний дизельний двигун робочим об'ємом 12,0 л зі ступенем стиснення 17:1. Це типові двигуни автомобільного транспорту, які зараз використовуються для вантажних автомобілів.

Модель теплообміну в циліндрі, яка використовується в цьому дослідженні, є моделлю WoschniGT. У цій моделі використовується формула, яка точно імітує класичну кореляцію Woschni без завихрення. Однак різниця полягає в обробці коефіцієнтів тепловіддачі при відкритих клапанах. Модель WoschniGT враховує передачу тепла, збільшену швидкістю припливу через впускні клапани, а також зворотний потік через випускні клапани. Крім того, використовувана модель згоряння - це безпосереднє вприскування (DI), коли паливо впорскується безпосередньо в циліндр. У цій моделі ефективна потужність двигуна регулюється кількістю палива, що впорскується в циліндри. Подача палива обмежена в контролері співвідношенням повітря та палива. Турбонагнітачу встановлювався час 1 секунда, щоб досягти постійної швидкості турбіни після зміни частоти оборотів колінчастого вала двигуна. Після визначення необхідних параметрів користувач може ввести відповідні вхідні дані, необхідні для моделювання.

На рис. 1 показана модель системи sCO_2, створена в GT-SUITE. Конструкція системи базувалася на рекуперованому замкнутому циклі Брайтона. Ця система має додаткову перевагу підвищення загальної ефективності завдяки використанню рекуператора. Робочим тілом для цієї системи є вуглекислий газ (CO_2) у надкритичному стані. Важливим параметром є початкова температура холодоагенту. Її встановлено на 31 °C, щоб забезпечити надкритичний стан CO_2 у всій системі. У надкритичному стані температура і тиск CO_2 вищі за критичну точку, тому рідку та парову фази неможливо розрізнити. Це відбувається, коли температура перевищує 31 °C і тиск перевищує 83,8 бар.

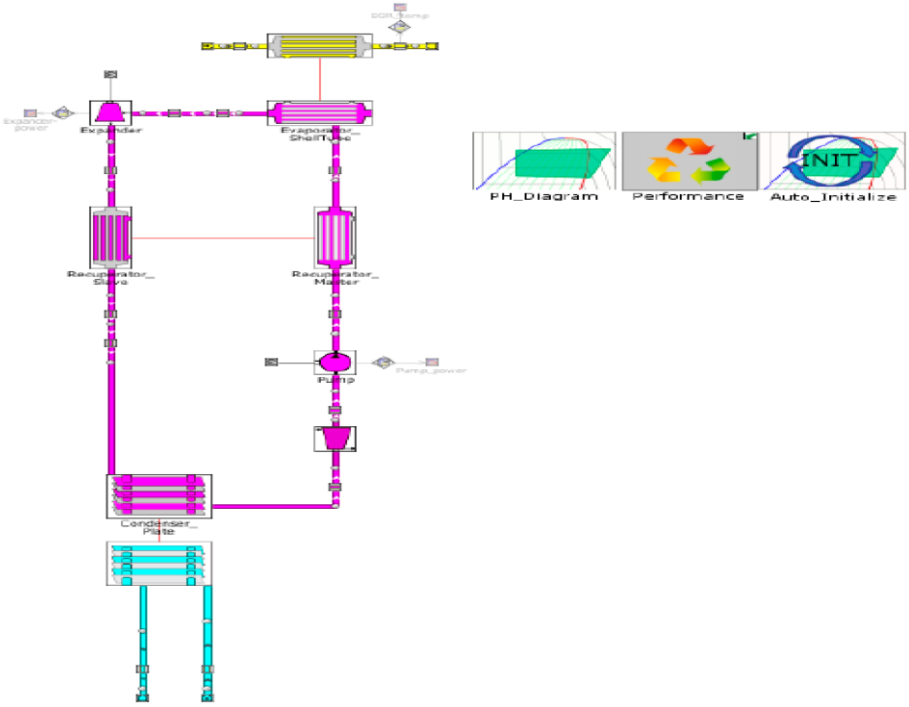


Рис. 1 – Схема моделі системи sCO2 у GT-SUITE

Кожна труба моделюється як «плоска пластина», яку можна знайти в типовому пластинчастому теплообміннику. Труби моделюються за допомогою теплових трубок, з'єднаних із масами, які представляють стінки труб і ребра для внутрішньої труби. Крім того, шаблон TEM, який використовується в моделі, враховує всі три термоелектричні ефекти (Зеебека, Пельтьє і Томсона), щоб генерувати електричний потенціал у відповідності з

різницею температур на ньому. Для аналізу потужності, виробленої всією системою ТЕГ, була створена підмодель, яка підсумовує всі вихідні потужності від кожного ТЕМ.

Загалом, з результатів досліджень усіх трьох систем РТВГ, на рис. 2 показано, що найімовірнішими системами, які будуть успішними для застосування в системах утилізації відпрацьованого тепла вихлопних газів для важких дизельних двигунів, є системи ОЦР і sCO_2. Ці дві системи мають значно вищу ефективність, ніж ТЕГ, і тому рекуперують набагато більше енергії з вихлопних газів. Крім того, системи sCO_2 мають додаткову перевагу, оскільки є більш компактними завдяки вищому робочому тиску системи. Однак головними проблемами, з якими стикаються як системи ОЦР, так і sCO_2, є розробка високоефективних турбін, які будуть надійними при підвищених тисках і температурах. Якщо ці проблеми вдасться подолати, існує значна можливість для масового застосування цих систем для додатків РТВГ.

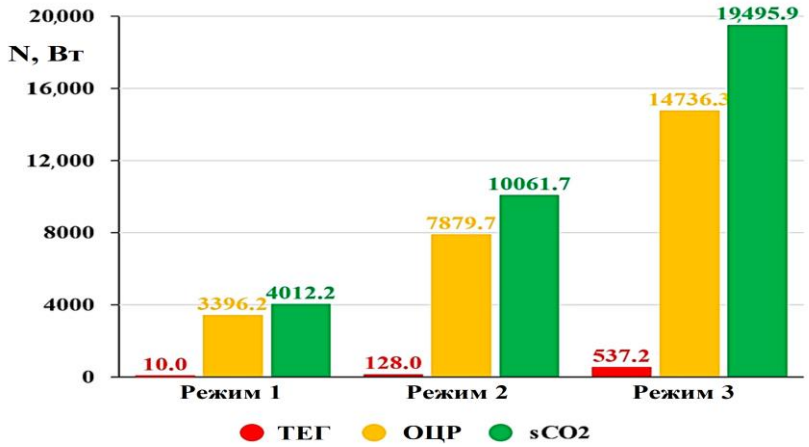


Рис. 2 – Порівняння трьох систем РТВГ

Системи sCO_2 мають найвищу ефективність з трьох систем РТВГ, а також мають перевагу компактності завдяки вищому робочому тиску. Крім того, вартість кВт енергії, виробленої системами sCO_2, також значно нижча, ніж у системах ОЦР і ТЕГ. Звичайно, використання таких систем все ще є предметом аналізу у контексті масштабної електрифікації сучасного автомобільного транспорту, але дедалі більше впровадження альтернативних видів палива та водневих паливних елементів означає, що такі системи можна розглядати як високоактуальні. Зважаючи на зростаючий тиск на виробників автомобілів щодо зменшення викидів від транспортних засобів, системи sCO_2 можуть виявитися привабливою перспективою на потужних дизельних двигунах вантажного автомобільного транспорту.

Список використаних джерел

1. Siddiqui, M.E. Thermodynamic Performance Improvement of Recompression Brayton Cycle Utilizing CO2-C7H8 Binary Mixture. Mechanics 2021, 27, 259–264.
2. Wieland, C.; Schifflechner, C.; Dawo, F.; Astolfi, M. The organic Rankine cycle power systems market: Recent developments and future perspectives. Appl. Therm. Eng. 2023, 224, 119980.
3. Manjunath, K.; Sharma, O.P.; Tyagi, S.K.; Kaushik, S.C. Thermodynamic analysis of a supercritical/transcritical CO2 based waste heat recovery cycle for shipboard power and cooling applications. Energy Convers. Manag. 2018, 155, 262–275.

УДК: 621.43.019.8:532.529:004.942

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВИПУСКНОГО КОЛЕКТОРА ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ МЕТОДОМ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ГАЗОДИНАМІКИ

О.М. Маковкін, *доц., канд. техн. наук,*
М.О. Чебан, *ст. гр. МТВА-22-1,*
І.К. Вальчку, *асп.*
Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна

Одним із ключових елементів системи випуску відпрацьованих газів двигуна внутрішнього згоряння є випускний колектор. Його конструкція відіграє важливу роль у формуванні ефективного газообміну, зменшенні теплових втрат, зниженні рівня зворотного тиску та покращенні якості продувки (очищення) циліндрів. Усе це безпосередньо впливає на основні робочі характеристики двигуна — потужність, паливну економічність та рівень шкідливих викидів.

Конструктивні параметри колектора, такі як кількість та довжина випускних каналів, форма об’єднувальної камери, конфігурація трубопроводів, кути їх з’єднання та загальна геометрія, визначають характер відведення відпрацьованих газів і формування хвильових процесів у системі випуску. Це, у свою чергу, позначається на синхронізації фаз газообміну, впливаючи на ефективність роботи двигуна на різних режимах навантаження.

З огляду на складність фізичних процесів, що відбуваються у випускній системі, виникає потреба у всебічному дослідженні впливу конструктивних особливостей колектора на його функціональні характеристики. Одним із найефективніших сучасних інструментів для реалізації такого аналізу є методи комп’ютерного моделювання. Використання CAD/CAE-програм, зокрема SolidWorks із модулем Flow Simulation, дозволяє виконати глибоке чисельне моделювання гідродинамічних та теплотехнічних процесів без необхідності виготовлення фізичних прототипів.

Метою даної роботи є створення та дослідження 3D-моделей різних типів випускних колекторів, зокрема — стандартного та вдосконаленого рівнодовгого варіанта. За допомогою комп’ютерного моделювання здійснюється порівняльний аналіз їх конструктивних особливостей та впливу на основні параметри потоку відпрацьованих газів — таких як розподіл тиску, температури, швидкості, а також ефективність загального відведення газів із циліндрів. Отримані результати дозволяють сформувати рекомендації щодо вдосконалення геометрії колектора з метою підвищення ефективності роботи двигуна внутрішнього згоряння.

Для теоретичного дослідження було обрано автомобіль Daewoo Lanos з двигуном A16DMS**.** У середовищі САПР SolidWorks було побудовано 3D-моделі трьох типів випускних колекторів: стандартного (рис. 1, а)**,** рівнодовгого (рис. 2, а**)** та спрощеного (рис. 3, а). Дослідження проводилося із застосуванням модуля SolidWorks Flow Simulation, де було змодельовано роботу двигуна в момент відкриття випускного клапана, зокрема першого циліндра.

На основі результатів симуляції встановлено, що тиск у момент випуску перевищує атмосферний, що негативно впливає на якість очищення циліндрів від відпрацьованих газів (продувку). Це може спричинити погіршення газообміну, зростання зворотного тиску та підвищення температур у зоні клапанів, що знижує ефективність двигуна. З метою зниження зворотного тиску було запропоновано конструкцію колектора, яка сприяє створенню розрідження в сусідніх каналах у момент випуску, покращуючи процес продувки.

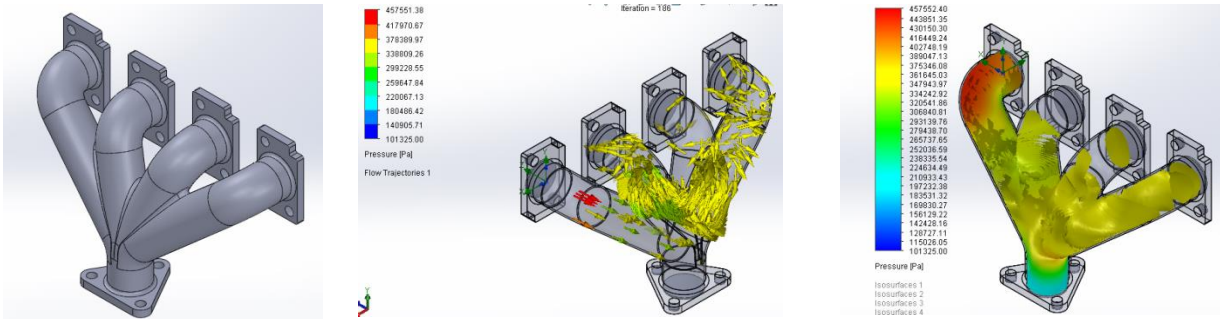
Для симуляції були задані такі вхідні параметри потоку відпрацьованих газів із циліндра:

– температура – 820 °С;
– тиск – 400 кПа;
– склад – 75% N_2 , 15% CO_2 , 5% H_2 O (пара), 5% повітря;
– тип потоку – турбулентний.

Умови навколишнього середовища на вході з боку каталізатора:

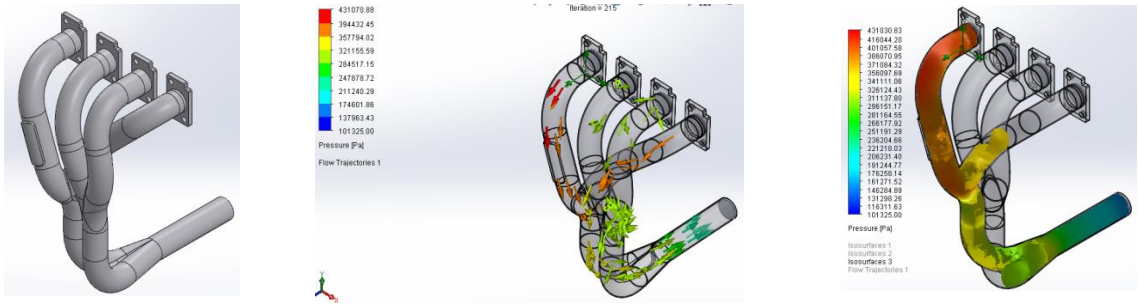
– температура – 20 °С;
– тиск – 100 кПа;
– склад – 100% повітря;
– тип потоку – турбулентний.

Після запуску симуляції були побудовані траєкторії руху газів і отримані епюри розподілу тиску, температури та швидкості в межах кожної конструкції колектора.



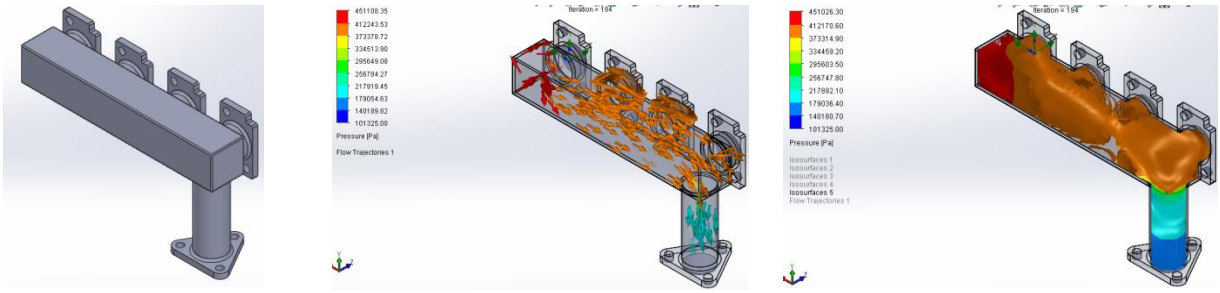
а б в

Рисунок 1. Стандартний випускний колектор: а – 3D-модель, б – траєкторії руху газів, в – епюра розподілу тиску



а б в

Рисунок 2. Рівнодовгий випускний колектор: а – 3D-модель, б – траєкторії руху газів, в – епюра розподілу тиску.



а б в

Рисунок 3. Спрощений випускний колектор: а – 3D-модель, **б** – траєкторії руху газів, в – епюра розподілу тиску.

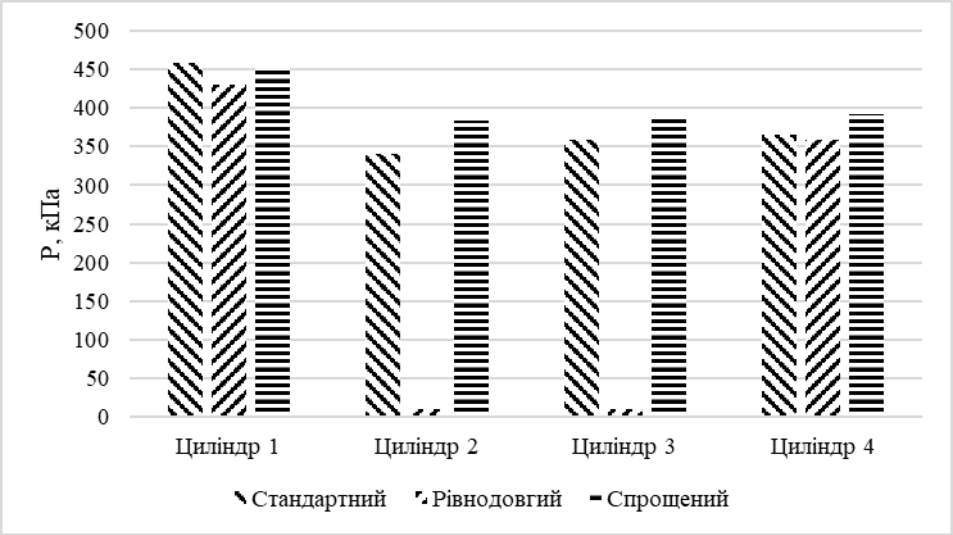


Рисунок 4. Діаграма залежності максимального тиску вихлопних газів на виході з кожного циліндра від конструкції випускного колектора

Висновки:

Максимальний зворотний тиск спостерігався у конструкціях з нерівномірною довжиною каналів (стандартний та спрощений варіанти), що погіршує умови продувки та негативно впливає на ефективність роботи двигуна.

Рівнодовгі колектори забезпечили кращий газообмін, зменшення зворотного тиску та більш ефективне очищення циліндрів.

Температурне поле в рівнодовгому колекторі було більш рівномірним, що сприяє зниженню локального теплового навантаження на окремі ділянки, підвищуючи надійність та довговічність елементів системи.

Застосування комп'ютерного моделювання дозволило ефективно дослідити вплив геометрії випускного колектора на розподіл параметрів потоку та зробити обґрунтовані висновки щодо доцільності впровадження рівнодовгих конструкцій у серійних двигунах.

Список використаних джерел

1. 1.Редько В.Г. Основи проектування двигунів внутрішнього згоряння. – К.: АртЕк, 2010.
2. Хоменко О.М. Системи випуску двигунів: конструкція та розрахунок. – Львів: Видавництво ЛП, 2015.
3. SolidWorks Flow Simulation Technical Reference. – Dassault Systèmes, 2020.
4. Pulkrabek W. Internal Combustion Engine Fundamentals. – Pearson Education, 2014.
5. Зінченко І.В. Основи чисельного моделювання потоків. – Харків: ХНУРЕ, 2012.

УДК 621.891

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ВТУЛКИ КУЛІСИ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМИКАННЯ ПЕРЕДАЧ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ

В.П. Свідерський, *доц., канд. техн. наук,*
Л.М. Кириченко, *старший науковий співробітник,*
Н.В. Бонк, *ст. гр. АТ 22-1*
Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна

У сучасному машинобудуванні зростання питомих навантажень та швидкостей руху ускладнює експлуатаційні умови деталей і вузлів машин, що спричиняє збільшення інтенсивності зносу контактуючих поверхонь. Наразі виникла проблема підвищення зносостійкості втулки куліси легкового автомобіля, що дозволило б покращити надійність механізму перемикання передач загалом.

З винайденням високотехнологічного матеріалу флубон появилась можливість замінити поліетилен на антифрикційний карбопластик, характеристики якого значно перевершують поліетилен в таких умовах [1].

Порівняльні дослідження механічних, теплофізичних та антифрикційних властивостей термопластів, які армовані вуглецевими та скляними волокнами показали, що карбопластики мають кращі характеристики ніж термопласти, армовані скловолокном: за модулем згину у 2 рази, за теплопровідністю в 2–3 рази і в 2 рази нижчу деформацію та повзучість [2,3]. Ці висновки і сприяли виконанню досліджень характеристик фторопластових матеріалів, які наповнені вуглецево-волокнистими матеріалами та матеріалів на основі фторопластів, модифікованих комбінованими наповнювачами з метою підвищення зносостійкості втулки куліси механізму перемикання передач легкового автомобіля [4].

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення зносостійкості пари тертя втулка – вісь методом заміни матеріалу поліетилен-В на фторопластовий антифрикційний карбопластик.

Для виконання поставленої мети в роботі визначено наступні задачі:

– для покращення фізичних, механічних та антифрикційних характеристик карбопластиків типу флубон дослідити вплив вуглецевих волокон та видів фторопласту на властивості матеріалів;

– розробити методику та виконати дослідження зносостійкості полімерного базового матеріалу поліетилен-В та антифрикційного карбопластика Ф4К10ВВ10.

Дослідження антифрикційних властивостей полімерних матеріалів виконували за схемою контакту «сфера – площина». При нормальному постійному навантаженні дотримувались режиму змінних граничних питомих навантажень. Зразки діаметром 10±0,1 мм та висотою 10±0,1мм з кінцевою сферою радіусу 6,35 мм контактували сферою по площині металевого контртіла, що виготовлене із сталі 45 НВ = 4,5±0,18 ГПа, діаметр якого 60±0,15 мм та висота 10±0,15 мм. Металеве контртіло оброблено до початкового середньо арифметичного відхилення профілю поверхні Ra = 0,2±0,03 мкм.

Коефіцієнт тертя визначали за формулою:

$$\mu = \frac{F_{TP}}{N} = \frac{L \cdot f}{R_{TP} \cdot N}, \qquad (1)$$

де F_{TP} − сила тертя, Н; N − нормальне навантаження, Н; R_{TP} − радіус тертя, мм; f − зусилля, яке діє на тензобалку, Н; L − плече моменту тертя $M_L = f L$, [мм·Н].

За результатами даного дослідження підраховували інтенсивність об'ємного зношування для шляху тертя ΔS_i:

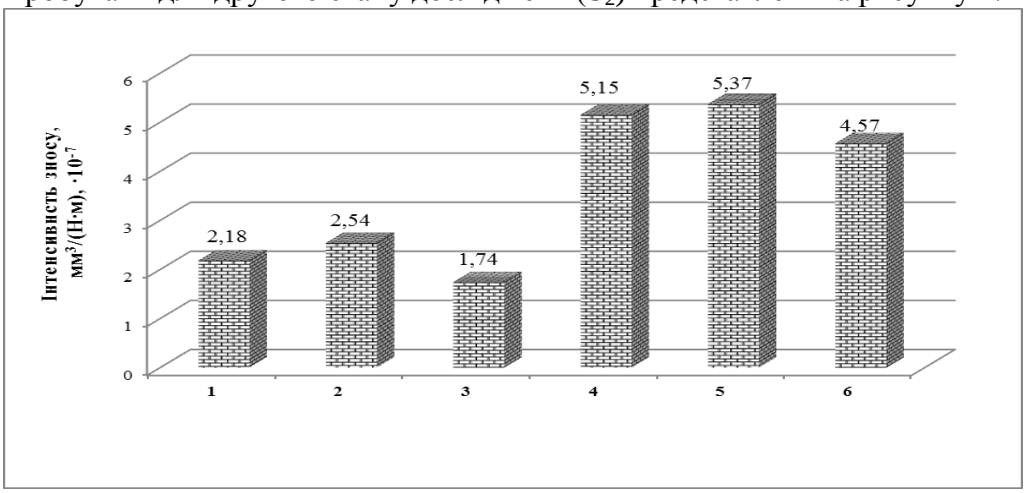
$$I_i = \frac{\Delta V_i}{N_i \cdot \Delta S_i} \tag{2}$$

де ΔV_{1i} – зміна об'єму *i*-зразка на проміжку шляху тертя від 0 до 3 км (перший етап дослідження відповідає нелінійній залежності зношування від шляху тертя);

ΔV_{2i} – зміна об'єму *i*-зразка на проміжку шляху тертя від 3 до 50 км (другий етап дослідження відповідає лінійній залежності зношування від шляху тертя).

Нормальне навантаження на один зразок Ni = 100 Н, швидкість ковзання V = 0,3 м/с, температура замірялась на відстані 0,5–1 мм від поверхні контртіла і при випробуванні без мащення становила Т = (323 ± 2) К.

Дослідження проводили на шляху тертя S_1 = 0…3 км та S_2 = 3…50 км. Результати виконаних випробувань для другого етапу досліджень (S_2) представлені на рисунку 1.



1 – Фторопласт 4ПН (80 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини Текарм (20 мас. %); 2 – Фторопласт 4ПН (80 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини Текарм (15 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини Урал-Т15 (5 мас. %); 3 – Фторопласт 4ПН (80 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини Текарм (5 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини Урал-Т15 (15 мас. %); 4 – Фторопласт 4ПН (80 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини ТГН-2М (5 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини Урал-Т15 (15 мас. %); 5 – Фторопласт 4ПН (80 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини ТГН-2М (10 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини Урал-Т15 (10 мас. %); 6 — Фторопласт 4ПН (80 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини ТГН-2М (15 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини Урал-Т15 (5 мас. %)

Рис. 1 – Гістограма інтенсивності зносу антифрикційних матеріалів Ф4ВВ20 модифікованих різними вуглецевими волокнами та їх комбінуваннями для другого етапу дослідження при S_2 = 3…50 км

За результатами випробувань встановлено, найбільшу зносостійкість має композиція Ф4ВВ20, яка наповнена вуглецевим волокном Текарм – 5 мас. % та вуглецевим волокном Урал-15 – 15 мас. %. Зносостійкість цього матеріалу на 25 % переважає матеріал Ф4ВВ20, наповнений 20 мас. % вуглецевого волокна з тканини Текарм.

Нанесення на вуглецеву тканину або волокно фторопластового покриття приводить до підвищення зносостійкості композиційного матеріалу в десятки разів [2,3]. Разом з тим, відслідковується підвищення міцності, збільшення модуля пружності, а також підвищується термостійкість та хімстійкість матеріалу. Нанесення на волокнисті вуглецеві матеріали фторопластового покриття підвищує втомну міцність в десятки тисяч разів. Виходячи з цього, для покращення антифрикційних характеристик карбопластиків Ф4ВВ20 на поверхню вуглецевої тканини Текарм було нанесено покриття Фторопласту-4 "МБ". Дослідження зносостійкості виконували за схемою сфера – площина. Нормальне навантаження на один зразок N_i = 100 Н, при швидкості ковзання V = 0,45 м/с, температура замірялась на відстані

0,5 – 1 мм від поверхні контртіла і при випробуванні без мащення становила Т = (323±2) К. Експерименти проводили на шляху тертя S_1= 0…3 км, S_2 = 3…13 км. Результати виконаних досліджень представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Антифрикційні характеристики карбопластиків Ф4ВВ20 з різними марками фторопласту-4.

Назва матеріалу та склад, мас. %	Інтенсивність зносу, $мм^3/(Н·м)$, $\cdot 10^{-6}$ S_1=3 км	Інтенсивність зносу, $мм^3/(Н·м)$, $\cdot 10^{-6}$ S_2=3…13 км	Коефіцієнт тертя, μ
Ф4ВВ20-4 “МБ” з покриттям Ф-4 “МБ” на вуглецевій тканині	1,265	0,7098	0,269
Ф4ВВ20-4 “Д” (Ф-4Д – 80, Текарм –5, Урал-Т15 – 15)	2,172	3,37	0,35
Ф4ВВ20-4 “Т” (Ф-4Т – 80, Текарм –5, Урал-Т15 – 15)	1,807	0,853	0,273
Ф4ВВ20-4 “0”,(Ф-4 “0” – 80, Текарм –5, Урал-Т15 – 15)	3,124	4,934	0,297

Аналізуючи виконані дослідження, можна зробити висновок, що найнижчу інтенсивність зносу та коефіцієнт тертя має композиційний матеріал наповнений вуглецевим волокном з тканини Текарм, на поверхню якого було нанесено фторопластове покриття Фторопласт-4 “МБ”.

Карбопластики Ф4ВВ20 з різними марками фторопластів за інтенсивністю зносу можна розташувати у такий ряд: Ф-4“0”< Ф-4“Д”< Ф-4“Т”. Найбільшу зносостійкість мають композиційні матеріали на основі фторопласту-4“Т”.

Дослідження механічних характеристик при стисненні композиційних матеріалів Ф4ВВ20 виконували за ГОСТ 4651-82 СТ. Перед експериментами зразки кондиціонували за ГОСТ 12423-66 на протязі 16 годин при температурі 23±2°С та відносній вологості 50±5 %.

Випробування при стискуванні антифрикційних фторопластових матеріалів виконували з допомогою розривної машини марки Р-0,5. Зразки для досліджень були виготовлені у вигляді циліндрів діаметром 10 мм та висотою 15 мм. Дослідження проводили з швидкістю руху рухомої траверси розривної машини 2,5 мм/хв. Міцність при стисненні в МПа розраховували за формулою:

$$\sigma = \frac{N}{F} \tag{3}$$

де N – нормальне навантаження, Н; F – площа поперечного перерізу зразка, $мм^2$.

Міцність при стискуванні карбопластиків Ф4ВВ20 з різними марками фторопласту-4 представлено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Міцність при стискуванні карбопластиків Ф4ВВ20

Назва матеріалу	Міцність при стискуванні, σ, МПа		
	5% деформування	15% деформування	25% деформування
Ф4ВВ20-4 “О”, (Ф-4 “О”)	17,899	39,97	65,1274
Ф4ВВ20-4 “Д”, (Ф-4 “Д”)	20,13	46,37	70,96
Ф4ВВ20-4 “Т”, (Ф-4 “Т”)	14,65	39,62	68,41
Ф4ВВ20-4 “МБ”	15,92	31,75	–

Аналіз одержаних результатів показав, що найбільшу міцність при стискуванні має карбопластик Ф4ВВ20-4 “Д”. У карбопластика Ф4ВВ20-4 “Т” міцність при стискуванні дещо нижча, а найнижча міцність при стискуванні у карбопластика Ф4ВВ20-4 “О”.

Отже, за результатом антифрикційних та механічних досліджень доцільно використовувати для приготування композиційних матеріалів Ф4ВВ20 фторопласт-4 “Т” та наносити на поверхню вуглецевої тканини Текарм покриття фторопласту-4 “МБ”.

Дослідження зносостійкості полімерного базового матеріалу поліетилен-В та антифрикційного карбопластика Ф4К10ВВ10 виконували за схемою контакту «конус – площина». При нормальному навантаженні на один зразок Ni = 100 Н використовували зразки у формі квадрату розміром 3х3 мм та висотою 12 мм із верхнім конусом під кутом 90˚. Контртіло, діаметр якого 60±0,15 мм та висота 10±0,15 мм, виготовлене із сталі 40Х HRC = 44–48 і оброблено до початкового середньоарифметичного відхилення профілю поверхні Ra = 0,2±0,03 мкм.

Результати досліджень з визначенням параметрів моделі зношування [5] наведені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати досліджень з визначенням параметрів моделі зношування

№	Матеріал	m	K_W	S,м	U_W, мм	k
1	Поліетилен-В, без мащення	0,5	0,00688	504	0,773	1
2	Ф4К10ВВ10, без мащення	4,5	0,4296	504	$4{,}99\cdot10^{-4}$	1549
3	Поліетилен-В, мастило ТАД-17	2,5	0,0824	1224	0,745	1
4	Ф4К10ВВ10, мастило ТАД-17	3,5	0,01873	1224	$9{,}468\cdot10^{-4}$	787

Порівняння (k) зносу матеріалів, U_W:

(1/2), $K = U_{w1}/U_{w2}$

(3/4), $K = U_{w3}/U_{w4}$

Встановлено, що композиційний антифрикційний матеріал Ф4К10ВВ10 при терті без мащення за зносостійкістю переважає базовий матеріал поліетилен-В у 1549 разів, а при терті у мастилі ТАД-17 – у 787 разів.

Таким чином**,** було здійснено вибір та обґрунтування технологічного методу підвищення зносостійкості втулки куліси механізму перемикання передач легкового автомобіля шляхом заміни поліетилену-В на карбопластик Ф4К10ВВ10. Експериментальні дослідження зносостійкості антифрикційних матеріалів були підтверджені результатами розрахунків з визначенням параметрів моделі зношування.

Список використаних джерел

1. Диха О. В. Технологічне забезпечення довговічності технічних трибосистем : монографія / О. В. Диха, В. П. Свідерський, О. С. Дробот, Н. С. Машовець. – Хмельницький : ХНУ, 2021. – 178 с.
2. Сіренко Г. О. Фізичні методи дослідження речовин: Ч. ІІ. Теплофізичні методи та властивості полімерних композитів : моногр. підруч. [спец. курс лекцій. - 2-ге вид. випр., доп.] / Г. О. Сіренко, В. П. Свідерський, М. Б. Складанюк ; за ред. Г. О. Сіренка. - Івано-Франківськ : Вид. Супрун В.П., 2020. - 292 с. – URI: // http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/9824.
3. Sina Ebnesajjad. Fluoroplastics Volume 1: Non-Melt Processible Fluoropolymers / Sina Ebnesajjad. –The Definitive User's Guide and Data Book. – Second Edition . – 2015. – 698 p.
4. Sina Ebnesajjad. Fluoroplastics Volume 2: Melt Processible Fluoropolymers / Sina Ebnesajjad.– The Definitive User's Guide and Data Book.– Second Edition . – 2016. – 745 p.
5. Кузьменко А.Г. «Методи розрахунків і випробувань на зношування та надійність.» : Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів – Хмельницький, ТУП, 2002 р. – 640 с.

УДК 547.26:665.753:665.7

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРИКОМПОНЕНТНОЇ ПАЛИВНОЇ СУМІШІ НА ОСНОВІ БІОЕТАНОЛУ, ДИЗЕЛЬНОГО ТА БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА

А.А. Штуць, *канд. техн. наук*
Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна

У сучасних умовах глобального потепління, енергетичної кризи та постійного зростання цін на традиційні викопні енергоносії особливої актуальності набуває проблема переходу до використання альтернативних та відновлюваних джерел енергії. Одним із перспективних напрямів розвитку паливно-енергетичного комплексу є створення інноваційних паливних сумішей, які б поєднували в собі екологічну безпечність, високу енергетичну ефективність та сумісність із існуючими двигунами внутрішнього згоряння, зокрема у складі когенераційних установок, що забезпечують одночасне виробництво електричної та теплової енергії.

Серед запропонованих рішень усе більшого поширення набуває використання трикомпонентних паливних сумішей, до складу яких входять: біоетанол, дизельне паливо та біодизель. Такий підхід дозволяє максимально ефективно поєднати переваги кожного з компонентів і створити збалансоване за властивостями альтернативне паливо.

Біоетанол є екологічно чистим спиртом рослинного походження з високим октановим числом, що забезпечує краще згоряння палива та зменшення токсичних викидів. Дизельне паливо - це традиційне джерело енергії з високою теплотворною здатністю, яке широко використовується в транспорті, енергетиці та промисловості. Біодизель, у свою чергу, є відновлюваним пальним, виготовленим на основі рослинних або тваринних жирів, та гною. Він має добрі мастильні властивості, сприяє зменшенню викидів шкідливих речовин та є біологічно розкладним.

Застосування трикомпонентної паливної суміші дозволяє не лише зменшити залежність від нафтопродуктів, але й підвищити екологічну ефективність роботи двигунів, покращити енергетичні показники, знизити викиди вуглекислого газу та інших шкідливих речовин. Це, у свою чергу, створює передумови для розширення сфери використання альтернативних палив у транспортному секторі, енергетиці, аграрному виробництві та інших галузях промисловості.

Метою даної роботи є дослідження фізико-хімічних властивостей сумішей зазначених компонентів у різних співвідношеннях, з подальшим визначенням оптимального складу для ефективного й екологічного застосування у дизельних двигунах.

У світовій та вітчизняній науковій літературі існує чимало досліджень, присвячених біопаливам. Зокрема, встановлено, що додавання біоетанолу до дизельного палива покращує процес згоряння, проте може знижувати змащувальні властивості суміші. Біодизель, у свою чергу, компенсує цей недолік, водночас покращуючи зольність і знижуючи емісію чадного газу[1,4,5].

Дослідження свідчать, що оптимальне співвідношення компонентів може залежати від цілей використання: максимізації енергетичної ефективності, мінімізації токсичних викидів або забезпечення стабільності суміші при низьких температурах.

Виклад основного матеріалу. Для проведення дослідження трикомпонентної паливної суміші було використано високоякісні компоненти, що відповідають сучасним стандартам та вимогам до альтернативних палив. Вибір саме цих матеріалів обумовлений їхньою доступністю, технічними характеристиками, а також можливістю ефективного поєднання в рамках єдиної суміші для застосування у дизельних двигунах.

Біоетанол. У дослідженні використовувався біоетанол із рівнем очищення 99%, денатурований. Біоетанол було отримано шляхом ферментації цукровмісної сировини рослинного походження, після чого здійснено додаткове очищення для досягнення необхідного ступеня чистоти. Його основною перевагою є високе октанове число, добра змішуваність з іншими паливами, а також здатність знижувати емісію токсичних компонентів у вихлопних газах. Денатурований біоетанол обрано для забезпечення безпечних умов дослідження та відповідності регуляторним вимогам.

Дизельне паливо. В якості базового викопного компонента використовувалося дизельне паливо, яке відповідає вимогам стандарту ДСТУ EN 590:2018. Цей стандарт визначає фізико-хімічні показники, такі як щільність, в'язкість, температура спалаху, вміст сірки тощо. Зазначене дизельне паливо широко використовується у промисловості та транспорті, є стабільним джерелом енергії та забезпечує високу теплоту згоряння. Воно слугувало орієнтиром у порівнянні властивостей з модифікованими паливними сумішами.

Біодизель. Третім компонентом досліджуваної суміші є біодизель, вироблений методом лужної естерифікації з використанням метанолу та рапсової олії як сировини. В результаті реакції одержано метилові ефіри жирних кислот, які відповідають вимогам стандарту EN 14214. Біодизель характеризується добрими мастильними властивостями, високим цетановим числом, а також меншою токсичністю продуктів згоряння. Його застосування в паливній суміші сприяє підвищенню екологічної безпеки та покращенню процесу змащення деталей двигуна [1,2,3]. Усі компоненти перед змішуванням були піддані первинному контролю якості, включаючи візуальний огляд, перевірку на наявність механічних домішок, а також оцінку основних фізико-хімічних параметрів згідно з чинними методиками.

Таблиця 1 - Склади сумішей. Для оцінки фізико-хімічних властивостей були сформовані такі пропорції:

Суміш	Біоетанол (%)	Дизель (%)	Біодизель (%)
S1	10	70	20
S2	15	65	20
S3	20	60	20
S4	20	50	30

Параметри дослідження. У кожному зразку визначались такі фізико-хімічні властивості:

- густина (при 15 °C);
- кінематична в'язкість (40 °C);
- температура займання;
- нижча теплота згоряння
- стабільність суміші (відсутність розшарування);
- вміст води;
- зольність.

Результати та їх аналіз. Отримані результати свідчать про суттєвий вплив концентрації біоетанолу на температуру займання та в'язкість паливної суміші. Зі збільшенням частки біоетанолу зменшується в'язкість, що позитивно впливає на процес розпилення палива в камері згоряння. Водночас температура займання при цьому знижується, що може призводити до проблем із самозайманням у дизельних двигунах при холодному запуску.

Біодизель компенсує цей ефект за рахунок більшої в'язкості та змащувальних властивостей. Найкращі експлуатаційні властивості показала суміш S2 (15% біоетанолу, 65% дизпалива, 20% біодизелю), що поєднує прийнятну температуру займання, стабільність та достатню теплоту згоряння.

Таблиця 2 - Фізико-хімічні характеристики трикомпонентних паливних сумішей.

Суміш	Біоетанол (%)	Дизель (%)	Біодизель (%)	Температура займання (°C)	Густина (кг/м³)	В'язкість (мм²/с)	Теплота згоряння (МДж/кг)
S1	10	70	20	60	835	2.5	41.5
S2	15	65	20	56	838	2.3	40.8
S3	20	60	20	52	840	2.1	39.9
S4	20	50	30	54	845	2.6	39.5

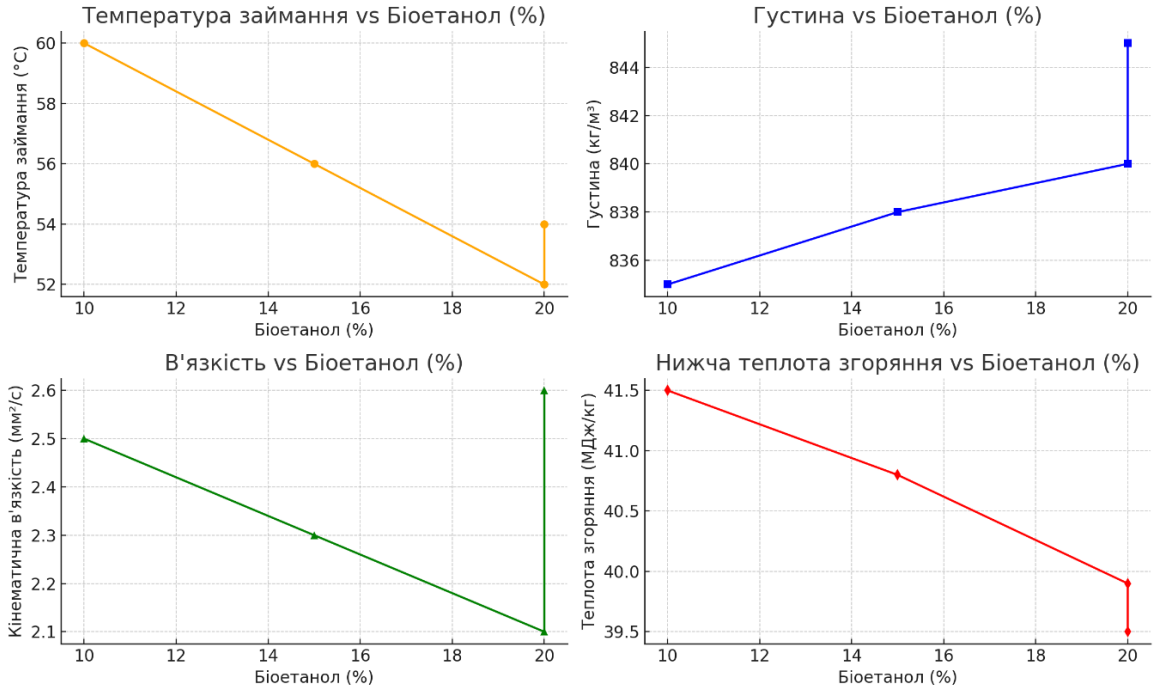


Рисунок 1 – Фізико-хімічні характеристики трикомпонентних паливних сумішей

Висновок. Проведене дослідження підтверджує доцільність використання трикомпонентних паливних сумішей на основі біоетанолу, дизельного палива та біодизелю як ефективної альтернативи традиційним дизельним паливам. Зважаючи на їх екологічні та енергетичні переваги, такі суміші мають значний потенціал для широкого впровадження у транспортній та енергетичній галузях.

Оптимальне співвідношення компонентів паливної суміші визначається залежно від конкретних умов експлуатації, типу двигуна та вимог до технічних характеристик палива. Водночас, результати дослідження вказують на те, що суміш з вмістом 15% біоетанолу, 65% дизельного палива та 20% біодизелю забезпечує найкращий баланс між фізико-хімічними показниками, енергетичною ефективністю та екологічною безпекою.

Отримані фізико-хімічні характеристики експериментальних зразків свідчать про збереження прийнятної температури займання, зменшення в'язкості, помірне зростання густини та незначне зниження теплотворної здатності при одночасному покращенні мастильних властивостей і зменшенні шкідливих викидів. Це робить суміш придатною для використання в сучасних дизельних двигунах без необхідності значних конструктивних змін.

Перспективним напрямом подальших досліджень є розширене експериментальне вивчення поведінки паливної суміші у реальних умовах експлуатації, зокрема: аналіз параметрів згоряння, енергоспоживання, ефективності роботи двигуна, впливу на елементи паливної системи, а також екологічних характеристик вихлопних газів. Такі випробування дадуть змогу оцінити довгострокову стабільність суміші та підтвердити її доцільність для промислового застосування.

Список використаних джерел

1. Voznyak O., Shtuts A. Investigation of the process of measurement control of the concentration of carbon dioxide. In: *Traditional and innovative approaches to scientific research: theory, methodology, practice: Scientific monograph:* Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2022. P. 1-27.
2. Бондаренко С.П. Екологічні переваги використання біоетанолу в системах живлення ДВЗ. *Вісник ХНАДУ*. 2020. №89. С. 107–112.
3. Бугрик О.В. Дослідження фізико-хімічних властивостей паливних сумішей дизельного та біодизельного палива. *Вісник ТДТУ*. 2019. Т. 24, №3. С. 75–82.
4. Ковальчук В.В., Кобзар С.М. Вплив біодобавок на фізико-хімічні властивості дизельного палива. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2020. №1. С. 94–100.
5. Рібун В.О. Дослідження експлуатаційних властивостей сумішей на основі біоетанолу та дизельного палива. *Автомобільний транспорт*. 2021. №49. С. 59–66.
6. Стаднік М., Штуць А., Колісник М., Григоренко Н. Застосування інтелектуальних систем для підвищення надійності та ефективності функціонування електроенергетичних мереж. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки.* 2025. Том 347 № 1. С. 291-299.
7. Стаднік М.І., Штуць А.А., Пилипенко О.В. Рівень енергозабезпечення тваринницьких ферм за рахунок біогазу. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. № 1 (112). С. 100 -112.

УДК: 621.94:004.94

МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ МАТЕРІАЛІВ ПРИ РОБОТІ З FDM ТА FFF ПРИНТЕРАМИ

М.І. Бабин, *ст. гр. Маш 23-1*,
П.М. Луц, *канд. техн. наук*
Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна

В сучасних 3D-принтерах технології FDM (Fused Deposition Modeling) та FFF (Fused Filament Fabrication) займають провідне місце завдяки їх доступності, економічності та широкій сфері застосування. Основою даних технологій є подача філаменту до нагрівального екструдера, де він плавиться та наноситься шарами для формування кінцевого виробу. Ефективність цього процесу значною мірою залежить від системи подачі філаменту, яка повинна забезпечувати стабільну швидкість, відсутність блокувань та контроль за натягом матеріалу.

Способи подачі філаменту в 3D-принтерах можна розділити на дві основні категорії:

- Direct Drive (прямий привід) – екструдер розташований безпосередньо над нагрівальною голівкою;
- Bowden Drive (дистанційний привід) – екструдер знаходиться на корпусі принтера, а філамент подається через тефлонову трубку до нагрівального елементу.

Ключові елементи системи протягування філаменту є: механізм подачі, нагрівальний блок (Hotend), система охолодження. Подача філаменту зазвичай здійснюється за допомогою зубчастих коліс, які обертаються кроковим двигуном. Головними параметрами є сила стиснення філаменту та швидкість обертання. Надалі філамент передається від екструдера до гарячого кінця – сопла, при цьому повинно забезпечуватись низький коефіцієнт тертя та не розплавлення матеріалу достроково. У нагрівальному блоці (Hotend) філамент розплавляється та наноситься на платформу. Важливою характеристикою є рівномірність нагрівання. Потім система охолодження виконує стабільність охолодження розплавленого пластику після нанесення та друку за допомогою вентиляторів.

Переваги та недоліки використання способів протягування філаменту в 3D-принтерах представлено у таблиці 1.

Таблиця 1 - Переваги та недоліки різних способів подачі філаменту.

Параметр	Прямий привід	Дистанційний привід
Точність подачі філаменту	Висока	Середня
Складність конструкції	Середня	Низька
Швидкість друку	Обмежена	Висока
Придатність для гнучких матеріалів	Висока	Низька

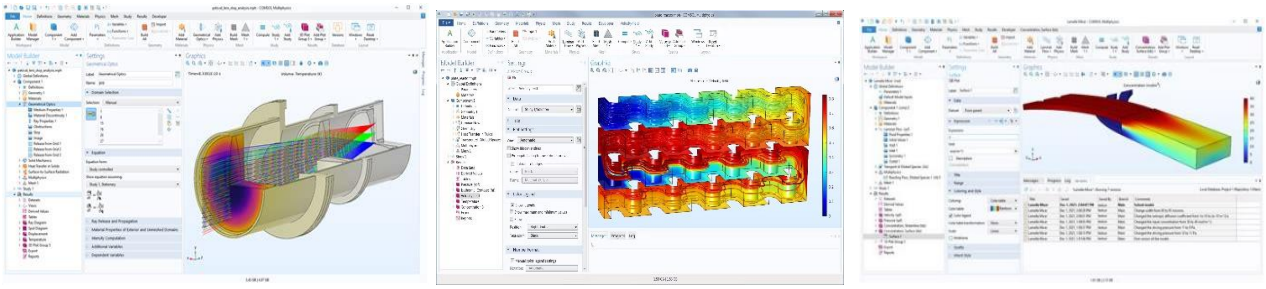
Якщо перелічити матеріали для FDM та FFF принтерів з найбільш поширеніших можна виділити: PLA (Polylactic Acid), ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene), PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol), TPU (Thermoplastic Polyurethane). За для можливості моделювання та

аналізу поведінки матеріалів у процесі екструзії необхідно насамперед порівняти їх властивості (табл. 2).

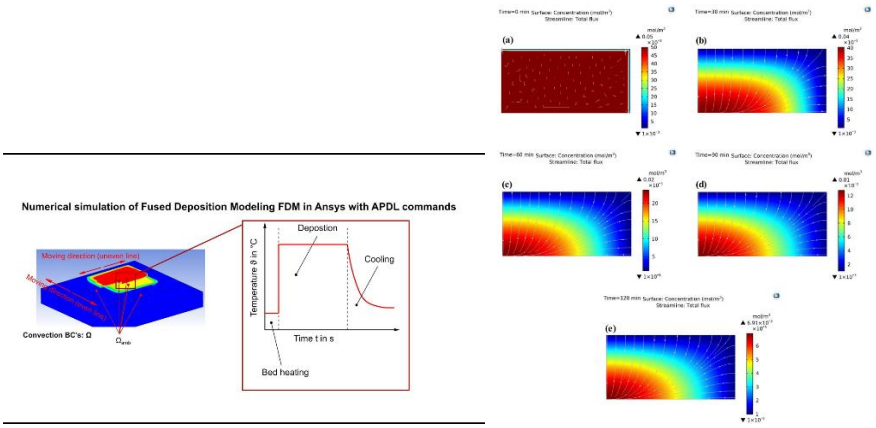
Таблиця 2 - Порівняльний аналіз властивостей основних матеріалів для 3D друку.

Характеристика	**Матеріал**			
	PLA	ABS	PETG	TPU
Температура плавлення	190–220°C	220–250°C	220–245°C	210–240°C
Стійкість до ударних навантажень	Низька	Висока	Середня	Висока
Термостійкість	Низька	Висока	Середня	Середня
Стійкість до вологи	Низька	Низька	Висока	Висока

Для аналізу властивостей матеріалів було виконано моделювання у програмному забезпеченні ANSYS та COMSOL Multiphysics. Процес аналізу поведінки матеріалів для FDM і FFF принтерів передбачає отримати детальної характеристики матеріалів, що використовуються для 3D-друку. Приклади зображень, що ілюструють процес аналізу поведінки матеріалів для FDM та FFF принтерів за допомогою програмного забезпечення ANSYS та COMSOL Multiphysics представлені на рисунку 1.



а



б

а –вікон програмного забезпечення, б – приклад побудованих діаграм процесу аналізу

Рисунок 1 – Загальний вигляд вікон програмного забезпечення та діаграм процесів поведінки матеріалів.

Моделювання FDM у ANSYS демонструє симуляцію процесу FDM у ANSYS, включаючи розподіл температури та механічні напруги під час друку. Симуляція процесів в COMSOL Multiphysics показує використання функціоналу активації матеріалу в COMSOL для симуляції процесів адитивного FDM виробництва, зокрема розподіл концентрації та теплових потоків.

Моделювання механічних напружень показало, що PLA демонструє високий рівень жорсткості, проте його пластичність є досить низькою. У свою чергу, TPU характеризується високою пластичністю, що робить цей матеріал ідеальним для виготовлення гнучких деталей, таких як прокладки чи захисні оболонки.

Розподіл температури в матеріалах показав, перевагу PETG пластику, що має стабільну температуру під час екструзії. Це зменшує ризик деформації готових виробів. ABS, навпаки потребує рівномірного нагрівання у процесі друку, щоб уникнути утворення тріщин чи інших дефектів.

Дослідження адгезії шарів виявило, що PLA забезпечує найкраще зчеплення між шарами, що підвищує міцність готових виробів. Для досягнення подібних характеристик з ABS чи PETG необхідно забезпечити підвищений температурний режим під час друку.

Основними завданнями проєкту є:

1. Аналіз існуючих методів протягування та поведінки матеріалів у FDM та FFF принтерах.
2. Порівняння властивостей матеріалів, що використовуються в FDM та FFF технологіях.
3. Моделювання поведінки матеріалів під час друку.
4. Оцінка ефективності роботи систем протягування філаменту.
5. Розробка рекомендацій для оптимізації процесу друку.

З розвитком технологій 3D-друку активно досліджуються нові полімери. Особливу увагу привертають біорозкладні матеріали з покращеними механічними властивостями, які зможуть конкурувати з традиційними пластиками. Також значний потенціал мають композитні філаменти, що містять вуглецеві волокна або інші домішки, які забезпечують підвищену міцність виробів.

Моделювання показало, що правильний вибір матеріалу, контроль температурного режиму та зниження впливу зовнішніх факторів дозволяють досягти високої якості друку, що є ключовим для розвитку індустрії адитивного виробництва.

Список використаних джерел

1. Бондаренко В. І., Кравченко О.С., 2020, Матеріали для 3D-друку: властивості та перспективи. Науково-технічний журнал.
2. Gibson I., Rosen D.W., Stucker B., 2021, Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. Springer.
3. Luntz E., Perry R., 2022, Bowden vs Direct Drive Extruders: Which is Better? 3D Printing Insights.
4. ANSYS Polyflow Documentation, ANSYS Polyflow User's Guide: веб-сайт. URL: https://ansyshelp.ansys.com/public/Views/Secured/corp/v242/en/poly_pf/poly_pf.html (дата звернення 12.04.2025)
5. COMSOL Multiphysics User Guide, COMSOL : веб-сайт. URL: https://doc.comsol.com/5.5/doc/com.comsol.help.comsol/COMSOL_ReferenceManual.pdf (дата звернення 12.04.2025)

УДК 629

ГАЛЬМІВНІ СИСТЕМИ АВТОМОБІЛІВ: ХАРАКТЕРНІ ВІДМОВИ, ДІАГНОСТУВАННЯ, ОБСЛУГОВУВАННЯ, РЕМОНТУВАННЯ

А. В. Новицький, *доц., канд. техн. наук*,
С. В. Стецюк, асист.,
В. М. Сьомако студент магістратури
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна

Гальмівна система автомобіля є однією з ключових систем безпеки, впливає на показники надійності, а її відмови можуть мати критичні наслідки [1, 2]. Елементи гальмівних систем мають свій ресурс виробивши який підлягають відновленню або ж заміні [2, 3]. Характерні відмови гальмівних систем розподіляються за причинами виникнення в залежності від їх типу (механічні, гідравлічні, пневматичні, електронні) та за елементами підсистем [4, 5]. Розглянемо основні відмови пневматичних, електронних та електромеханічних складових системах гальмування, рекомендації щодо обслуговування та ремонтування.

Значну частку відмов вантажних автомобілів та автобусів становлять порушення працездатності пневматичних систем. Вони включають: втрату тиску у пневматичних лініях; заклинювання пневматичної камери або золотника; несправності компресора або осушувача повітря. Втрати тиску у пневматичних лініях проходять через витікання, розгерметизацію, замерзання вологи в системі. До характерних відмов пневматичних гальмівних систем слід віднести зношування манжет та мембран пневматичних камер. Заклинювання пневматичної камери або золотника викликає затримку або втрату можливості гальмування на відповідній осі транспортного засобу. Несправність компресора або осушувача повітря призводить до нестабільної роботи всієї гальмівної системи.

Діагностичні роботи пневматичних гальмівних систем включають: перевірку герметичності пневмосистеми під тиском; діагностику (витоки повітря чутно на слух); огляд осушувача та дренажних клапанів; контроль роботи компресора (тиск, час наповнення). Профілактичне обслуговування цих гальмівних систем автомобілів включає: щоденне зливання конденсату з ресиверів; перевірку осушувача повітря та його регламентна заміна згідно рекомендацій заводу виробника; контроль тиску в системі перед виїздом.

До основних причин відмов електронних та електромеханічних складових сучасних системах гальмування відносяться наступні: відмови ABS; відмови ESP/ESC; несправності електропаркінгового гальма (EPB). Відмови ABS (антиблокувальної системи) пов’язані з порушенням роботи або повною відмовою датчиків швидкості, ЕБУ, соленоїдів. Вони можуть призводити до блокування коліс під час екстреного гальмування. Відмови ESP/ESC (системи стабілізації) призводять до некоректного регулювання гальмівного зусилля на окремих колесах. Несправності електропаркінгового гальма (EPB) є причиною втрати можливості увімкнення/вимкнення стоянкового гальма.

Діагностичні роботи цього типу гальм включають: комп’ютерну діагностику за допомогою OBD-II сканера; перевірку сигналів з датчиків швидкості коліс; аналіз кодів помилок ABS/ESP; вимірювання опору датчиків та живлення. Профілактичні роботи електронних та електромеханічних складових системах гальмування включають: захист електрокабелів від механічних пошкоджень; очищення та перевірка стану сенсорів при ТО; вчасну заміну акумуляторної батареї та запобіжників.

Типовими ознаками відмов гальмівних систем автомобілів є: збільшення гальмівного шляху; скрипіння, вібрації або деренчання при гальмуванні; упадання педалі гальма або її

«холостий» хід; перекіс гальмування (автомобіль тягне вбік); попереджувальні індикатори на панелі приладів (ABS, ESP, гальмівна рідина тощо).

Узагальнюючи представлені матеріали, можна виділити загальні рекомендації для всіх типів гальмівних систем автомобілів. Вони передбачають періодичне виконання наступних робіт: проведення регулярного технічного огляду згідно з інструкціями заводів виробників; впровадження системи предиктивного діагностування для автопарків з використанням IoT та телеметрії; використання оригінальних або сертифікованих запасних частин; навчання персоналу, відповідального за використання транспортних засобів, їх технічне обслуговування та ремонтування.

Науковий і практичний інтерес представляють наукові роботи, в яких представлено використання системного аналізу та аналітичних методів досліджень для забезпечення надійності мобільних енергетичних засобів як складних технічних систем із врахуванням оцінки технічного стану автомобілів [2, 6], дослідження витрат на проведення технічного обслуговування та ремонтування [7].

Список літературних джерел

1. Ружило З. В., Новицький А. В. (2016). Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування систем «ЛМС» під впливом технічного обслуговування і ремонту. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Харків. 2016, Вип. 2. С. 223–231.
2. Aulin, V., Rogovskii, I., Lyashuk, O., Titova, L., Hrynkiv, A., Mironov, D., ... & Lysenko, S. (2024). Comprehensive assessment of technical condition of vehicles during operation based on harrington's desirability function. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 1 (3 (127). - P. 37–46. https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/13874
3. Загурський А. О. Основні дефекти гальмівних дисків (2024). Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт та інфраструктура» (18–20 квітня 2024 року). НУБіП України. Київ. С. 165–167.
4. García-León R.A., Afanador-García N., Gómez-Camperos J.A. (2021). Numerical Study of Heat Transfer and Speed Air Flow on Performance of an AutoVentilated Disc Brake. Fluids 2021, 6, 160. https://doi.org/10.3390/fluids6040160
5. Nagwa Elzayady, Ramadan Elsoeudy (2021). Microstructure and wear mechanisms investigation on the brake pad, Journal of Materials Research and Technology, Volume 11, 2021, pp. 2314–2335.
6. Novitskiy, A., Banniy, O., & Novitskyi, Yu. (2023). Logical-probabilistic model of the reliability of means for preparing and distributing fodder. Machinery & Energetics, 14(1). pp. 57–67. https://doi.org/10.31548/machinery/1.2023.57.
7. Novytskyi A. V., Bannyi O. O. Statistical analysis of functioning of repair service of Ukraine. (2021). *Machinery and Energetics*, 12 (2), pp. 39–47. https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85179946633&origin=resultslist.

УДК 629.331:629.017

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТА ПЕРІОДИЧНІСТЬ ЗАМІНИ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ КАБІН КОРМОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

З. В. Ружило, *доц., канд. техн. наук.,*
Ю. А. Новицький, *асп.*
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

Фільтри для очищення повітря в кабінах сучасних кормозбиральних комбайнів відіграють особливе значення у забезпеченні функціонування транспортно-технологічних машин та комфорту оператора [1, 2].

Періодичність заміни фільтрів очищення повітря кабін кормозбиральних комбайнів залежить від кількох чинників, зокрема умов експлуатації, типу фільтра, марки техніки та рекомендацій виробника [3, 4]. Водночас можна сформулювати загальні рекомендації до обслуговування та періодичності заміни фільтрів очищення кабіни на основі практики технічного обслуговування. Перш за все розглянемо типи фільтрів для очищення повітря. До основних типів фільтрів очищення повітря в кабінах комбайнів відносяться**:** грубої очистки (попередній фільтр); тонкої очистки (основний фільтр); з активованим вугіллям. Фільтр грубої очистки затримує пил, рослинні рештки, пух. Фільтр тонкої очистки використовується для очищення повітря від дрібнодисперсного пилу. Фільтр з активованим вугіллям нейтралізує запахи та хімічні речовини, застосовується при експлуатації комбайна в умовах використання добрив чи засобів захисту рослин.

Рекомендована періодичність перевірки та заміни фільтрів для очищення повітря кабіни кормозбирального комбайна представлено в таблиці.

Таблиця - Рекомендована періодичність обслуговування та заміни фільтрів для очищення повітря кабіни кормозбирального комбайна.

Тип фільтра	Періодичність перевірки	Періодичність заміни
Попередній фільтр	При щоденному технічному обслуговуванні / після кожної зміни	Кожні 250 мото-год. або за потребою
Основний фільтр повітря	Кожні 50 мото-год.	Кожні 250-400 мото-год. або частіше у запиленому середовищі
Вугільний фільтр	Кожні 100 мото-год.	Кожні 200-300 мото-год. або 1 раз на сезон

Слід звернути увагу на фактичні інтервали обслуговування та періодичності заміни фільтрів, які можуть змінюватися залежно від моделі комбайна та умов експлуатації. Заводи виробники кормозбиральних комбайнів CLAAS JAGUAR, John Deere 8000 Series, Fendt Katana рекомендують дотримуватись періодичності заміни повітряних фільтрів кабіни , яка зазначена в інструкції з експлуатації. Основними ознаками необхідності дострокової заміни фільтрів є: зниження ефективності системи кондиціонування або ж вентиляції; запотівання скла кабіни з внутрішнього боку; відчутний запах пилу, цвілі або сторонніх речовин у повітрі кабіни; візуальне забруднення фільтра або зношування датчика перепаду тиску (для тих систем кондиціонування, де це передбачено).

Сервісні служби аграрних підприємств рекомендують у період інтенсивного збирання кормових культур мати комплект запасних повітряних фільтрів. Необхідно пам’ятати, що заводи-виробники кормозбиральних комбайнів забороняють продувати фільтри стисненим

повітрям, оскільки це може пошкодити волокна, зменшити ефективність очищення та видалення забруднень. Заводи-виробники фільтрів рекомендують зберігати запасні фільтри в сухому, чистому місці у заводській упаковці.

Перспективним напрямом досліджень є аналіз та синтез інноваційних реалізацій в напрямку обгрунтування стратегій резервування для забезпечення надійності систем фільтрації кормозбиральних комбайнів [5].

Список використаних джерел

1. Novytskyi A., Karabyniņš S., Ruzhylo Z., Novytskyi Y. (2018). Air filters for vehicle interiors. Agroexpert. №2. Agrar Media Ukraine LLC. pp. 82–84. https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u132/agroexpert_2018_no2_115_povitryani_filtri_saloniv_transportnih_zasobiv.pdf.
2. Продеус О. В., Новицький А. В., Ружило З. В. «Лідерство в сфері фільтрації» – ефективний напрям забезпечення надійності техніки. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 255–256.
3. Kerner, M.; Schmidt, K.; Schumacher, S.; Asbach, C.; Antonyuk, S. (2021). Electret Filters – From the Influence of Discharging Methods to Optimization Potential. Atmosphere, 2021, 12, 65. https://doi.org/10.3390/atmos12010065.
4. Molnar, G., Ahrens, K., Wegener, Jens K., Dittmar, S., Peter, E., Martin, S., Schäckermann, J., Röver, M. (2025). Operator exposure and cabin protection in plant protection product application. Journal fur Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. Том 20, Выпуск 1, pp. 63–79. DOI 10.1007/s00003-024-01531-7.
5. Novitskyi, Yu. (2024). Ensuring the reliability of filtration systems for transport and processing machines by redundancy. Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 20(4),85-95. https://doi.org/10.31548/dopovidi/3.2024.85.

УДК 631.363-049.32

СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ТА РОЗДАВАННЯ КОРМІВ

А. В. Новицький, *доц., канд. техн. наук*
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна

В останні десятиліття ЗПРК являють собою багатоопераційні машини та відносяться до складної сільськогосподарської техніки. Незважаючи на те, що в тваринництві України застосовуються різні технології приготування, транспортування, дозування та роздавання кормів, а відповідно різні ЗПРК для їх реалізації, великі аграрні холдинги та компанії віддають перевагу багатоопераційним засобам іноземного виробництва [1, 2]. Важливе місце серед машин та обладнання для тваринництва займають засоби для приготування і роздавання кормів (ЗПРК) відомих машинобудівних підприємств Європи та США: KUHN (Франція); Siloking та Strautmann (Німеччина); Roto-mix (США); Delaval (Швеція); Seko (Італія); Trioliet (Нідерланди) та багато інших [2, 3].

В Україні значну частину ринку ЗПРК займають змішувачі-кормороздавачі французької компанії KUHN, включаючи причіпні PROFILE 12.2 DS, PROFILE 14.2 DS [2] та самохідні PROFILE SPW INTENSE 2 CS [4]. Моделі PROFILE 12.2 DS та PROFILE 14.2 DS є причіпними, агрегатуються з тракторами та використовуються для годівлі рогатої худоби на промислових і малих тваринницьких фермах. Змішувачі PROFILE SPW INTENSE 2 CS є самохідними ЗПРК фірми KUHN [4]. За результатами проведених попередніх досліджень експлуатаційної надійності змішувачів-кормороздавачів було отримано інформацію про показники безвідмовності та ремонтопридатність PROFILE 12.2 DS та PROFILE 14.2 DS [2].

Як показує аналіз досліджень стану матеріально-технічного забезпечення тваринницьких підприємств, недостатньо уваги приділено системі технічного обслуговування ЗПРК: причіпних PROFILE 12.2 DS, PROFILE 14.2 DS; самохідних PROFILE SPW INTENSE 2 CS. Поза увагою вчених залишаються дослідження стратегій забезпечення працездатності змішувачів модельного ряду PROFILE. Як показують попередні дослідження, відновлення працездатності ЗПРК може проходити за різними стратегіями СТОР: за вимогою після відмови; за регламентною періодичністю, згідно планово-попереджувальної системи ТО і ремонту; згідно з результатами діагностування. Кожна з представлених стратегій СТОР має свої переваги та недоліки, різну собівартість для її реалізації, тому потребує вивчення та досліджень.

Особливе місце в останні роки отримало предиктивне обслуговування (Predictive Maintenance, PdM). Сутність зазначеної стратегії полягає в наступному. Обслуговування здійснюється на основі поточного технічного стану вузлів: оцінки технічного стану датчиків, моніторингу вібрацій, температури, навантаження тощо). Основу PdM складають систематичний збір та аналіз даних. Основними аргументами на користь PdM для ЗПРК є нерівномірне навантаження на робочі органи. Шнеки з ножами, елементи приводів, деталі редукторів зазнають різної інтенсивності зносу в залежності від виду кормів, вологості, навантаження, умов середовища. Наявність циклічних механічних і вібраційних навантажень можуть призвести до раптової відмови деталей редукторів, підшипників, гідроприводів. Перспективним є впровадження системи моніторингу вібрації, температури, навантаження, які дозволяє контролювати стан у реальному часі.

Предиктивне технічне обслуговування має значні переваги над іншими стратегіями, оскільки відмічається висока вартість простою змішувача-кормороздавача, яка призводить

до порушення раціону, затримка в технологічному процесі, непередбачуваних витрат приросту ваги та надоїв молока.

Науковий і практичний інтерес представляють роботи, в яких представлено використання системного аналізу та аналітичних методів досліджень для забезпечення надійності ЗПРК як складних технічних систем із врахуванням впливу ремонтно-обслуговуючих дій [6, 7].

Список літературних джерел

1. Norton, T., Chen, C., Larsen, M.L.V., & Berckmans, D. (2019). Review: Precision livestock farming: building "digital representations" to bring the animals closer to the farmer. Animal, 13(12), (pp. 3009–3017). doi: 10.1017/S175173111900199X
2. Novitskiy, A., Banniy, O., Novitskyi, Yu., & Antal, M. (2023). A study of mixer-feeder equipment operational reliability. Machinery & Energetics, 14(4), pp. 101–110. https://doi.org/10.31548/machinery/4.2023.101
3. Revenko Ivan, Khmelovskyi Vasyl, Revenko Yulii, Rebenko Victor, Potapova Svitlana (2023). Justification of parameters affecting increase of hammer crusher productivity. Engineering for rural development. 24-26.05.2023 Jelgava. pp. 714–720.
4. Operator's manual. Mixer feeder wagon. SPW INTENSE 2 CS. (2020). 252 p.
5. Новицький А. В. (2019). Моніторинг матеріально-технічного забезпечення та надійності техніки АПК в системі розвитку інноваційних процесів. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019. Vol. 10. No 3. pp. 87–94. https://technicalscience.com.ua/uk/journals/t-10-3-2019/monitoring-matyerialno-tyekhnichnogo-zabyezpyechyennya-ta-nadiynosti-tyekhniki-apk-v-sistyemi-rozvitku-innovatsiynikh-protsyesiv
6. Novitskiy, A., Banniy, O., & Novitskyi, Yu. (2023). Logical-probabilistic model of the reliability of means for preparing and distributing fodder. Machinery & Energetics, 14(1). pp. 57-67. https://doi.org/10.31548/machinery/1.2023.57
7. Aulin, V., Rogovskii, I., Lyashuk, O., Titova, L., Hrynkiv, A., Mironov, D., ... & Lysenko, S. (2024). Comprehensive assessment of technical condition of vehicles during operation based on harrington's desirability function. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 1 (3 (127). - P. 37–46. https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/13874.

УДК: 656.1

ОРГАНІЗАЦІЯ ВАНТАЖОПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ ТА НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

В.О. Дорощук, *ст. викладач,*
В.С. Сорока, *доцент,*
Є.Б. Сліпенький, *ст. викладач,*
І.А. Бережняк, *ст. гр. ТТ-41*
Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

В умовах військового стану та надзвичайних ситуацій організація вантажоперевезень набуває особливо важливого значення і відіграє ключову роль у забезпеченні життєдіяльності держави. Це не лише логістика – це частина національної безпеки. Вона є критичним елементом забезпечення обороноздатності держави, стабільного функціонування економіки та підтримки гуманітарної інфраструктури. Зміна логістичних умов, загроза інфраструктурним об'єктам та обмеження у пересуванні вимагають нових підходів до планування та управління транспортними потоками.

Економічна ситуація в Україні, що характеризується значним скороченням обсягів виробництва (до 60%), безпосередньо впливає на стан логістичного сектору, оскільки попит на транспортні та складські послуги прямо залежить від рівня виробничої активності. Найбільший спад виробництва спостерігається у ключових галузях, таких як нафтопереробна, металургійна, машинобудівна, а також у деревообробній, фармацевтичній, легкій, добувній та харчовій промисловості, що негативно позначається на обсягах логістичних операцій.

Початок війни в Україні завдав серйозного удару по транспортній логістиці, призвівши до втрати маршрутів, зупинки авіації, масштабних руйнувань доріг та залізниці, ускладнення вантажообігу через окупацію та бойові дії, а також значних збитків транспортних засобів.

Організація вантажоперевезень у кризових умовах стикається з такими основними проблемами:

- руйнування або блокування транспортної інфраструктури (мости, автомагістралі, логістичні вузли);
- часткова або повна недоступність певних територій через бойові дії чи обмеження безпеки;
- зниження рівня забезпеченості паливом, запасними частинами та технічним обслуговуванням;
- підвищений ризик для водіїв і вантажу через обстріли або мінування;
- зміна пріоритетів перевезень: зростання потреби у доставці медикаментів, гуманітарної допомоги, засобів захисту.

Це призвело до різкого скорочення вантажопотоків, особливо залізничних і морських. Обсяг вантажних перевезень у 2022 році зменшився майже на 40% порівняно з довоєнним періодом (рис.1). Порти Чорного моря були заблоковані, експорт зерна, металургії, хімії та інших вантажів був зупинений або перенаправлений на альтернативні маршрути. Залізничний транспорт працював у кризовому режимі, фокусувався на евакуації, постачанні гуманітарної допомоги й переорієнтації експорту до західного кордону. Автомобільні перевезення частково компенсували обсяги, зросла роль малого приватного бізнесу та волонтерської логістики.

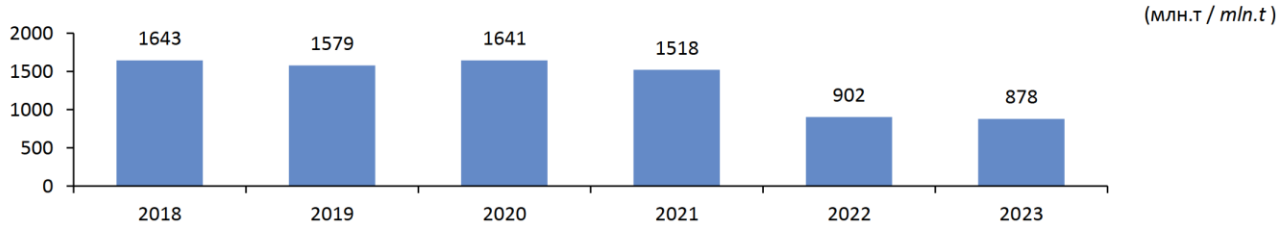


Рисунок 1 – Динаміка перевезень вантажів усіма видами транспорту [2]

У 2022–2023 роках, під час повномасштабного вторгнення в Україну, було розгорнуто мережу гуманітарних коридорів для доставки продуктів харчування, медикаментів та інших критичних ресурсів. Значну роль у цій системі відіграли волонтерські ініціативи, приватні перевізники та мобільні логістичні центри. Особливо ефективною виявилася інтеграція IT-рішень для координації перевезень і моніторингу безпечних маршрутів.

Для гарантування безперебійного транспортування вантажів у воєнний або кризовий час застосовується стратегія розробки та використання альтернативних шляхів, зокрема тимчасових об'їзних шляхів та мережі сільських доріг.

Актуальним є посилення координаційних механізмів між державними органами влади, військовими підрозділами, Державною службою України з надзвичайних ситуацій, волонтерським рухом та суб'єктами приватного підприємництва.

Необхідним є забезпечення застосування супутникових навігаційних систем, систем оперативного онлайн-моніторингу руху транспортних засобів та інструментів адаптивного маршрутного планування.

З метою забезпечення сталості транспортного сполучення в умовах надзвичайного стану застосовується централізована система управління логістикою, що дозволяє оптимально розподіляти наявні ресурси та оперативно реагувати на будь-які зміни ситуації.

Для забезпечення безперебійного постачання у військовий час застосовується практика переорієнтації цивільного транспорту для його залучення до виконання термінових логістичних завдань.

В умовах воєнного стану або надзвичайних ситуацій, для забезпечення безперервності логістичних процесів, впроваджується практика формування стратегічних запасів вантажів у безпосередній близькості до потенційних зон ризику з метою забезпечення оперативного реагування на виникаючі потреби.

Вантажоперевезення в умовах надзвичайних ситуацій виходять за межі звичних логістичних схем і вимагають стратегічного підходу. Необхідною є розробка національної системи кризової логістики, підготовка резервного транспорту, створення автоматизованих платформ управління перевезеннями. Успішна організація таких перевезень значною мірою визначає здатність держави протистояти загрозам і захищати населення в умовах надзвичайного або воєнного стану.

Список використаних джерел

1. Логістична галузь в Україні. Перспективи розвитку. URL: https://gol.ua/en/industry- trends-the-state-of-logistics-in-ukraine-trends-and-features/.
2. State Statistics Service of Ukraine. External Trade Data [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https:// https://ukrstat.gov.ua/index.html.
3. Ministry for Communities, Territories and Infrastructure Development of Ukraine. Logistics and Transport Updates 2024.
4. Логістика в умовах війни (Crowe Mikhailenko) URL: https://www.mikhailenko.com.ua/24-05-2023/logistyka-v-umovah-vijny-yak-zberegty-ta-pitrymuvaty-eksportni-postavky/.

УДК: 658.6

ЛОГІСТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПОРТНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

І.А. Бережняк, *ст. гр.. ТТ-41,*
В.О. Дорощук, *ст. викладач*
Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

У сучасних умовах глобалізації та активного розвитку зовнішньоекономічної діяльності, ефективне логістичне забезпечення експортних вантажних перевезень є однією з ключових передумов успішного функціонування транспортних підприємств. Якість логістичних послуг напряму впливає на швидкість, вартість та надійність доставки продукції до іноземних партнерів. Особливої актуальності ця тема набуває для України, яка прагне зміцнити свої позиції на міжнародному ринку, водночас стикаючись із рядом внутрішніх та зовнішніх викликів.

Сутність логістичного забезпечення експорту полягає в організації, координації та оптимізації процесів, пов’язаних із переміщенням товарів за межі країни. До таких процесів належать транспортування, складування, митне оформлення, інформаційна підтримка, а також взаємодія з логістичними операторами та контролюючими органами. Вантажні перевезення в рамках експортної діяльності здійснюються автомобільним, залізничним, морським, авіаційним або мультимодальним транспортом, в залежності від специфіки вантажу, відстані та регіону поставки.

Основними проблемами логістичного забезпечення експортних вантажоперевезень в Україні є: нестабільна політична ситуація, військові дії, часткова недоступність окремих логістичних маршрутів, зношена транспортна інфраструктура, недостатній розвиток логістичних хабів, а також складні процедури митного оформлення. Значна частина підприємств стикається з труднощами у плануванні експортних поставок через дефіцит сучасного транспорту, низьку пропускну здатність пунктів перетину кордону та недостатній рівень цифровізації логістичних процесів.

Ще одним важливим викликом є зростання витрат на логістику, викликане як підвищенням вартості пального та обслуговування, так і зниженням рентабельності перевезень на фоні нестабільного попиту. Водночас, з огляду на підвищення вимог з боку іноземних партнерів до якості та прозорості логістичних послуг, підприємства змушені інвестувати у модернізацію процесів, впровадження IT-систем управління логістикою та інтеграцію з міжнародними логістичними платформами.

Перспективи покращення логістичного забезпечення експорту пов’язані з адаптацією національної логістичної інфраструктури до європейських стандартів, розширенням співпраці з логістичними операторами ЄС, а також впровадженням цифрових інструментів, таких як електронні документи, системи відстеження вантажів та платформи взаємодії з митницею. Зокрема, перспективним напрямом є розвиток інтермодальних перевезень, які дозволяють знизити логістичні витрати і підвищити ефективність транспортування на великі відстані.

У сучасних умовах особливу увагу слід приділяти логістичній стійкості підприємств – здатності адаптувати логістичні процеси до змін зовнішнього середовища. Це передбачає розробку альтернативних маршрутів, укладання довгострокових контрактів з логістичними партнерами, створення буферних складів та використання аналітичних інструментів для прогнозування ризиків.

У контексті управління складськими запасами технології віртуальної (VR) та доповненої (AR) реальностей представляють собою ефективні інструменти для вирішення

відповідних бізнес-завдань. Зазначені технології, що знайшли широке застосування у сфері дистанційних технологічних операцій, забезпечують всебічну візуалізацію рівня запасів у режимі реального часу.

Застосування технологій Big Data у сфері міжнародних вантажних перевезень призводить до значного зростання операційної ефективності, мінімізації фінансових витрат та підвищення рівня клієнтського сервісу. Big Data є потужним засобом для прогнозування попиту на перевезення, оптимальної побудови логістичних маршрутів, здійснення комплексного контролю та підвищення безпеки вантажоперевезень. В результаті, впровадження Big Data трансформує парадигму транспортної логістики, сприяючи підвищенню конкурентоздатності, оперативності та ефективності компаній в умовах сучасної глобальної економіки.

Також важливо розвивати кадровий потенціал логістичних служб і забезпечувати їхній постійний професійний розвиток відповідно до вимог міжнародного ринку. Крім того, необхідно впроваджувати механізми державної підтримки експортерів у сфері логістики, зокрема через пільгові кредити на модернізацію транспортних засобів, спрощення митних процедур та підтримку будівництва сучасних логістичних центрів. Залучення іноземних інвестицій у розвиток логістичної інфраструктури може стати важливим поштовхом до покращення умов для українських експортерів.

Технологія блокчейн, що швидко набуває поширення, надає постачальникам і клієнтам можливість прозоро відстежувати транзакції та контролювати всю необхідну документацію. Цей підхід гарантує високий рівень безпеки та унеможливлює шахрайські дії всередині логістичної компанії. Крім того, відмова від фізичних носіїв інформації значно знижує ризик виникнення людських помилок.

Перспективним є розвиток державного та приватного партнерства у сфері транспорту та логістики. В умовах інтеграції України до європейського ринку та поступового переходу до сталих логістичних рішень актуальним є розвиток екологічних підходів до вантажних перевезень. Використання електричного транспорту, оптимізація логістичних маршрутів з урахуванням екологічних критеріїв та впровадження принципів зеленої логістики можуть не лише покращити експортні можливості, а й зменшити негативний вплив на довкілля.

Отже, незважаючи на наявні труднощі, логістика експортних вантажних перевезень в Україні має значний потенціал для розвитку. За умови державної підтримки, модернізації інфраструктури та цифрової трансформації галузі, українські підприємства зможуть успішно конкурувати на міжнародному рівні, забезпечуючи ефективне транспортування своєї продукції на зовнішні ринки.

Список використаних джерел

1. Дьяконова І.І., Логістика: теорія та практика: навч. посіб. – К.: Центр учбової літератури, 2020.
2. Мельник О.Г., Управління логістичною діяльністю підприємств. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021.
3. State Statistics Service of Ukraine. External Trade Data [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://ukrstat.gov.ua.
4. Ministry for Communities, Territories and Infrastructure Development of Ukraine. Logistics and Transport Updates 2024.
5. Попович Д.І., Сучасні виклики логістики експортних перевезень в Україні // Вісник Транспортної Академії України, 2023.

УДК 338.45:502.131.1

ІННОВАЦІЙНІ СТРУКТУРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ ЯК ДРАЙВЕР СТАЛОГО РОЗВИТКУ

В.І. Мельник, *доц., канд. екон. наук,*
О.М. Гайдай, *студент*
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

Структурні перетворення в промисловості є ключовим механізмом для досягнення сталого розвитку, оскільки вони сприяють підвищенню ефективності виробництва, зменшенню екологічного впливу та інтеграції інноваційних технологій. Ці зміни передбачають перехід від традиційних моделей ведення бізнесу до більш сучасних і відповідальних підходів, які враховують економічні, соціальні та екологічні аспекти. Згідно з дослідженнями ООН з промислового розвитку (UNIDO), структурна трансформація промисловості є основним чинником інклюзивного та стійкого економічного зростання, особливо в країнах, що розвиваються.

Структурні перетворення промислових підприємств передбачають переорієнтацію на використання екологічно чистих технологій, оптимізацію виробничих процесів та інтеграцію цифрових рішень. Наприклад, програма "Більш чистого виробництва" (Cleaner Production), запроваджена Програмою ООН з навколишнього середовища (UNEP), спрямована на запобігання утворенню шкідливих викидів шляхом оптимізації технологічних процесів та впровадження енергозберігаючих технологій. За даними цього проєкту, понад 75% інвестицій у галузі промисловості припадає на технології "більш чистого виробництва" (UNIDO, 2017).

Важливим аспектом є також цифрова трансформація. Згідно з дослідженням Ghobakhloo et al., перехід до індустрії 5.0, яка поєднує автоматизацію, штучний інтелект та людський капітал, дозволяє промисловим підприємствам знизити енерговитрати та підвищити продуктивність праці.

Однак процес трансформації супроводжується низкою викликів. Наприклад, дослідження (Sipilova) показує, що несвоєчасна модернізація технологій може призвести до зростання екологічного навантаження через неефективне використання ресурсів. Так, у країнах з високим рівнем промислового забруднення відсутність інвестицій у «зелені» технології призвела до збільшення викидів CO_2 . Крім того, недостатній рівень кваліфікації персоналу та опір змінам з боку менеджменту часто уповільнюють процес трансформації.

Для успішних структурних перетворень необхідний комплексний підхід на рівні державної підтримки, міжгалузевої кооперації та інвестування у людський капітал.

Прикладом на рівні державної підтримки може бути створення стимулів для впровадження екологічних технологій, наприклад, податкові пільги для підприємств, які використовують відновлювану енергію.

Міжгалузева кооперація виявляється на рівні запровадження спільних проєктів промислових підприємств і наукових установ, як у випадку німецької програми Industrie 4.0, де розробка SMART-фабрик скоротила витрати на логістику.

Важливим аспектом залишається навчання працівників роботі з новими технологіями. Наприклад, у Швеції програма "Green Skills" підвищила рівень зайнятості в «зелених» секторах на 10%.

Отже, структурні перетворення на промислових підприємствах є необхідною умовою для досягнення сталого розвитку. Вони дозволяють поєднувати економічне зростання зі

збереженням природних ресурсів та соціальною відповідальністю. Успішні кейси, такі як впровадження індустрії 5.0, доводять, що інновації та співпраця між секторами можуть забезпечити довгострокову конкурентоспроможність промисловості. Для подолання викликів необхідні системні зміни на рівні державної політики, корпоративних стратегій та громадської свідомості.

Список використаної літератури

1. Сталий розвиток в промисловості (n.d.). URL: https://nmetau.edu.ua/file/lections_staliy_rozvitok_v_promislovosti.pdf
2. Sipilova, V. (2021). Structural change for sustainable development in economy: A literature review. SHS Web of Conferences, 92, 08019. https://doi.org/10.1051/shsconf/20219208019
3. United Nations Industrial Development Organization. (2017). Structural change for inclusive and sustainable industrial development. Retrieved from https://www.unido.org/sites/default/files/files/2018-06/EBOOK_Structural_Change.pdf
4. Ghobakhloo, M., et al. (2022). Actions and approaches for enabling Industry 5.0-driven sustainable industrial transformation: A strategy roadmap. Corporate Social Responsibility and Environmental Management, 29(6), 1–15. https://doi.org/10.1002/csr.2431
5. Хахалєв Д. О. Оцінка забезпеченості сталого розвитку підприємства. *Бізнес Інформ*. 2024. №5. С. 338–344.https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-5-338-344

УДК 621.793.724

ЗАЛИШКОВІ НАПРУЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТЯХ З ПОРОШКОВИХ ДРОТІВ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ

В.М. Гвоздецький,*ст. наук. співр., канд. техн. наук,*
Фізико-механічний інститут НАН України, м. Львів, Україна,
С.І. Маркович, *доц., канд. техн. наук,*
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна,
Н. З. Мозола, *асп.,*
Х.Р.Задорожна, *н.с., канд. техн. наук,*
М.М. Студент, *пров.наук. співр., проф, док. техн. наук*
Фізико-механічний інститут НАН України, м. Львів, Україна

Серед газотермічних методів нанесення покриттів найпоширенішим є електродуговий метод напилювання. Електродугові покриття (ЕДП) із порошкових дротів (ПД) широко використовують для відновлення деталей типу «вал» автотракторної техніки, котрі експлуатуються за високих питомих навантажень в умовах тертя зі змащенням оливою [1–4].

До переваг ЕДП відносно інших газотермічних методів нанесення покриттів відносять простоту технологічного процесу, мінімальні затрати та високу продуктивність, можливість за незначного нагрівання деталей (до 150°С) напиляти на їх поверхню шар необхідної товщини (у діапазоні 0,1...10 mm) з бажаними властивостями. Отже ЕДП дають можливість відновлювати розміри зношених деталей та підвищувати їх зносостійкість [4–6]. Останнім часом для покращення гомогенності ЕДП і їх властивостей активно почали застосовувати надзвуковий метод напилювання ЕДП [7–10]. Під час напилювання ЕДП в них виникають значні залишкові напруження розтягу першого роду, які сприяють утворенню тріщин у їх структурі. Зокрема навіть на етапі механічної обробки у покриттях можуть формуватися макротріщини, які сприятимуть його руйнуванню під час експлуатації, або суттєво знижуватимуть його зносостійкість. [8, 11].

Мета дослідження. Встановити вплив компонентного складу шихти ПД на рівень залишкових напружень першого роду у напилених ними покриттях та встановити їх зв'язок із абразивною зносотривкістю.

Для напилювання ЕДП з використанням ПД в надзвуковому режимі в електродуговому розпилювачі використали сопло Лаваля з вертикальним розташуванням двох повітряних каналів [10]. Надзвуковий повітряний струмінь з числом Маха 2 отримували завдяки підвищенню тиску повітряного струменю на виході із сопла від 0,6 до 1,2 МПа. Внаслідок цього швидкість повітряного струменю зростала у 2 рази (від 300 до 600 м/с), а швидкість диспергованих повітряним струменем краплин розплаву ПД – від 60–90 до 160–220 м/с. Напилені покриття шліфували.

Для напилювання ЕДП використали ПД діаметром 1,8 мм ПД 150Cr10B5MnSi та ПД 150Ti10B5MnSi, шихту яких формували із порошків феросплавів – (FeSi, FeMn), металів – (Cr, Ti) та карбіду B_4C, а оболонку виготовляли зі стрічки шириною 10 мм із сталі 08кп товщиною 0,4 мм. Коефіцієнт заповнення ПД шихтою досягав 24%.

Покриття випробовували на абразивне зношування в умовах жорстко закріпленого абразиву. Для цього використали абразивний диск із електрокорунду середньом′якої твердості СМ-2 на керамічній зв’язці 7К15 діаметром 150 мм та шириною 8 мм. Зернистість електрокорунду становила 250...315 мкм (25А, 25Н), лінійна швидкість тертя – 100 м/хв, навантаження в зоні лінійного контакту – 15 Н. Знос оцінювали за втратою маси зразків з точністю до $2 \cdot 10^{-4}$ г.

Для визначення впливу температури відпуску на величину залишкових напружень розтягу І роду в ЕДП для напилення обрали ПД, які забезпечили б формування покриттів з різним фазовим складом. Зокрема, за використання ПД Х19Н10 у структурі напиленого покриття утворювався стабільний аустеніт, ПД 150Х10ГС – залишковий аустеніт, ПД 50Х10ГС – мартенсит, ПД 0Х10ГС – ферит (рис. 1). Для підвищення твердості ЕДП переважно збільшують вміст легувальних елементів, таких як вуглець та бор, проте це супроводжується зростанням величини залишкових напружень розтягу І роду у таких покриттях. Визначальний вплив на залишкові напруження розтягу І роду у покриттях має вміст у них вуглецю. За вмісту вуглецю в покритті менше 0,4 мас.% залишкові напруження розтягу І роду у ньому знижувались до 20 МПа, за його підвищення понад 0,4 мас.% – стрімко зростали, а при 1,4 мас.% – сягав 150…160 МПа. Це зумовлено різним фазовим складом ЕДП з різним вмістом вуглецю. За вмісту вуглецю в покритті до 0,4 мас.% у його структурі переважав мартенсит, а зі зростанням його вмісту понад 0,4 мас.% – зростала кількість залишкового аустеніту.

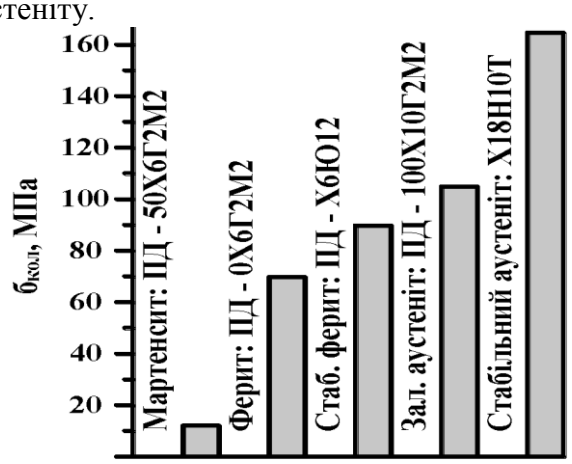


Рисунок 1– Вплив фазового складу покриттів на величину залишкових напружень розтягу І роду в них.

Після відпуску за температури до 400 °С в усіх покриттях (незалежно від їх фазового складу) спостерігали незначну тенденцію до зниження величини залишкових напружень розтягу І роду (рис. 2). Після відпуску за температури понад 400 °С вони знижувалися значно відчутніше, внаслідок того, що наявний у структурі покриттів із ПД 150Х10ГС залишковий аустеніт перетворювався в мартенсит відпуску, що супроводжувалося зростанням об'єму покриття. Як результат відповідних структурних перетворень у покритті зафіксували залишкові напруження стиску. Такі ж напруження виникали і після відпуску за температури понад 400 °С покриття з ПД 50Х10ГС, що пов'язали завершенням перетворення мартенситу, наявного у його структурі, в мартенсит відпуску. Загалом, чим вищим був вміст С у покритті, тим більше залишкового аустеніту залишалося в ньому. Відповідно, чим вищий вміст С в аустеніті, тим більший ефект зміни його об'єму внаслідок перетворення в мартенсит. У покриттях, напилених нелегованими високовуглецевими ПД перетворення залишкового аустеніту в мартенсит розпочиналося вже за температури 200…300 °С. Внаслідок легування ПД температурний інтервал початку структурних перетворень в покриттях зміщувався в напрямі підвищення температури.

Зокрема, для покриття із ПД 150Х10ГС, що містило 1,5 мас.% С та 10 мас.% Cr перетворення залишкового аустеніту в мартенсит відпуску розпочиналося за температури відпуску понад 400°С (рис. 2). Тоді як у покритті з ПД 0Х10Г2Ю6, за цих же температур відпуску виділялися інтерметаліди заліза з алюмінієм (Fe_3Al), що спричинило зменшення об'єму покриття та, відповідно, зростання величини залишкових напружень розтягу І роду у ньому.

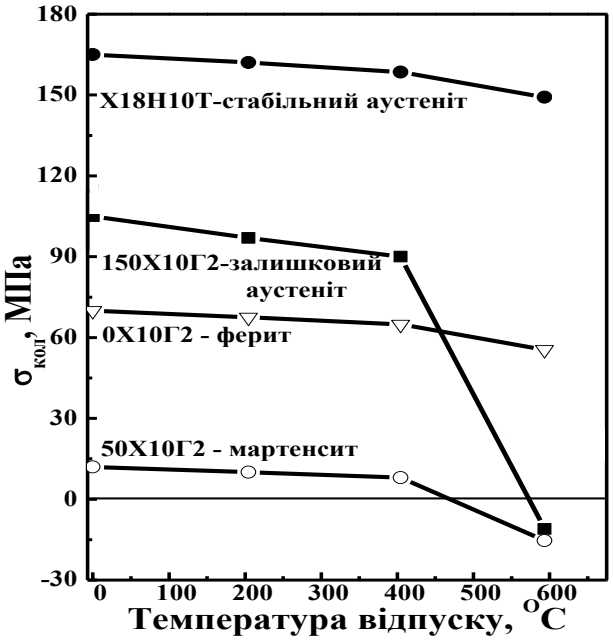


Рисунок 2 – Вплив температури відпуску $T_{відп}$ зразків з ЕДП, напиленими різними ПД, на залишкові напруження розтягу I роду ($\sigma_{кол}$) у покриттях.

На основі експериментально отриманих залежностей впливу фазового складу ЕДП та вмісту в них вуглецю на залишкові напруження розтягу I роду (σ_{res}) в покриттях запропонували емпіричну формулу для їх визначення:

$$\sigma_{res} = [0{,}25 \cdot M \cdot (0{,}45 - C) + 1{,}6 \cdot A + 0{,}7 \cdot F + 0{,}9 \cdot F_{стаб}] \text{ МПа} \quad (1)$$

де M, A, F, $F_{стаб}$ та C – вміст відповідно мартенситу, аустеніту, фериту, фериту стабілізованого алюмінієм та вуглецю в покритті, мас.%.

Емпірична формула (1) дає змогу кількісно оцінювати величину залишкових напружень розтягу I роду у покриттях за відомого співвідношення фаз у ньому. Разом з тим важливими є не сама величина залишкових напружень розтягу I роду у покритті (σ_{res}), а його співвідношення з когезивною міцністю ($\sigma_в$), як показник стійкості до тріщино утворення. За результатами дослідження покриттів, отриманих з усіх аналізованих ПД, прийшли до висновку, що поодинокі мікро тріщини починали утворюватися у покриттях за умови, коли показник $\sigma_{res}/\sigma_в > 0{,}75$. Коли ж цей показних досягав $\sigma_{res}/\sigma_в > 0{,}85$, то у структурі покриттів формувалася мережа тріщин. Звідси зрозуміло, наскільки важливо виявити закономірності впливу параметрів напилювання на цей показник.

На прикладі покриттів із ПД 90Х10Р2ГС встановили взаємозв'язок між параметрами напилювання покриттів (струм та тиск розпилювального повітря) та показником $\sigma_{res}/\sigma_в$ (рис. 2). Так зі зростанням продуктивності напилювання (з використанням більшого струму) співвідношення $\sigma_{кол}/\sigma_в$ практично не змінювалось. З підвищенням тиску струменя повітря від 0,3 до 0,65 МПа показник $\sigma_{res}/\sigma_в$ зростав від 0,5 до 0,68, наближаючись до межі, за якої у покритті починали виникати мікро тріщини. Крім того слід враховувати, що неможливо запобігти виникненню додаткового сплеску напружень розтягу в покритті після завершення процесу напилювання. Щоб уникнути цього, сталеву підкладку перед напилюванням підігрівали до 200…250°С. Завдяки цьому вдалося суттєво знизити показник $\sigma_{res}/\sigma_в$ до значення 0,2 (рис. 3). Зміна запропонованого показника $\sigma_{res}/\sigma_в$ в діапазоні 0…0,7 практично не впливала на стійкість покриттів до абразивного зношування. Після його виходу за межі цього діапазону у покриттях формувалася мережа мікротріщин, а їх зносостійкість стрімко знижувалася.

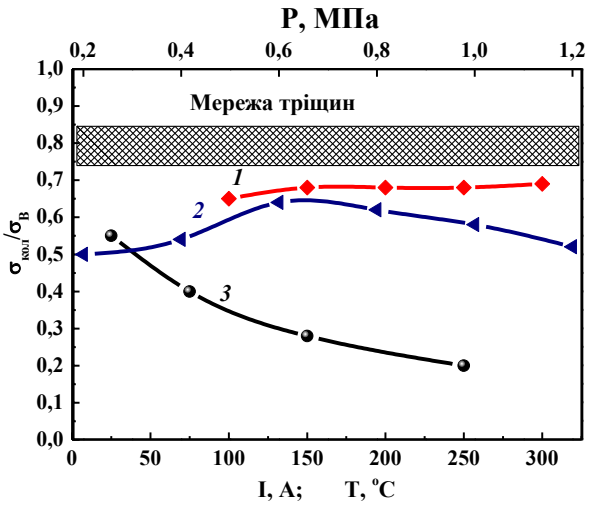


Рисунок 3 – Співвідношення $\sigma_{res}/\sigma_в$ в покритті з ПД 90Х10Р3ГС залежно від параметрів його напилювання: струм I (*1*), тиск струменю повітря P (*2*) та температури підігрівання зразків перед напилюванням $T_{підігріву}$ (*3*).

Для того, щоб уникнути небажаного розтріскування використали попереднє (перед напилюванням) підігрівання зразків, або деталей. Завдяки цьому запобігли появі властивого для ЕДП зменшення співвідношення $\sigma_{кол}/\sigma_в$ та досягли підвищення їх роботоздатності. В реальних умовах не завжди можливо реалізувати підігрів деталей перед їх напилюванням (особливо це стосується великогабаритних елементів). Досвід показав, що у цих випадках, щоб уникнути розтріскування покриттів під час їх напилювання на подібні деталі, перші їх шари слід наносити за малих струмів (100…120 А) та низького тиску струменю повітря (0,3…0,4 МПа). Тоді подальші шари можна продовжити наносити вже за високих струмів (200…250 А) та надзвукового тиску повітря (0,8…1,2 МПа). Завдяки такій комбінації режимів напилювання вдалося істотно підвищити когезивну міцність напиленого покриття, знизити залишкові напруження розтягу I роду у ньому та досягти такого значення $\sigma_{кол}/\sigma_в$, за якого тріщини у покритті взагалі не виникали.

Справедливість отриманих закономірностей щодо впливу залишкових напружень розтягу I роду на абразивну зносостійкість ЕДП перевірили на покриттях, напилених ПД 90Х10Р3ГС та ПД 90Т10Р3ГС. Встановили, що підігрівання зразків до 200°С перед напилюванням та відпуск за температури 550°С впродовж 2 год після напилювання дає можливість суттєво знизили залишкові напруження розтягу I роду у обох покриттях (табл. 1).

Таблиця 1 – Вплив термічної обробки на величину залишкових напружень розтягу I роду у покриттях

Марка ПД	Залишкові напруження розтягу I роду у ЕДП σ_{res},МПа		
	Без підігрівання сталевої підкладки перед напиленням	Попередній підігрів сталевої підкладки до 200°С перед напиленням	Відпуск сталевої підкладки з покриттям за температури 550°С впродовж 2 год
ПД 90Т10Р3ГС	160	40	-10
ПД 90Х10Р3ГС	120	50	-5

Так у покритті з ПД 90Т10Р2ГС підігрівання підкладки перед напилюванням спричинило чотириразове зниження залишкових напружень розтягу I роду, а двогодинний відпуск за температури 550°С взагалі усунув залишкові напруження розтягу I роду у ньому і навіть зафіксували залишкові напруження стиску (–10 МПа). Позитивний ефект підігрівання підкладки та відпуску виявився дещо меншим у випадку покриття з ПД 90Х10Р3ГС, проте загальна тенденція до зниження залишкових напружень розтягу I роду збереглась і у цьому випадку. Зміна залишкових напружень розтягу I роду в ЕДП після додаткового термічного

впливу перед чи після їх нанесення, позитивно вплинула на абразивну зносотривкість таких покриттів, яка підвищилася в рази (табл. 2).

Таблиця 2 – Вплив термічної обробки на абразивну зносостійкість покриттів

Марка ПД	Зміна абразивної зносотривкості напилених покриттів відносно еталону для порівняння (сталь У12 з твердістю 640 $HV_{0,3}$)		
	Без підігрівання сталевої підкладки перед напиленням ЕДП	Попередній підігрів сталевої підкладки до 200 °С перед напиленням ЕДП	Відпуск сталевої підкладки з покриттям за температури 550 °С впродовж 2 год
ПД 90Т10Р3ГС	0,7	2,0	5
ПД 90Х10Р3ГС	1,3	2,3	2.2

Зокрема, абразивна зносостійкість покриття із ПД 150Т10Р5ГС, напиленого без попереднього підігрівання підкладки перед напилюванням, виявилась на 30% гіршою, ніж властива еталону (сталь У12 з твердістю 640 $HV_{0,3}$). Тоді як попереднє підігрівання підкладки до 200 °С перед нанесенням покриття дало змогу підвищити його абразивну зносотривкість вдвічі (відносно еталону), а після відпуску абразивна зносостійкість в умовах закріпленого абразиву такого покриття зросла, аж у 5 разів. Позитивний вплив обох варіантів термічного впливу на абразивну зносостійкість покриття з ПД 90Х10Р3ГС виявився значно меншим, проте більш, ніж двократне підвищення показників, порівняно із еталоном, також дуже хороший результат. Вважали, що значний ефект відпуску напиленого покриття зумовлений виділенням із часточок аморфного бору дрібнодисперсних боридів заліза легованих титаном, які сприяли дисперсійному зміцненню покриття та підвищенню його абразивної зносостійкості.

Таким чином, отримані результати доводять правомірність використання відпуску до ЕДП, напилених запропонованими ПД, для відчутного зменшення залишкових напружень розтягу I роду в них, сприяння виділенню дисперсних карбідів та боридів у їх структурі і, як наслідок, суттєвого підвищення їх абразивної зносостійкості в умовах закріпленого абразиву.

Таким чином, запропоновано емпіричну формулу для визначення залишкових напружень σ_{res} у покриттях з ПД, яка враховує експериментально отримані залежності щодо впливу фазового складу та вмісту вуглецю в ЕПД на σ_{res}.

Співвідношення залишкових напружень у покриттях σ_{res} до їх козевної міцності σ_B запропоновано використовувати як показник стійкості покриття до розтріскування. На основі аналізу отриманих покриттів показано, що тріщини починають утворюватися у покриттях, для яких показник $\sigma_{res} / \sigma_B > 0{,}75$, тоді як за $\sigma_{res} / \sigma_B > 0{,}85$ у покриттях виникає мережа тріщин.

Встановлено, що підігрівання зразків перед напилюванням покриттів із ПД, а також їх відпуск зменшує залишкові напруження розтягу, сприяє виділенню дисперсних карбідів та боридів у їх структурі і як наслідок, суттєво підвищує їх абразивну зносотривкість.

Попереднє підігрівання підкладки до 200 °С перед нанесенням покриття дало змогу підвищити його абразивну зносотривкість вдвічі (відносно еталону), а після відпуску абразивна зносостійкість в умовах закріпленого абразиву такого покриття зросла у 5 разів.

Список використаних джерел

1. Ndumia, J. N.; Kang, M.; Gbenontin, B. V.; Lin, J.; Nyambura, S. M. A review on the wear, corrosion and high-temperature resistant properties of wire arc-sprayed Fe-based coatings Nanomaterials 2021, 11, 2527. https://doi.org/10.3390/nano111025272.
2. Student, M. M.; Pokhmurs'ka, H. V.; Zadorozhna, K. R. Structure and wear resistance of VC–FeCr and VC–FeCrCo coatings obtained by supersonic flame spraying *Materials Science*, 2018, 54(1), 22–29. DOI:10.1007/s11003-018-0152-9

3. Student, M. M.; Pokhmurs'ka, H. V.; Zadorozhna, K. R.; Veselivs'ka, H. H.; Hvozdets'kyi, V. M.; Sirak, Y. Y. Corrosion resistance of VC–FeCr and VC–FeCrCo coatings obtained by supersonic gas-flame spraying *Materials Science*, 2019, 54(4), 535–541. DOI:10.1007/s11003-019-00214-1
4. Stupnyts'kyi, T. R.; Student, M. M.; Pokhmurs'ka, H. V.; Hvozdets'kyi, V. M. Optimization of the chromium content of powder wires of the Fe–Cr–C and Fe–Cr–B systems according to the corrosion resistance of electric-arc coatings *Materials Science*, 2016, 52(2), 165–172. DOI:10.1007/s11003-016-9939-8
5. Lima, C.; Libardi, R.; Camargo, R.; Fals, H.; Ferraresi, V. Assessment of abrasive wear of nanostructured WC–Co and Fe-based coatings applied by HP-HVOF, flame, and wire arc spray J. Therm Spray Techn., 2014, 23, Article number: 10971104. https://doi.org/10.1007/s11666-014-0101-6.
6. Student, M.; Hvozdetskyi, V.; Stupnytskyi, T.; Student, O.; Maruschak, P.; Prentkovskis, O.; Skačkauskas, P. Mechanical properties of arc coatings sprayed with cored wires with different charge compositions *Coatings*, 2022, 12(7), 925. DOI:10.3390/coatings12070925
7. Harju, A. Properties of high velocity arc sprayed coatings. Master of Science Thesis, 118 p., Tampere University of Technology, May 2017. https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/24911/harju.pdf;jsessionid=A5588FBEF1FA5F9B1C0BAD012378DBE8?sequence=4
8. Wang, R.; Xu, L.; Zhang, T.; Huang, X. The properties of the high productive high velocity arc sprayed coatings and its applications. Thermal Spray 2004: Proc. Int. Thermal Spray Conference: Advances in Technoly and Application, ITSC 2004, May 10–12, 2004, Osaka, Japan. Paper No: itsc2004p0001. https://doi.org/10.31399/asm.cp.itsc2004p0001
9. Bolot, R.; Planche, M.; Liao, H.; Coddet, C. A three-dimensional model of the wire-arc spray process and its experimental validation. J Mater. Processing Techn. 2008, 200, (1–3), 94–105. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.08.032
10. Student, M.; Gvozdetsky, V.; Student, O.; Prentkovskis, O.; Maruschak, P.; Olenyuk, O.; Titova L. The effect of increasing the air flow pressure on the properties of coatings during the arc spraying of cored wires J Mech Eng – Strojnícky Časopis. 2019, 69, 4, 133–146. DOI: https:// DOI: 10.2478/scjme-2019-0048
11. Hvozdetskyi V.; Lukyanenko A.; Markovych S.; Student M.; Zadorozhna K., Mozola N. / Surface Topography of Arc-Sprayed Coatings by Cored Wires of Different Compositions and Its Influence on the Wear Mechanism // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2025. Вип. 11(42), ч. I. С. 115-120. DOI: https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.115-120

УДК:621.002.6:664.1

УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ПРИЧИНИ ВТРАТИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Д.О. Атрощенко, *асп.,*
О.В. Кузик, *доц., канд. техн. наук*
Центральноукраїнський національний технічний університет

Цукрове виробництво є одним із ключових сегментів агропромислового комплексу України. Технологічне обладнання, що використовується на підприємствах цієї галузі, зазнає інтенсивного зносу в умовах складного виробничого середовища. Підтримання працездатності обладнання є критично важливим фактором для забезпечення безперервності технологічного процесу, економічної ефективності виробництва та дотримання вимог безпеки праці. Тому вивчення умов експлуатації та причин виходу з ладу деталей машин і агрегатів має практичне значення для оптимізації виробництва та зниження витрат на ремонт.

В процесі цукрового виробництва технологічне обладнання працює в специфічних умовах та підвищеного навантаження, що призводить до поступового зносу поверхонь деталей машин і агрегатів. Однією з основних причин є абразивний вплив твердих домішок, таких як пісок, земля і дрібні камінці, що потрапляють разом із буряками. Вони активно ушкоджують робочі поверхні ножів, трубопроводів і транспортерів. Високі температури, характерні в процесі випарювання, кристалізації та уварювання сиропу, спричиняють термічну втому матеріалів, що обумовлюють утворення мікротріщин, деформацій і поступового руйнування металевих конструкцій.

Значну шкоду завдає корозія, яка виникає внаслідок контакту металу з агресивними середовищами. В процесі обробки буряків утворюється велика кількість пари, вологи, а також контакт з речовинами, що мають підвищену корозійну активність (вуглекислий газ, вапно, сульфітні сполуки). Така дія призводить до руйнування поверхонь апаратів, резервуарів і теплообмінників. Механічний знос деталей обладнання, що бере участь у подрібненні, транспортуванні та перемішуванні сировини, зокрема шнеків, ножових млинів, насосів, підшипників та інших, відбувається внаслідок тертя. Особливо інтенсивним процес зношування в наслідок потрапляють абразивних частинок в робоче середовище. Додатковим фактором є втома матеріалу внаслідок дії постійних циклічних навантажень — вібрацій, змін тиску та температур.

Під час сезону переробки буряків (кампанії) більшість агрегатів працюють безперервно протягом кількох тижнів або навіть місяців, що призводить до порушення правил експлуатації, відсутності регулярного технічного обслуговування, несвоєчасної заміни зношених елементів і використання неякісних матеріалів при ремонті лише посилюють процес зношення. Гідро- та пневмоудари при запуску або зупинці обладнання можуть спричинити миттєві пошкодження ущільнень, труб та арматури. Сукупність цих факторів значно скорочує термін служби деталей та обладнання й потребує постійного контролю, профілактики та модернізації.

Окрему категорію становлять конструктивні або виробничі дефекти обладнання, які з часом проявляються у вигляді тріщин, деформацій або виходу з ладу окремих елементів. Не менш важливим є й людський фактор, коли помилки персоналу під час монтажу, пуску або експлуатації також можуть призвести до порушення нормального функціонування техніки.

Дослідження показали, що причини втрати працездатності обладнання на цукрових підприємствах безпосередньо пов'язана зі зносом деталей агрегатів, який є одним із головних чинників зниження надійності та ефективності роботи технічних систем. Знос деталей обумовлює зниження точності роботи агрегатів, зростання вібрацій, витік робочих середовищ, збільшення енергоспоживання та повної втрати працездатності вузлів. Дані процеси призводять до незапланованих простоїв, порушення графіків виробництва та підвищених витрат на аварійний ремонт. Тому вивчення зносу як основної форми втрати працездатності деталей дозволяє не лише обґрунтувати доцільність модернізації або заміни устаткування, а й розробити дієві стратегії технічного обслуговування, які підвищують загальну ефективність виробництва на цукрових підприємствах.

Показано, що одним із важливих способів підвищення надійності технологічного обладнання на підприємствах цукрового виробництва є використання корозійностійких матеріалів та своєчасне відновлення зношених деталей. Застосування матеріалів, стійких до корозії, дозволяє значно знизити темпи руйнування конструкційних елементів, продовжити термін їхньої експлуатації та зменшити кількість аварійних зупинок. Слід зазначити, що відновлення деталей, що втратили свої функціональні властивості внаслідок зношування дає змогу уникнути повної заміни дорогих вузлів, скоротити витрати на ремонт і підвищити загальну ефективність роботи обладнання. поєднання цих підходів забезпечує стабільну й безперебійну роботу технологічних ліній на цукрових заводах.

Таким чином, ефективна експлуатація технологічного обладнання на підприємствах цукрового виробництва можлива лише за умови системного підходу: дотримання технічних регламентів, впровадження сучасних методів діагностики та моніторингу, своєчасне обслуговування. Ефективним засобом підвищення надійності та довговічності обладнання на цукрових підприємствах є застосування корозійностійких матеріалів та відновлення зношених деталей машин та агрегатів. Ці заходи сприяють зменшенню втрат, пов'язаних із простоєм техніки, скороченню витрат на капітальний ремонт і забезпечують стабільну роботу виробничого процесу в умовах агресивного середовища. У результаті впровадження таких технічних рішень підвищується загальна ефективність та конкурентоспроможність підприємства.

Список використаних джерел

1. Бондаренко В.І. Технічна експлуатація і надійність машин: навч. посіб. — К.: Либідь, 2020. — 368 с.
2. Грицюк С.І. Основи технічної діагностики і технічного обслуговування машин / С.І. Грицюк. — Вінниця: ВНТУ, 2019. — 240 с.
3. Тихонов В. М. Обладнання харчових виробництв: підручник. — К.: Центр учбової літератури, 2021. — 372 с.
4. Довганюк А. І., Романюк Т. М. Визначення технічного стану обладнання на основі діагностичних параметрів // Науковий вісник НУХТ. — 2022. — №2. — С. 45–52.
5. ДСТУ ISO 14224:2016. Управління надійністю. Збір і обмін даними щодо надійності та обслуговування обладнання. — [чинний з 2018-01-01].
6. Кириченко М. І. Технічне обслуговування обладнання цукрової промисловості / М. І. Кириченко // Цукрова промисловість України. — 2020. — №4. — С. 32–37.

УДК:655.3.066.5:004.932.2

ЗАСТОСУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ФОТОГРАВЮРНОГО МЕТОДУ ДРУКУ

І.Р. Євменьєв, *ст. гр. МЗ-24,*
О.В. Кузик, *доц., канд. техн. наук*
Центральноукраїнський національний технічний університет

Сучасні технології друку охоплюють широкий спектр методів, кожен із яких має свої переваги залежно від типу продукції, якості зображення та вимог до накладу. Серед них фотогравюрний метод займає особливе місце як один із найбільш якісних способів глибокого друку. Він забезпечує надзвичайно точну передачу зображень, включаючи найдрібніші деталі й плавні тонові переходи. Фотогравюра, або глибокий друк, є одним із найточніших методів відтворення зображень у високій якості. Завдяки можливості передати тонкі градації кольору, чіткі деталі та досягти високої щільності фарби, фотогравюрний метод активно застосовується у виготовленні упаковки, художніх ілюстрацій, банкнот, марок, журналів і каталогів.

В основі фотогравюрного методу друку лежить перенесення зображення на друкарську форму за допомогою фотохімічного процесу. Спочатку зображення перетворюється на фотомаску з растровою структурою, де кожна точка відповідає певному тону майбутнього зображення. Потім ця маска використовується для експонування світлочутливого шару, нанесеного на мідну або іншу металеву циліндричну поверхню.

Після експонування та проявлення на поверхні утворюється рельєф із заглибленнями різної глибини, які відповідають відтінкам зображення: чим глибше заглиблення, тим більше фарби воно може вмістити, а отже, тим темнішим буде відповідний елемент на відбитку. Після цього друкарську форму травлять, щоб остаточно сформувати комірки для фарби. Під час друку фарба наноситься на всю поверхню форми, після чого з неї зчищається надлишок з плоских ділянок ракельним ножем, а в заглибленнях вона залишається. Потім форма контактує з папером або іншим матеріалом, і фарба під тиском переноситься з заглиблень на друкований матеріал.

Особливістю фотогравюрного методу є висока якість передачі півтонів, чіткість зображення, можливість отримання плавних тонових переходів і детального відтворення як текстів, так і фотографій. Цей метод широко застосовується в поліграфії для друку високоякісної упаковки, журналів, поштових марок, етикеток та інших видань, де важлива точність і насиченість зображення. Фотогравюрний друк вирізняється високою стабільністю параметрів друку і зносостійкістю форм. Однією формою можна надрукувати до 1–5 мільйонів відбитків без втрати якості. Це робить метод надзвичайно ефективним для великих накладів.

Фотогравюрний метод залишається незамінним для виробництва поліграфічної продукції високої якості. Попри конкуренцію з боку офсету та цифрового друку, він вигідно вирізняється довговічністю форм, точністю передачі кольорів і здатністю працювати з великою кількістю матеріалів. У майбутньому очікується подальше вдосконалення фотогравюрного методу за рахунок автоматизації, цифрового гравіювання та зниження вартості підготовчих процесів.

Список використаних джерел

1. Рудаков А. А. Основи технології глибокого друку // Поліграфія і видавнича справа. – 2021. – №2 (80). – С. 17–23.
2. Козак В. С. Особливості використання фотогравюрного методу в пакувальній промисловості // Вісник КНУТД. – 2020. – №3. – С. 56-61.

УДК 367.02

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НАНЕСЕННЯ АНТИФРИКЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ

І. В. Шепеленко, *проф., докт. техн. наук*,
А. М. Красота, *асп.*,
М. В. Красота, *доц., канд. техн. наук.*
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Фрикційне нанесення антифрикційних покриттів методом ФАБО характеризується взаємодією елементів системи «деталь-інструмент-технологічне середовище».

Дана взаємодія реалізується внаслідок присутності чотирьох факторів [1]

- механічний фактор, що передбачає створення притискаючих зусиль між інструментом та деталлю, відносне переміщення поверхонь деталі та інструменту між собою;
- хімічний, передбачає попередню активацію поверхні деталі, на робочі поверхні якої наноситься антифрикційне покриття, , утворенням хімічних взаємозв'язків між поверхнею деталі та інструментом, а також між компонентами в технологічному середовищі;
- термічний фактор пов'язаний з наватажувально-швидкісним режимом обробки, що обумовлює потужність тепловиділення в контактній області та забезпечує активацію процесів за рахунок підвищення температури в системі «деталь-інструмент-технологічне середовище»;
- фактор пов'язаний з вивільненням енергії, при виході на поверхню в результаті мікропластичної деформації структурних дефектів, типу дислокацій, вакансій і міжвузлових атомів.

Нанесення антифрикційного покриття може бути реалізоване фрикційно-механічним або фрикційно-хімічним способом. Для обох технологічних варіантів притаманні ряд спільних рис процесу утворення покриття [2].

Розглянемо основні етапи утворення антифрикційних покриттів, що насосяться фрикційно-механічним способом ФАБО.

Початковий стан поверхні характеризується присутністю структур, що можуть перешкоджати безпосередньому контакту і адгезійному зчепленню металів в процесі нанесення антифрикційного покриття. Слід відмітити наявність у поверхневому шарі вологи, шарів оксидів, що утворюються в результаті взаємодії кисню повітря та металу деталі. Як правило, на поверхні мають місце з'єднання типу FeO, Fe2O3, Fe3O4, а також хімічно абсорбований кисень [3].

Перший етап утворення покриття при ФАБО передбачає активацію поверхонь деталі та інструменту.

У випадку фрикційно-механічного методу ФАБО перший етап утворення покриття характеризується диспергуванням матеріалів пари тертя – інструменту та деталі.

Спрацьовування механічного фактора активації при нанесенні покриття тертям відбувається як наслідок фрикційної взаємодії, здатної частково або повністю зруйнувати шар оксиду або хімічно абсорбованого кисню. В початковий період ламкий шар оксидів на поверхні тертя піддається значному впливу деформацій зсуву, внаслідок чого відбувається руйнування матеріалів деталі та інструменту та винесення його з зони контакту.

Відбувається руйнування вершин мікровиступів інструмента та деталі та винесення даного матеріалу в технологічне середовище. На даному етапі можливе короткочасне оголення ювенільних поверхонь за рахунок присутності сил тертя між нерівностями поверхні інструменту та деталі. Активація контактних поверхонь деталей та інструменту сприяє утворенню міжатомних зв'язків між матеріалами покриття та деталі [4].

Другий етап утворення покриттів передбачає осадження антифрикційних компонентів на поверхні деталі. На даному етапі відбувається процес хімічного осадження металів з оксиду міді [4].

В результаті трибонавантажень та тисків частина часток матеріалу інструменту, що утворилися в результаті зрізання на першому етапі, запресовуються у впадинах між виступами профілю поверхні деталі. Це приводить до згладжування поверхні, збільшенню реальної площі контакту, зменшенню контактного тиску при роботі деталі з антифрикційним покриттям. В результаті високих локальних тисків утворюються когезійні зв'язки між окремими частками матеріалу покриття.

Третій етап є заключним у формуванні покриттів. На даному етапі завершується перенесення матеріалу інструменту на поверхню деталі внаслідок зниження шорсткості. Відбувається припинення нарощування покриття і внаслідок досягнення рівноважного стану по зсувним характеристикам. Припиняється об'ємна пластична течія матеріалу інструменту та зменшується температура в зоні тертя, що приводить до гальмування хімічних реакцій взаємодії компонентів технологічного середовища [5].

Даний етап характеризується проходженням дифузії металу, осадженого на поверхню, вглиб поверхневого шару деталі. Так, як антифрикційні покриття, що отримуються методом ФАБО мають певну несуцільність, то частина поверхнево-активного речовин з технологічного середовища адсорбується в порах покриття.

Розглянута послідовність утворення покриттів при виконані ФАБО дозволяє досліджувати процес формування антифрикційних покриттів, виконуючи аналіз стану компонентів системи «деталь-інструмент-технологічне середовище» та перетворень, що відбуваються в процесі нанесення покриттів.

Зважаючи на проведений аналіз процесів, що відбуваються при нанесенні покриттів методами ФАБО, можливо зробити висновок, що підвищити якість нанесення антифрикційного покриття можливо підвищити:

- застосуванням технологічних середовищ оптимального складу та з необхідною кислотністю;
- створенням оптимальної температури в зоні контакту для забезпечення процесу трибодеструкції гліцерину, що є основою для більшості технологічних середовищ, і, як результат, проведення хімічних реакцій між компонентами технологічного середовища та матеріалами деталі та інструменту.

виконанням операцій механічної обробки деталі, що передують ФАБО, з створенням оптимальної шорсткості поверхні, що дасть можливість в повній мірі реалізувати механічний та температурний фактори утворення покриття (забезпечення різання матеріалу інструменту та нагрівання зони контакту та технологічного середовища).

Список використаних джерел

1. Технологічне забезпечення нанесення антифрикційного покриття на неповні сферичні поверхні фрикційно-механічним способом [Текст] / М. М. Косіюк, С. А. Костюк, М. А. Костюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 4. – С. 38-42.
2. Abdullah Rasheed A, Ihor Shepelenko, Eduard Posviatyenko. Experimental quality improvement of the application of antifriction coating. First International Conference on Advances in Physical Sciences and Materials 13-14 August 2020, Coimbatore, India. Journal of Physics: Conference Series, 2020. Vol. 1706. pp.1–11. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1706/1/012187.
3. Krasota, A.M., Shepelenko, I.V., Krasota, M.V. Physical and chemical processes in the application of antifriction coatings by the friction-mechanical method. Problems of Tribology, V. 30, 1/115-2025, 66–74.
4. Shepelenko, I., Posviatenko, E., Cherkun, V. The mechanism of formation of anti-friction coatings by employing friction-mechanical method. Problems of Tribology, 24(1/91), 35–39. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2019-91-1-35-39.
5. Красота А.М., Шепеленко І.В., Красота М.В., Осін Р.А. Обґрунтування ефективності та класифікація компонентів технологічних середовищ для фінішної антифрикційної безабразивної обробки деталей машин/ А.М. Красота, І.В. Шепеленко, М.В. Красота, Р.А.Осін//Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. - 2024. - Вип. 10(41), ч. ІІ. С. 104 – 112.

UDC 629.113:005.42:62-192

VEHICLE ERGONOMICS AND ITS IMPACT ON RELIABILITY

M.S. Magopets, *Postgraduate Student,*
V.V. Aulin, *Prof., Doctor of Technical Sciences*
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

In modern world transport there are integral component vital activity society. Development transport systems is not only related to the implementation the newest technologies, but also from provision convenience and safety management. Important component this process is ergonomics – the science of adaptation technical systems to physiological and psychological features human [1]. In the context of a vehicle ergonomics covers design interior cabins, accommodation organs management, information environment, lighting, ventilation, noise insulation etc. [2]. All these aspects have direct or mediated impact on performance driver and vehicle reliability. Ergonomics in a vehicle aims to creating conditions under which operator maybe to manage for a long time mobile machine without significant reduction performance, safety or health risk [3]. The main directions of ergonomic analysis include:

1. Placing elements management and control**:** it is important that all necessary the elements were within reach, had logical accommodation and amenities dimensions;
2. Visual perception information**:** panels devices should be easily readable, have correct brightness, contrast, size fonts and lighting;
3. Position sitting and posture operator: chair has to support one's back, to have height, tilt and distance adjustment to the pedals;
4. Climatic conditions in the cabin: temperature, ventilation, absence excessive noise and vibrations much affect the operator's well -being.

Ergonomics is an important factor for the error-free and trouble-free operation of a mobile machine, its main influence [4]:

1. Reduction equal fatigue driver. Poorly designed cabin leads to accelerated fatigue operator. A tired operator is more likely to is assumed errors, slower reacts to road situations, and sometimes unconsciously causes overload units. On the contrary, comfortable fit, support body and quality noise and vibration isolation reduce fatigue, increase concentration and, as a result, reduce risk of breakage.

2. Reduction probabilities errors. Poorly located devices, levers Do buttons often cause wrong or untimely management. For example, in stressful situations operator maybe confuse switches or not have time react due to difficult access to the brake system. This directly affects the safety and wear of the components**.**

3. Promotion correct operation. If to the operator easy drive the vehicle, it will not violate instructions. For example, the smoothness of the pedal stroke or steering wheel rotation is reduced dynamic brake load, steering mechanism and transmission.

4. Facilitation of maintenance. Ergonomic placement of technical elements (filters, tanks, hoses, connectors) contributes to quick and safe maintenance, reduces the risk of damage during replacement or repair.

5. Positive psychological impact. Comfortable cabin, modern interior, pleasant materials decoration, silence - all of it increases level confidence in the vehicle, reduces stress and aggression, improves driving style.

Today, the ergonomics of the interior of the cabin are calculated and taken into account when designing a mobile machine, so modern DAF, Volvo, Mercedes - Benz class trucks are equipped with ergonomic cabins with adaptive seats, intuitive arrangement of instruments and

multimedia panels, which significantly reduces fatigue on long routes; John agricultural machinery Deere is designed with long hours of work in the field in mind - special seats with shock absorption, climate control and autopilot systems increase efficiency and reduce the risk of errors, Claas combines are equipped with an ergonomic control system Cemos A utomatic , which is intended to automatically adjust the threshing and separation mode; large touch display with an intuitive interface; virtual driver assistant (tips for optimization). These functions provide the opportunity longer continuous work without loss productivity; less load on the engine and cleaning system due to accurate settings. All leading agricultural machinery brands equip their machines with climate control and air filtration (category 4) – protection against dust and chemicals; armrests with a control panel – reducing muscle strain; cab and axle suspension – reducing vibrations and noise, which affects the durability of electronics.

With development digital technologies vehicle ergonomics continues to improve. In particular:

1. Are being implemented adaptive control systems based on machine vision, which reduce driver involvement.
2. Applicable biometric sensors that monitor health status and level fatigue driver.
3. Under development intellectual interfaces – for example, augmented reality on the windshield.

All of this contributes further reduction errors human and increase reliability of transport in general. In modern conditions ergonomic. The approach to transportation design is not a luxury, but a necessity that directly affects efficiency, safety, and durability. operation transport means.

List of references used

1. Antonelli, RA, Costa, LCC, Eustachio, AMN, et al. (2013). *Development of a methodology focused on the improvement of both: ergonomics and comfort of commercial vehicle seats* (No. 2013-36-0216). SAE Technical Paper.
2. Chowdhury, A. , Kachare , C. (2021). Ergonomic evaluation of a car interior: a case example on shelbyCobra. In *Ergonomics for Improved Productivity: Proceedings of HWWE 2017* (pp. 65-71). Springer Singapore.
3. Park, SJ, Kim, CB, Kim, CJ, et al. (2000). Comfortable driving postures for Koreans. *International journal of industrial Ergonomics , 26* (4), 489-497.
4. Mahopets , M. S., Aulin , V. V., & Hrynkiv , A. V. (2025). Vplyv elementiv erhonomiky ta mekhatroniky na funktsionuvannia systemy «operator – mobilna mashyna» [Impact elements ergonomics and mechatronics for the functioning "operator- mobile machine" system]. *Central Ukrainian scientific Bulletin . Technical Sciences. 2025. Issue 11 (42), part I. 326 p.* , 148.

УДК: 621.791.7:620.197:620.193

СТВОРЕННЯ ЛАЗЕРНИХ НЕРІВНОВАЖНИХ ПРОЦЕСІВ НА ПОВЕРХНІ СТАЛІ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЗАХИСНИХ АНТИКОРОЗІЙНИХ ПОКРИТТІВ

М. І. Туртуріка, *учень 11 класу*,
Центральноукраїнський науковий ліцей-інтернат Кіровоградської обласної ради Кіровоградська «Мала академія наук»
В.В. Аулін, *проф., д-р техн. наук,*
С.Г. Ковальов, *докторант***,** *канд. пед. наук*
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Корозія сталі завдає значних економічних збитків у багатьох галузях промисловості. Вона не лише знижує міцність і довговічність сталевих конструкцій, а й може призводити до аварійних ситуацій. Це особливо критично для аграрної та військової техніки, яка зберігається у відкритих умовах і піддається інтенсивному впливу атмосфери.

Один із прогресивних способів захисту сталі від корозії — формування захисних оксидних плівок на її поверхні. Такі плівки створюють надійний бар'єр, що перешкоджає проникненню агресивних середовищ до металу. Водночас традиційні методи мають свої недоліки: низька адгезія плівок і використання шкідливих хімічних реагентів, які обмежують ефективність технології.

Метою дослідження є розробка методу формування захисних оксидних плівок на поверхні сталі за допомогою лазерного випромінювання. Ця методика дозволяє не лише оптимізувати процес створення захисного шару, а й глибше дослідити механізми корозійної взаємодії.

Методологія дослідження включала аналіз наукових джерел, планування експериментів і варіювання параметрів лазерного впливу. Для оцінки ефектів обробки використовували різні режими роботи лазера, такі як довжина хвилі, потужність, час експозиції та частота імпульсів.

Експериментальні результати підтвердили ефективність лазерного впливу в створенні високоякісних захисних плівок. Ці плівки демонструють високу корозійну стійкість і суттєво знижують швидкість корозійних процесів.

До основних параметрів лазерного випромінювання, що визначають успішність формування оксидних покриттів, належать довжина хвилі, потужність лазера, час опромінення та частота імпульсів. Довжина хвилі впливає на ступінь поглинання енергії металом, і правильний вибір цього параметра дозволяє оптимізувати процес формування плівок. Потужність лазера забезпечує контроль температури нагріву матеріалу: при високій потужності відбувається швидке нагрівання і окиснення поверхні. Час опромінення та частота імпульсів впливають на глибину термічного впливу та забезпечують рівномірність обробки. Вибір оптимальних параметрів лазерної обробки залежить від необхідної товщини і складу оксидної плівки, тому експериментальне визначення відповідного режиму є важливою складовою процесу.

Для гарантування високої якості оксидних покриттів необхідно ретельно контролювати нерівноважні процеси, які виникають під час лазерної обробки. Одним із важливих заходів є контроль температури за допомогою термопар або інфрачервоних пірометрів, що дозволяє уникнути надмірного нагріву чи розплавлення матеріалу. Крім того, швидке охолодження після лазерної обробки сприяє утворенню щільних оксидних шарів. Залежно від вимог до кінцевих властивостей плівки можна застосовувати повітряне чи рідинне охолодження. Контроль атмосфери обробки, наприклад використання захисного

газу, запобігає небажаним хімічним реакціям на поверхні металу і сприяє однорідності оксидного шару.

Лазерне випромінювання демонструє високу ефективність як інструмент для обробки металів. Воно не лише забезпечує модифікацію матеріалів з високою якістю, але й значно покращує корозійну стійкість та інші властивості оброблених поверхонь.

Список використаних джерел

1. Аулін В.В., Кузик О.В. З'ясування механізму α-γ перетворень в сталевих матеріалах в нерівноважних умовах лазерної обробки. Вісник інж. Академії України. – 2016. №4. – С.171-176.
2. Аулін В.В., Кропивний В.М., Кузик О.В. Характер формоутворення графіту в чавуні в процесі виплавки та лазерної обробки. Вісник інж. Академії України. – 2016. №3. – С.139-145.
3. Аулін В.В., Лізунов С.М. Теоретичне обгрунтування зміни шорсткості поверхні деталей після лазерної обробки. Зб. Наук. праць КНТУ «Техніка в с.г. виробництві галузеве машинобудування, автоматизація». Кіровоград: КНТУ.- 2007р. Вип.18 С.98-95.
4. Laser Treatments for Improving Electrical Conductivity and Piezoresistive Behavior of Polymer–Carbon Nanofiller Composites. URL: //https://www.mdpi.com/2072-666X/10/1/63 (дата звернення 25.12.24)
5. Victor A., Arifa W., Lysenko S. Increased Wear Resistance of the Cultivator Plowshares by Laser Technology of Consolidation. International journal of Agriculture and Forestry 2015, 5 (6): 3180322 DOI:10.5923/j.ijaf.20150506.03. – p.p. 318-322.
6. Hardening Efficiency and Microstructural Changes during Laser Surface Hardening of 50CrMo4 Steel. URL://https://www.mdpi.com/2075-4701/11/12/2015 (дата звернення 25.12.24)

УДК: 658.788:004.896:658.5

ОПТИМІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИКОРИСТАННЯ РОБОТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА СКЛАДАХ ПІДПРИЄМСТВ, ФІРМ, КОМПАНІЙ

Є.А. Овчаров, *ст. гр. ТТ-24мб,*
Д.О. Кульова, *д-р філос.*
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

У сучасних умовах глобалізації та цифрової трансформації логістика зазнає суттєвих змін. Проаналізовано основні виклики, пов'язані зі зростанням обсягів вантажоперевезень, підвищенням вимог до швидкості та точності доставки, а також зростаючою конкуренцією на ринку. З метою підвищення ефективності логістичних процесівна складах підприємств, фірм, компаній активно впроваджують інноваційні рішення, серед яких ключову роль відіграють смарт-технології – роботизовані системи, Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (ШІ), аналітика великих даних (Big Data) та GPS-моніторинг.

У сфері складської логістики смарт-технології відіграють ключову роль, забезпечуючи автоматизацію основних операцій, підвищення точності обробки замовлень та раціональне використання фізично-інформаційного простору. Розглянуто практичне застосування сучасних цифрових рішень на складах провідних логістичних компаній.

На підприємствах DHL, CEVA Logistics, Geodis та інших провідних логістичних операторів використовуються автономні мобільні роботи компанії Locus Robotics. Роботи Locus (моделі Origin, Vector, Max) (рис. 1) мають вбудований сенсорний екран, розташований у верхній частині корпусу, за допомогою якого здійснюється взаємодія з працівниками складу.

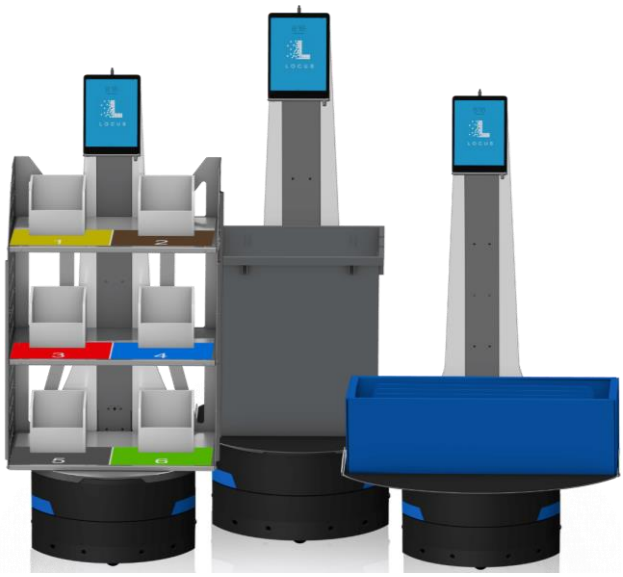


Рисунок 1 – Locus Robotics

На дисплей виводяться інструкції щодо виконання завдань, що дозволяє оптимізувати процес підбору товарів і зменшити кількість помилок. Роботи самостійно переміщуються складом, а працівник може направити їх у потрібне місце без потреби переносити вантажі вручну. Визначено, що впровадження таких роботизованих систем дозволяє підвищити продуктивність працівника в 2–3 рази без збільшення навантаження або тривалості зміни.

Прикладом активного використання роботизованих систем на своїх складах є компанія Amazon. Компанія застосовує власну лінійку роботів Kiva (рис.2), створену на базі купленої у 2012 році компанії Kiva Systems наразі – Amazon Robotics.

Основне призначення роботів – переміщення полиць (стелажів) з товарами по складу. Робот орієнтуються за допомогою QR-кодів і системи навігації на підлозі. Оснащений датчиками для запобігання зіткненням з іншими роботами та людьми.

Рисунок 2 – Мобільний робот Kiva

Досліджено ефективність впливу автоматизації складів Amazon на логістичну ефективність: після впровадження системи Kiva середній час виконання замовлення зменшився з 60–75 хвилин до 15 хвилин. Це дозволяє не лише швидше обробляти замовлення, але й покращити загальний рівень сервісу, що є критичним у конкуренції на ринку електронної торгівлі.

Обґрунтовано, що роботи Kiva дозволяють зменшити ширину проходів між стелажами, що забезпечує збільшення ефективної площі складу на 50%. Людям потрібно більше простору для переміщення між рядами, тоді як роботи можуть пересуватись в значно вужчих проходах. Зазначене дає можливість не тільки економити кошти на нові приміщення, але й отримувати більше прибутку з тієї ж площі.

Автоматизація складів дозволяє не лише підвищити ефективність, але й значно скоротити витрати. Згідно зі звітом Bank of America, кожен склад Amazon, на якому встановлено роботизовану систему, дозволяє зекономити близько 22 мільйонів доларів щороку. Ця економія формується за рахунок зниження витрат на оплату праці, прискорення процесів і зменшення кількості помилок під час комплектації замовлень.

Слід також зазначити, що для невеликих складів, особливо регіонального рівня або складів малого бізнесу, впровадження таких систем може виявитись економічно недоцільним. Оцінено фактори, що ускладнюють впровадження: обмежений товарообіг, невелика кількість працівників, відсутність потреби в цілодобовій роботі та висока вартість початкових інвестицій (робот Kiva чи Locus може коштувати від 30 000 до 50 000 доларів за одиницю, не враховуючи інфраструктури та програмного забезпечення).

Таким чином, використання роботизованих технологій на складах підприємств, фірм, компаній суттєво змінює підхід до організації логістичних процесів. Узагальнено переваги автоматизації: підвищення продуктивності, зменшення кількості помилок, оптимізація простору та скорочення часу обробки замовлень. Разом із цим, визначено обмеження впровадження для малого бізнесу через високі початкові логістичні витрати. Подальший розвиток роботизованих складський логістичних систем у логістиці буде пов’язано з підвищенням гнучкості, з інтеграцією зі штучним інтелектом та зниженням вартості впровадження.

УДК: 004.9:34:656

ПРАВОВІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СМАРТ-ІНТЕГРАЦІЇ

В.К. Коваленко, *ст. гр. ТТ-23-1,*
Д.О. Кульова, *д-р філос.*
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Сучасний етап цифрової трансформації суспільства вимагає комплексного підходу до інтеграції смарт-технологій. Впровадження інноваційних рішень у різних сферах життєдіяльності, в тому числі на транспорті, супроводжується значними викликами, що потребують наукового осмислення та системного вирішення. Тому доцільно провести аналіз ключових правових, технічних та інфраструктурних бар'єрів смарт-інтеграції в Україні, з метою розробки рекомендацій щодо їх подолання.

Проаналізуємо правові аспекти смарт-інтеграції:

– регуляторні розбіжності на міжнародному рівні;

– проблеми стандартизації;

– захист персональних даних;

– правосуб'єктність штучного інтелекту (ШІ).

Аналіз регуляторних практик свідчить про істотні розбіжності у підходах до регулювання інноваційних технологій. Як показують дослідження, у той час як США демонструють ліберальний підхід до використання дронів в управлінні транспортними перевезеннями (зокрема, для доставки товарів), Європейський Союз дотримується значно обережнішої політики. Для України, яка прагне до євроінтеграції, це створює додаткові складнощі у гармонізації законодавства. З одного боку, країна зобов'язана адаптувати законодавство відповідно до Угоди про асоціацію з ЄС; з іншого – має враховувати досвід гнучких інноваційних юрисдикцій для стимулювання національного технологічного бізнесу. Рекомендовано застосування гібридного підходу – гармонізувати базові принципи, залишаючи простір для локального регуляторного експерименту.

Інтеграція смарт-технологій в логістику транспорту значною мірою залежить від технічної сумісності пристроїв та систем. Нині ринок інтернету речей (Internet of Things (IoT)) демонструє високу фрагментованість через відсутність єдиних протоколів взаємодії. Наприклад, пристрої від Amazon, Google, Apple чи Xiaomi часто використовують закриті екосистеми, такі як Amazon Sidewalk, Google Fuchsia, Apple Home Ecosystem, Xiaomi AIoT Ecosystem, що ускладнює реалізацію наскрізних логістичних сценаріїв – від автоматичного моніторингу складу до останнього кілометру доставки. Вирішення цієї проблеми потребує: розробки національних стандартів; узгодження з міжнародними технічними регламентами; створення механізмів сертифікації.

Проведений аналіз європейського досвіду регулювання захисту даних (General Data Protection Regulation (GDPR)) дозволяє виокремити ключові принципи, які потребують імплементації в українське законодавство. Принцип мінімізації даних передбачає збір лише тієї інформації, яка є абсолютно необхідною для функціонування смарт-систем. Це особливо актуально для логістичних рішень, де надмірний збір даних про місцезнаходження, маршрути руху або поведінку користувачів може призвести до порушень приватності.

Обов'язкова згода суб'єкта даних вимагає перегляду традиційних підходів до інформування користувачів. У контексті IoT-пристроїв, які часто працюють у фоновому режимі, необхідно розробити нові механізми отримання згоди, що враховують специфіку їх роботи. Європейський досвід демонструє ефективність пошарових інтерфейсів надання згоди та використання візуальних індикаторів збору даних.

Особливу увагу варто приділити принципу «privacy by design», який передбачає вбудовування заходів захисту даних ще на етапі проектування технологічних рішень. Для логістичних систем це означає необхідність: автоматизованого анонімування даних після завершення їх обробки; реалізації механізмів псевдонімізації маршрутних даних; впровадження децентралізованих схем зберігання чутливої інформації.

Філософсько-правова дискусія щодо статусу штучного інтелекту потребує наукового осмислення. Як показують кейси з автопілотом Tesla, традиційні правові конструкції виявляються недостатніми для регулювання нових технологічних реалій.

Сучасна правова доктрина пропонує три основні моделі регулювання:

– адаптація існуючих норм цивільної відповідальності з урахуванням специфіки штучного інтелекту;

– створення спеціального правового статусу «електронної особи»;

– розробка комплексних схем страхування ризиків, пов'язаних із використанням автономних систем.

Для українського правового поля найбільш перспективним виглядає поєднання першої та третьої моделі. Це передбачає: модифікацію норм про відповідальність за шкоду з урахуванням специфіки штучного інтелекту; впровадження обов'язкового страхування ризиків автономних систем; створення спеціалізованих реєстрів критичних ШІ-рішень; розробку стандартів аудиту алгоритмів для потреб правосуддя.

Що стосується технологічних викликів, то це:

– проблеми інтероперабельності;

– кібербезпека;

– масштабованість рішень.

Дослідження демонструють, що різнорідність технічних рішень у сфері IoT створює значні труднощі у їх інтеграції. Особливо це стосується систем безпеки та критичної інфраструктури.

Статистика кіберінцидентів останніх років (зокрема, атака на систему водопостачання у Флориді) підтверджує необхідність: розробки спеціалізованих стандартів безпеки; впровадження механізмів постійного моніторингу; створення систем швидкого реагування.

Аналіз досвіду розгортання смарт-міст свідчить , що обробка великих даних потребує: потужної хмарної інфраструктури; ефективних алгоритмів аналітики; надійних каналів передачі даних.

В інфраструктурні обмеження входять:

– мережева інфраструктура;

– сервери;

– фінанси.

Проведене дослідження показує, що для повноцінного функціонування смарт-технологій необхідно: прискорене розгортання мереж 5G; модернізація телекомунікаційної інфраструктури; забезпечення стабільного електропостачання.

Аналіз вимог до обробки даних у реальному часі дозволяє виділити ключові напрямки розвитку: Створення розподілених центрів обробки даних; Впровадження edge-обчислень; Використання квантових обчислень.

Розгортання таких систем – мільярдні інвестиції. Наприклад, створення Smart City в Саудівській Аравії (NEOM) оцінюється в понад $500 млрд.

Етичні дилеми технологічного розвитку складаються з:

– алгоритмічних упереджень;

– прозорості рішень ШІ.

Дані соціологічних досліджень свідчать про системні проблеми в алгоритмах розпізнавання образів, можуть неправильно ідентифікувати людей з різною зовнішністю, що потребує: розробки етичних стандартів; впровадження механізмів аудиту; залучення соціогуманітарних фахівців.

Не завжди зрозуміло, чому ШІ прийняв те чи інше рішення – це особливо гостро проблема «чорної скриньки» стоїть у таких сферах: медична діагностика; кредитні рішення; правозастосовча практика.

Аналіз стану проблеми дає можливість запропонувати наступні стратегії подолання зазначених бар'єрів:

1. Правове поле:
– ухвалення Закону «Про смарт-технології»;
– створення регуляторних «пісочниць» для тестування інновацій;
– повна гармонізація з GDPR та іншими європейськими стандартами.
2. Технологічний розвиток:
– розробка національної IoT-платформи;
– впровадження стандартів кібербезпеки (ISO 27001);
– інвестиції в R&D через державно-приватне партнерство.
3. Кадрова політика:
– оновлення навчальних програм у технічних ЗО;
– створення центрів перепідготовки ІТ-фахівців;
– програми обміну з міжнародними експертами.
4. Міжнародний досвід для України;
4.1. Запозичити з ЄС:
– систему захисту персональних даних;
– підходи до стандартизації IoT;
– механізми регулювання AI;
4.2. Запозичити з США:
– гнучкі умови для стартапів;
– досвід використання дронів;
– моделі венчурного фінансування.
5. Пропозиції щодо практичної реалізації:
– створення міжвідомчої робочої групи;
– розробка дорожньої карти смарт-інтеграції;
– запуск пілотних проектів у Києві, Львові, Харкові;
– модернізація телекомунікаційної інфраструктури;
– створення національного центру кібербезпеки;
– розвиток венчурного ринку;
– повна цифрова трансформація держуправління;
– створення мережі «розумних міст»;
– інтеграція в єдиний цифровий ринок ЄС.

Таким чином, проведене дослідження дозволяє констатувати, що успішна смарт-інтеграція в Україні вимагає комплексного підходу, що поєднує: науково обґрунтоване регулювання; технологічну модернізацію; соціальну адаптацію. Подолання існуючих бар'єрів можливе лише за умови тісної взаємодії між науковим середовищем, бізнесом та органами влади, що дозволить Україні не лише запозичити міжнародний досвід, але й сформувати власну модель технологічного розвитку.

УДК: 656.073:004.9

GPS-МОНІТОРИНГ У ЛОГІСТИЦІ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ: ПРИНЦИПИ РОБОТИ ТА ПЕРЕВАГИ

І.С. Сугак, *ст. гр. ТТ 23-2,*
Д.О. Кульова, *д-р філос.*
Центральний національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Сучасна логістика [1] неможлива без оперативного контролю за переміщенням вантажів. Обґрунтовано, що одним із ключових інструментів забезпечення такого контролю є GPS-моніторинг – технологія супутникового спостереження за рухомими об'єктами (вантажами) в реальному часі. Його застосування охоплює вантажні автомобілі, залізничні платформи, морські й авіаційні перевезення.

З'ясовано, що принцип роботи GPS-моніторингу полягає в отриманні даних з глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS), які потім передаються на сервер логістичної компанії через GSM-мережу або інші канали зв'язку. У складі системи використовуються GPS-приймачі, SIM-модулі, спеціалізоване програмне забезпечення та аналітичні платформи для обробки отриманої інформації.

Одним із прикладів впровадження GPS-моніторингу є логістичні операції муніципального автотранспорту в Києві. Після встановлення системи на всі сміттєвози вдалося скоротити холості пробіги на 23 %, оптимізувати маршрути та зменшити витрати на паливо до 18 %. Також було досягнуто покращення дисципліни водіїв та зниження простоїв техніки.

Виявлено переваги GPS-моніторингу в логістиці [2]:

– оперативний контроль і візуалізація місцезнаходження транспорту;
– підвищення безпеки перевезень і запобігання викраденню вантажів;
– оптимізація логістичних маршрутів та розкладу доставки;
– контроль витрат пального і зменшення експлуатаційних витрат;
– формування звітності й аналітика ефективності логістики;
– інтеграція з іншими цифровими платформами (TMS, ERP).

Таким чином, GPS-моніторинг є важливою складовою концепції смарт-логістики, яка поєднує цифрові технології, аналітику й автоматизацію транспортних процесів. Його впровадження дозволяє підвищити ефективність, екологічність і надійність логістичних операцій.

Список використаних джерел

1. Кислий В.М., Біловодська О.А., Олефіренко О.М., Соляник О.М. Л 69 Логістика: Теорія та практика: Навч. посіб. – К: Центр учбової літератури, 2010
2. Khrustalova S., Nevliudova V., Khrustalev K., Allakhveranov R., Kosenko V., Mrochko A. Use of GPS monitoring in transport logistics. *Journal of Natural Sciences and Technologies*. 2024. Vol. 3, Issue 1. P. 266–275. DOI: 10.5281/zenodo.12705614.

УДК:633.853.32

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ ВИКОРИСТАННЯМ ДРОНІВ

Д.С. Воронов, *ст. гр. ТТ-24мб*,
Д.О. Кульова, *д-р філос.*
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Одним із перспективних напрямів розвитку транспортних технологій є впровадження безпілотних літальних апаратів (дронів) для доставки вантажів. Це забезпечує низку переваг для сучасної логістики: значне скорочення часу доставки завдяки уникненню заторів і обмежень дорожньої інфраструктури, підвищення доступності послуг у важкодоступних або віддалених районах, зменшення експлуатаційних витрат на коротких маршрутах, зниження екологічного навантаження завдяки використанню електричних дронів, а також автоматизацію логістичних процесів, що сприяє підвищенню ефективності та точності перевезень.

Особливої уваги заслуговує застосування дронів у процесі «останньої милі» доставки – фінального етапу логістичного ланцюга. При цьому вантаж доставляється безпосередньо до кінцевого споживача. Саме цей етап є найбільш ресурсозатратним і складним у плані організації, оскільки пов'язаний із міською інфраструктурою, трафіком, великою кількістю замовлень та очікуванням максимально швидкої доставки.

Використання безпілотних літальних апаратів дозволяє значно оптимізувати процес «останньої милі», мінімізувати затримки, зменшити витрати на паливо та персонал, а також забезпечити більш екологічне та гнучке обслуговування споживачів. Це відкриває нові можливості для розвитку електронної комерції та логістики майбутнього.

Значну зацікавленість у вирішенні проблем логістичного процесу «останньої милі» проявляють провідні світові компанії, зокрема Amazon, яка активно впроваджує інноваційні технології у сфері логістики. Крім того, Amazon експериментує доставкою вантажів дронами у рамках проєкту Prime Air, який компанія розробляє з 2013 року. Метою є забезпечення швидкої, безпечної і економічної доставки невеликих посилок (до 2,3 кг) на відстань до 11–24 км від складу. При цьому час доставки має становити близько 30 хвилин після оформлення замовлення. Дрони оснащені складними системами орієнтування в просторі та уникнення зіткнень з іншими літальними апаратами, людьми, тваринами та перешкодами. Вони застосовують камери, сенсори та алгоритми штучного інтелекту для безпечного маневрування. Один із типів дронів, які використовує Amazon, – це Amazon Prime Air Delivery Quadcopter Drone (рис. 1). Вони мають квадратний відсік для пакунків, що робить процес транспортування і скидання товарів зручнішим і безпечнішим.

а б

а – вигляд з боку, б – вигляд знизу на відсік для вантажу
Рисунок 1 – Amazon Prime Air Delivery Quadcopter Drone

Попри численні переваги, впровадження дронів у логістичні процеси має низку суттєвих обмежень та викликів. Насамперед, це обмежена вантажопідйомність, яка наразі дозволяє транспортувати лише невеликі пакунки масою до 2–5 кг, що зменшує доцільність використання дронів у масовій вантажній логістиці. Також обмежений радіус дії дронів (зазвичай до 20–30 км) потребує наявності розгалуженої мережі розподільчих центрів або мобільних хабів, що ускладнює масштабне впровадження.

Ще одним викликом є залежність від погодних умов – сильний вітер, дощ або снігопад можуть унеможливити виконання польоту, що знижує надійність сервісу. Окрім цього, існують регуляторні обмеження, пов'язані з польотами у міських умовах, де необхідно враховувати щільну забудову, повітряні коридори, безпеку людей, а також дотримання норм приватності. Не менш важливим є питання безпеки: як технічної (уникнення зіткнень з перешкодами, іншими БПЛА, людьми чи тваринами), так і кібербезпеки, зокрема захист від перехоплення сигналів управління або спроб зовнішнього втручання. Використання штучного інтелекту й сенсорів частково компенсує ці ризики, однак повноцінна безпечна інтеграція дронів у логістичну систему потребує подальших досліджень, розробки нормативно-правової бази та технічного вдосконалення.

УДК: 621.9:620.17

ОЦІНКА МЕХАНІЗМУ ЗМІЦНЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН КОМБІНОВАНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ ПОВЕРХНЕВОЇ ОБРОБКИ ЗА ТВЕРДІСТЮ

Є.В. Манько, *асп,*
В.В. Аулін, *проф., д-р техн. наук*
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

В роботі розглядається механізм зміцнення матеріалів деталей машин і робочих органів. Комбінована технологія обробки робочих поверхонь включає:

– лазерне легування поверхні армко-заліза одним із нітридоутворюючих елементів (V, Cr, Mo, Al);

– азотування, шляхом регулювання температури та тривалості якого досягається отримання в азотованому шарі однофазної структури α -твердого розчину легованого азотом без включень частинок нітридів Після азотування додатково підвищується мікротвердість зони лазерного легування (до 12:16 ГПа) за рахунок механізму твердорозчинного зміцнення азотом;

– старіння з метою виділення в твердому розчині дисперсних частинок нітридів відповідного легуючого елемента різного ступеня когерентності, що залежить від температури старіння. Максимальна твердість, що досягається в зміцненій зоні після старіння, складає 16…21 ГПа, приріст твердості спричинено дією механізму дисперсійного зміцнення нітридними фазами.

Висока твердість метала після комбінованої обробки обумовлена спільною дією наступних зміцнюючих механізмів:

$$\sigma_T = \sigma_0 + \Delta\sigma_д + \Delta\sigma_з + \Delta\sigma_{т.р..ЛЕ} + \Delta\sigma_{т.р..N} + \Delta\sigma_{д.з}^{MeN} \quad (1)$$

де σ_0 – напруження тертя кристалічної гратки;

$\Delta\sigma_д$ – приріст границі плинності за рахунок дислокацій деформаційного зміцнення;

$\Delta\sigma_з$ – приріст границі плинності за рахунок зернограничного тертя;

$\Delta\sigma_{т.р..ЛЕ}$ – приріст границі текучості за рахунок твердорозчиного зміцнення з легуючим елементом;

$\Delta\sigma_{т.р..N}$ – приріст границі текучості за рахунок твердорозчиного зміцнення матриці;

$\Delta\sigma_{д.з}^{MeN}$ – приріст границі текучості за рахунок дисперсійного зміцнення.

Проведено розрахунки, складено алгоритм та підібрано програмне забезпечення для заліза, легованого при лазерному нагріванні одним із нітридоутворюючих елементів ванадієм (17%), хромом (15%), молібденом (8%). Розроблена і подана схема розрахунку дозволяє прогнозувати твердість зміцнених зон для формування регульованої структури з виділенням дисперсних нітридних частинок різного ступеня когерентності. Виявлено, що сумарна твердість враховує механізми дислокаційного, зернограничного, твердорозчинного зміцнення легуючими елементами та азотом, а також дисперсійного зміцнення за моделлю Мотта-Набарро. Розрахункове значення твердості відповідає експериментальній твердості сплавів після лазерного легування, азотування та низькотемпературного старіння з виділенням когерентних частинок. Розрахунки з використанням виразу Орована для

дисперсійного зміцнення зіставляли з експериментальною твердістю сплавів після лазерного легування, азотування та високотемпературного старіння із заснуванням некогерентних частинок певного розміру.

Порівняння розрахункової та експериментальної твердості, представлене показує, що найбільше узгоджуються результати розрахунку і експерименту для сплавів Fe-Cr. Трохи нижче експериментальних виявилися значення розрахункової твердості для сплавів Fe-V, що можливо пояснити неврахованим внеском при розрахунку субструктурного зміцнення, оскільки після такої обробки ймовірне збереження в зоні лазерного легування осередкової субструктури. Розрахунок для сплаву Fe-Mo дає дуже занижені значення твердості в порівнянні з експериментом.

Виявлено, що додаткове зміцнення, що викликає приріст експериментальної твердості, може бути тісно пов'язане з утворенням в зоні лазерного легування дисперсних інтерметалідних фаз Fe_2-Mo_6, які в ряді випадків були виявлені ретгеноструктурним аналізом.

Оцінювання вкладу кожного із механізмів в сумарне зміцнення показує, що частка твердорозчинного зміцнення легуючим елементом дуже незначна, вона практично дорівнює нулю для сплавів Fe-V і Fe-Mo, а для сплавів Fe-Cr складає 3…5%.

Частка зернограничного зміцнення вагоміша в сплавах Fe_2-Mo_6 (7....10%) порівняно з іншими сплавами, що пояснюється більш дрібнозернистою структурою збереження після азотування зон лазерного легування усіма елементами суттєво зменшується після азотування в порівнянні із зміцненням відразу після лазерного легування до 1...3% при легуванні V і Cr, і до 4...6% при легуванні Mo. Виявлено, що найбільш істотний внесок вносять два механізми зміцнення: твердорозчинний азотом і дисперсійний частинками нітридів легуючих елементів.

При виділенні когерентних нітридних частинок в зоні лазерного легування основним зміцнюючим механізмом для всіх сплавів є механізм дисперсійного зміцнення. Причому частка цього зміцнення тим більша, чим вища термодинамічна стабільність нітриду (в ряду $(Mo_2N \rightarrow Cr_2N \rightarrow VN)$. При зміцненні нітридами ванадія ця частка досягає 83%. Якщо утворюються некогерентні нітриди, то частка дисперсійного зміцнення знижується, проте для сплавів Fe-V і Fe-Mo цей механізм зміцнення залишається основним.

В той час значною є доля механізму твердорозчинного зміцнення в загальному зміцненні. Особливо істотна роль цього механізму спостерігається в сплавах Fe-Cr, що пояснюється сильним впливом хрому на підвищення розчинності азоту в фериті.

Таким чином розрахунки і експериментальні результати показують, що рівень дисперсійного зміцнення феритної матриці при утворенні когерентних нітридних частинок істотно вище, ніж при утворенні некогерентних частинок. Для досягнення максимального рівня зміцнення потрібно забезпечити формування оптимальної структури, що в свою чергу, можливо регулювати шляхом оптимізації параметрів комбінованої обробки на кожній її стадії. Розроблена схема розрахунку може бути передумовою розробки регульованої технології комбінованого поверхневого зміцнення робочих поверхонь деталей машин і робочих органів.

UDC: 629.114.6:004.89

CURRENT STATE OF THE TECHNICAL SERVICE SYSTEM FOR FREIGHT VEHICLES AND ITS IMPROVEMENT BASED ON A CYBER-PHYSICAL APPROACH

T.M. Nadych, *Postgraduate Student,*
V.V. Aulin, *Prof., Dr. Tech. Sci,*
A.V. Hrynkiv, *Senior Researcher, PhD tech. sci*
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Technical service is the main type of production maintenance. The performance level of technical service enterprises significantly affects the efficiency of freight vehicle (FV) utilization. In domestic practice, this activity has developed in the form of in-house maintenance by repair and technical units, as well as specialized service companies.

Technical maintenance (TM) of freight vehicles is carried out at complex motor transport enterprises (MTEs) or at specialized service and repair enterprises such as service stations (SS), repair workshops, and centralized TM bases. Considering modern features, development prospects, and requirements for FV maintenance, an organizational structure of technical service has been formed.

TM belongs to the most labor-intensive types of work to maintain vehicle operability, and the quality of its implementation determines reliability, durability, and performance. The share of drivers' participation in maintenance work has increased in recent years from 25% to 85%, since about 50% of the servicing capacities of repair and technical enterprises have been commercialized and changed their specialization.

To ensure high-performance and high-quality operation of FVs, drivers must spend 1 to 1.5 hours daily on TM and about 1 hour on adjustments and technological tuning, totaling 2 to 2.5 hours per shift. To increase net working time, drivers reduce preparation time for vehicles, which results in decreased operational efficiency.

It has been determined that downtime of FVs due to technical reasons accounts for 25–30% of the total working time. As a result, the technical readiness of vehicles decreases to 60–70%, and maintenance costs exceed manufacturing costs.

Under modern conditions, maintaining vehicle operability is a priority task: to a large extent, operability depends on the forms and methods of organizing technical service.

Motor transport enterprises form a subsystem of technical service on a national scale. They organize dealer service points for this purpose. These points receive necessary assistance: staff training, technical reference materials, and even supply of equipment for maintenance work. TM by dealers is performed free of charge only during the warranty period and provided that no other materials not manufactured by the company are used. After the warranty period, vehicle maintenance is carried out by the enterprises themselves or technical service companies.

Regarding vehicle technical service, it should be noted that over the past decade it has not developed as required by the interests of the state and scientific and technological progress. The current state of FV TM remains unsatisfactory. Today, improving TM by expanding the number of service stations, machine and technology stations (MTS), and specialized repair enterprises is no longer relevant. Therefore, modernization of FV TM is seen in improving this system.

In this regard, one of the main directions on which all TM enterprises and departments should focus is the organization of maintenance for the secondary vehicle market.

The main goal of reforming the technical service system is to ensure high quality of TM services for FVs. The quality of work performed by service companies depends on the enterprise's technological equipment, the qualification and professional skills of personnel, the quality of spare

parts used, the level of work process organization, and regulatory and documentation support for TM and technical diagnostics (TD) operations.

It has been determined that the contribution of the FV TM system to the efficiency of vehicle technical operation is up to 25%. According to research results, with rational implementation of TM technological processes, TM and TD time is reduced by 8–12%, vehicle mileage increases by 20–28%, and productivity rises by 34–46%.

UDC: 629.114.6:004.89

SOFTWARE PRODUCT ARENA FOR SIMULATION MODELING OF SERVICE PROVISION BY TECHNICAL SERVICE ENTERPRISES

A.A. Serhiichuk, *Postgraduate Student,*
V.V. Aulin, *Prof., Dr. Tech. Sci,*
A.V. Hrynkiv, *Senior Researcher, PhD tech. sci,*
A.V. Serhiichuk, *Head of the Testing Laboratory*
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Arena, a software product developed by Systems Modeling Corporation (USA) for simulation modeling, enables the creation of dynamic computer models that can accurately represent many real-world systems. The first version of the system was developed in 1993. Arena features a user-friendly object-oriented interface and provides remarkable adaptability to various application domains. The system does not require programming code and is simple to use, though it demands significant time to master and a deep understanding of probability theory, mathematical statistics, queuing theory, and Petri nets.

To display simulation results, the Cinema Animation system is used. The Arena interface includes tools for data management, such as spreadsheets, databases, ODBC, OLE, and DXF format support. The Arena simulation modeling system includes:

– a two-dimensional graphic editor;

– a three-dimensional graphic editor (3D Player package);

– editors for time templates and schedules;

– a symbol editor and a library of graphical templates;

– integration with the graphics template library and Microsoft clipboard.

The application areas of the Arena simulation modeling system include:

– customer service operations, management of internal business processes such as order fulfillment, service, or control of simple production flows;

– complex large-scale projects with high sensitivity to changes in supply chain management, production processes, logistics, distribution, warehousing, and service systems. It allows creating specialized templates for repetitive complex logic, simplifying processes and reducing model development time;

– operational and strategic issues in the development of packaging lines, such as investment in new equipment, design of sensitive logic and conveyor handling, as well as industrial processes of large-scale production in hybrid discrete-continuous systems;

– development of customer service strategies, such as transitioning to new call-processing scenarios, virtual help desks, call forwarding based on practical experience, and modeling workforce management;

– operational and strategic issues related to packaging line development, for example, investments in new equipment, sensitive logic development, and conveyor operations;

– strategies for customer service development, such as switching to electronic contact forms, virtual call-processing centers, call forwarding based on best practices, and personnel modeling;

– an effective post-processing tool that provides the ability to create and view 3D animations of existing Arena models;

– an optimization tool specifically designed and configured to analyze simulation results obtained using the Arena package;

– sharing Arena models for viewing and conducting experiments.

Arena supports discrete, continuous, and hybrid discrete-continuous modeling. The software supports interaction with Microsoft VBA (Visual Basic for Applications); the ActiveX object model

for external control; access via ADO/ODBC to databases (Oracle, Access, Excel, SQL); importing files from AutoCAD (in DXF format); importing data from Visio and Blue Pumpkin Workforce packages; and inter-process communication. Arena includes tutorials, a SMART library (depending on version), electronic manuals, integrated help systems, and web-based knowledge bases.

When modeling processes and systems in Arena, three main panels are used:

1. Basic Process Panel – This panel contains the fundamental modules for model creation. Objects of this panel consist of graphical modules: Create, Dispose, Process, Decide, Separate, Batch, Assign, Record, and data modules: Entity, Resource, Queue, Variable, Schedule, Set.

2. Advanced Process Panel – This panel allows modeling more complex processes. While Basic Process Panel modules may include multiple internal properties, in Advanced Process these characteristics are represented as independent graphical modules. The panel consists of 13 flowchart modules (Delay, Dropoff, Hold, Match, Pickup, ReadWrite, Release, Remove, Seize, Search, Signal, Store, Unstore) and 7 data modules (Advanced Set Module, Expression, Failure, File, StateSet, Statistic, Storage).

3. Advanced Transfer Panel – This panel contains modules for transfer and movement processes, including 17 graphical modules (Enter Module, Leave Module, Pick Station, Route, Station; Access, Convey, Exit, Start, Stop; Activate, Allocate, Free, Halt, Move, Request, Transport) and 5 data modules (Sequence, Conveyor, Segment, Transporter, Distance).

Thus, the Arena software product can be effectively used for simulation modeling and for improving service provision processes by technical service enterprises.

UDC: 631.354:631.5

THE ROLE OF TRANSPORT IN CROP PRODUCTION TECHNOLOGIES

A.M. Zaitsev, *Postgraduate Student,*
V.V. Aulin, *Prof., Dr. Tech. Sci,*
S.V. Lysenko, *Assoc. Prof, PhD tech. sci.,*
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine
V.Z. Hud, *Prof., Dr. Tech. Sci*
Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

The agricultural sector requires one of the largest transport and logistics systems, as it ranks second in terms of freight volume in Ukraine. At the same time, the agrarian sector differs from others due to the specificity of its cargo, primarily because it includes biological objects and materials. These require special parameters for transport vehicles (TV), which often do not correspond to established standard solutions, especially when transport vehicles are used within the technological process of agricultural production, i.e., when transport and logistics costs are included in the cost of agricultural products.

Despite the significant share of transportation costs in the technological process of production, these technological operations do not receive sufficient attention in the practice of machine and technological modernization of the industry. They are usually not mentioned in the description of agrotechnologies, although the improvement of technological policy in the food complex is considered at various levels of agribusiness management as a strategic course of its development and as the basis for ensuring the competitiveness of the industry. An official state register of crop production technologies has been approved and is in force. In the production of crop products, for example, four groups of technologies (taking into account their level of intensity) are recommended and applied, the parameters of which (agrotechnical, technical, human resource, economic, etc.) are shown in Table 1.

Table 1 – Key Indicators and Parameters by Technology Types

Serial no.	Key Indicators	Technology Types and Their Parameters by Knowledge Utilization			
		extensive	normal	intensive	high
1.	Varieties	tolerant	adaptable	intensive	with specified parameters
2.	Soil and Landscape Conditions	various complexity, “folk” information	moderately complex	KU > 0.6, flat and striped; current stage – limited	U > 0.8, flat and uniform; current stage – technology design based on GIS
3.	Fertilizers	practically absent	starting doses	programmed	informational, by crop phases

Continuation of Table 1

Serial no.	Varieties	tolerant	adaptable	intensive	with specified parameters
4.	Plant Protection	passive or absent	episodic	integrated, at threshold of harmfulness	combined, biological and chemical
5.	Soil Tillage System	system of furrow plowing	soil protection	differentiated, minimal, including zero tillage	optimized by design
6.	Product Quality	undefined, depending on weather conditions	unstable, satisfactory, poorly controlled	meets market conditions, conditionally controlled	balanced by components, fully controlled
7.	Land Assessment Basis	soil maps 1:25000	soil maps 1:10000	soil and landscape maps	geo-information systems (GIS)
8.	Environmental Risk	active soil degradation	local soil degradation	risk of contamination	minimal risk, controlled
9.	Machinery	generation I–II	generation III	generation IV, multifunctional, highly energy-intensive	adaptive, information-oriented based on satellite monitoring
10.	Transport Logistics	generation I–II	generation III	generation IV, highly energy-intensive with variable chassis use, accumulators, and multi-lifts	adaptive, integrated with navigation and satellite systems
11.	Machine Utilization	unmanaged, depends on operator skills	according to technological maps under agronomist control	large-scale, according to operational technologies	aggregate operation controlled according to crop and soil requirements
12.	Personnel Training: Operators	traditional training, including in-house	basic training through professional education	at least 5 years of experience, certification	high-class operator with internship in base farm

Continuation of Table 1

Serial no.	Varieties	tolerant	adaptable	intensive	with specified parameters
12.	Specialists (Agronomy, Engineering, Technology Managers)	basic training under programs of HEIs, colleges	same as previous column	training under new HEI programs with certification	raining under new programs + one-year agro-internship domestically or abroad with appropriate certificate
13.	Economic Performance	dependence on climate conditions and market, unstable profitability +/-	profitability determined by quality of management and production costs	stable profitability at the level of self-sustaining development	same, with access to foreign markets
14.	Investment Relations	established credit dependence, including seasonal	need for investment in unfavorable years and new projects	economic self-sufficiency, investment in large projects	self-sufficient development with stabilization fund, possibility of investing in external projects
15.	Agribusiness Relations	high-risk	medium-risk, stable profitability with high labor productivity >300 ha per operator	low-risk business	high-rating business
16.	Relations with Production and Technology Services	high need for services, payment risk, cooperation for service formation	main consumer of auxiliary or cooperative enterprise services	need for project-consulting services	interaction with research institutions and HEIs for knowledge development, staff training

Note: KZ – moisture coefficient, EAA – elementary area of agro-landscape, GK – soil complex

It should be noted that the known parameters of crop production technologies (biological, technical, human resource, economic, etc.) need to be complemented with transport logistics.

The distinctive features of the technologies currently in use and those recommended for implementation are as follows:

Normal technologies allow the realization of the potential capabilities of domestic crop varieties and livestock breeds at 30–40% and are designed for zones with low landscape potential. In this case, it is primarily necessary to adopt resource-saving technological processes (soil-protective techniques – minimum and zero tillage, combination of technological operations; initial doses of fertilizers applied simultaneously with sowing, crop treatment during mass infections). This significantly reduces labor and fuel costs and maintains production profitability. Many farms in this group can later adopt technologies of a higher intensity level.

Intensive technologies are intended for deeper knowledge application and require the involvement of mineral fertilizers up to 150 kg of active ingredient per hectare or more, limited use of plant protection products against diseases, pests, and weeds depending on the threshold of their harmfulness, and differentiated application of preparations at various growth stages. This type of technology is designed for landscapes favorable in terms of moisture conditions.

Recently, science and advanced practices have been developing and implementing high technologies for agricultural production aimed at precision control of crop formation processes, harvesting, and storage using satellite monitoring based on global navigation systems.

Unfortunately, when describing the technological base of crop production, as noted earlier, the specific features of transport processes depending on the level of production intensity have not yet been indicated.

Based on the proposed principles of technology development, it is possible to preliminarily define the distinctive features of transport vehicles (TVs) in agrotechnologies of varying intensity:

In extensive agrotechnologies, outdated transport vehicles are used – trucks manufactured by GAZ and ZIL plants, tractor-based vehicles developed in the 1960–1970s, with a carrying capacity of 3–5 tons.

In normal agrotechnologies, the above-mentioned vehicles fit better, as well as trucks with higher carrying capacity when used in group operation methods.

For intensive agrotechnologies, fourth-generation transport vehicles are required – trucks and tractor trailers with increased load capacity and higher operational and technical parameters. High technological results from these vehicles can generally be achieved under group operation methods based on transshipment transport technologies.

High-level agrotechnologies, designed for GIS use, require the adoption of these principles in technological transport as well. Such systems have been developed and are being used by advanced transport companies, and are associated with vehicle management through navigation systems – the American GPS (global positioning system) – global automated satellite navigation systems.

In fourth-generation transport equipment, as expected for high-level agrotechnologies, modern achievements in information technology based on satellite monitoring should be applied. With the help of new domestic satellite navigation systems, it will be possible to manage the transportation of agricultural products more efficiently within the unified process of its production.

More accurately and precisely, the task of optimizing the transport system should be solved by finding a combination of transport vehicles, time, and distance required to deliver products while minimizing costs. Typical transport analysis issues include:

How should shipments be grouped to establish shuttle transportation along complex, sometimes off-road routes?

What is the best sequence for servicing consumers and the optimal delivery frequency?

Which routes should be assigned to specific types of transport vehicles?

Which types of transport vehicles are most suitable for servicing particular categories of consumers?

What delivery time requirements will consumers impose?

Finding answers to these questions is carried out using geographic information managed by a satellite navigation system, although with varying degrees and frequency of use. Transportation analysis methods are generally classified as heuristic, exact mathematical, interactive, and combined.

Three groups of data are required for transportation analysis:

– transport network layout, or more precisely, the directions of movement (crop rotation map – inter-field boundaries), since agricultural enterprises practically lack a developed field transport network;

– data on shipment and delivery demand;

– operational performance indicators.

The transport network layout reflects all possible routes and serves as the basis for any transport analysis. It includes all links and nodes, road lengths, transit times, and various restrictions, such as weight limits. Transport layouts detailed to the level of individual route sections are especially important in cases where natural obstacles are encountered. Another approach is to plot the location of all clients on a coordinate grid and indicate direct route connections with them. Geographic latitude and longitude are most often used as coordinates. The coordinate transport layout is generally less expensive but also less accurate and does not account for natural obstacles in the terrain.

Data on shipment and delivery demand characterize the periodic need of customers for product supply. For strategic or long-term analysis, demand is expressed as the average volume of periodic shipments or deliveries per customer. Then, based on the average demand, routes are established with adjustments for capacity during peak demand periods. For operational analysis purposes, demand is usually expressed by the number of orders scheduled for delivery to consumers during the planning period.

Operational performance characteristics include: the number of vehicles, capacity limitations, rules for organizing drivers' work, and operating costs. Satellite navigation makes it possible to model transport processes in agricultural technologies more accurately.

Thus, the main goal of solving the tasks of technological and technical modernization of the sector is to increase labor productivity in the production of agricultural products and, on this basis, to ensure its competitiveness.

UDC: 629.114.6:658.7

JUSTIFICATION OF THE RATIONAL PLACEMENT AND OPERATION OF THE DEALER SERVICE SYSTEM

O.M. Tertytsia, *Postgraduate Student,*
V.V. Aulin, *Prof., Dr. Tech. Sci,*
A.V. Hrynkiv, *Senior Researcher, PhD tech. sci,*
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine
I.B. Hevko, *Prof., Dr. Tech. Sci*
Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

High-quality and timely maintenance (M) and repair (R) of equipment determine the efficiency of enterprise operations. The current fleet of machinery in Ukraine is diverse.

A decline in the engineering support of enterprises is observed. Some repair and technical enterprises are changing their line of activity, with only 11% of companies retaining repair and technological equipment and personnel. The repair and maintenance work performed by these enterprises is low-profit and, in most cases, unprofitable.

An analysis of the cost structure of repair work shows that a significant share of total expenses consists of spare parts (SP) (from 61% to 86.8%). Overhead costs range from 17.5% to 5.5% of total expenses. The analysis indicates that recently the main scope of work to ensure machinery operability has shifted directly to producers and is mostly reduced to replacing parts and some simple components, which leads to increased production costs.

Currently, the supply of services significantly exceeds demand. There is a need for state regulation of relations in the field of production and technical services to stimulate the formation of a market system for production and technical services in accordance with current legislation. It is necessary to develop a technical service system that combines branded service and regional business service, which differs from the existing system of directive management.

The experience of many foreign countries with developed market economies shows that the most rational form of organizing maintenance and repair (M&R) of machinery on farms is the dealer system. In this case, as research has shown, a single-level marketing channel is used, which reduces the number of intermediaries between the manufacturer and the agricultural producer and makes supply more efficient. Technical service enterprises in this system solve tasks of marketing, leasing, etc.

A dealer is a legal or natural person that performs intermediary functions for the manufacturer in the sale of technical products, providing pre-sale preparation, carrying out or organizing maintenance and repair of equipment at the consumer’s request throughout its entire service life, and selling necessary consumables.

A consumer is a legal or natural person engaged in production, storage, and processing of products who orders services, purchases, and uses technical means, spare parts, and materials.

The effectiveness of a dealer enterprise is focused on ensuring the uninterrupted implementation of technologies by producers through quality maintenance and repair of equipment during the off-season. Prompt elimination of failures during warranty and post-warranty periods, within the regulatory downtime limits, determines the need for substantiating the placement and operation of the dealer enterprise's service center system.

The dealer enterprise placement system is a set of technical centers that interact with the dealer and with each other based on relevant agreements, located throughout the region according to certain rules, forming a zone served by the dealer.

The dealer service zone is a set of territorially limited areas served by technical centers.

A technical center service zone refers to a territory that includes a certain number of technical service consumers, with boundaries limited by the technical and financial capabilities of the enterprise.

According to the modern concept of technical service development in the agro-industrial complex, on the basis of specialized repair and technological enterprises (RTE) under agreements with manufacturers, technical centers have already been partially created. They provide equipment sales to consumers, perform technical service, pre-sale preparation, maintenance during warranty and post-warranty periods, supply spare parts and repair materials, restore worn parts and manufacture missing ones, assemble, repair, and sell used machinery, train personnel, distribute best practices, scientific and technical achievements, and conduct marketing research. This is the main range of work performed by the best dealer enterprises abroad.

However, in Ukraine, full-fledged agricultural machinery dealers are practically absent at present, in part due to the unreasonable remoteness of the dealer enterprise from the agricultural producer. The issue of the dealer point's service zone has not been fully studied. Only certain aspects of the placement of technical service centers have been considered, taking into account the existing repair and technological base (RTB). At the same time, more attention was paid not so much to the formation of the service area of the center as to the selection of a construction site for the repair center, calculation of distances for delivery of repair objects, and determination of a rational organizational form. Domestic and foreign experience shows that the dealer's service system for agricultural machinery should be located closer to the producer.

УДК: 629.114.6:004.021

ОЦІНКА АДЕКВАТНОСТІ РОЗРОБЛЕНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ІННОВАЦІЙНОЇ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ ПАРКІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Д.П. Косякевич, *асп,*
С.В. Лисенко, *доц., д-р техн. наук,*
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
А.Б. Гупка, *доц, канд. техн. наук*
Тернопільский національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна

Оцінка адекватності розроблених математичних моделей об'єктно орієнтованої системи технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) парку ТЗ здійснювалася за збіжністю розрахункових значень періодичності ТО, отриманих за розробленими методиками.

В якості порівняльної методики була прийнята методика, що дозволяє визначати періодичність ТО ТЗ з урахуванням швидкості зношування основних елементів машин. Адекватність запропонованої методики визначення періодичності ремонтно-обслуговуючих та контрольно-діагностичних впливів оцінювалася за збіжністю результатів чисельного експерименту з даними розрахунку з урахуванням швидкості зношування основних елементів машини за методикою:

$$t_{об} = \left(\frac{U_n}{aN_1} \right)^{1/\alpha}, \quad (1)$$

де U_n - граничний рівень діагностичного параметра, зокрема граничне знос складальної одиниці ТЗ, визначений за критерієм неможливості подальшої експлуатації;

a- числова характеристика складальної одиниці, що характеризує економічну складову;

N_1- число ТО з пропонованої періодичністю ;

α - коефіцієнт, що враховує зміну періодичності профілактичного технічного впливу.

Оскільки з розрахунку порівнюється періодичність виконання ТО для аналізованого модуля ТЗ, для яких періодичність ТО-1 становить 100 мото-год., то, порівняно з планово-запобіжною системою ТО і Р, величина α становить 60/100 = 0,6:

$$N_1 = \frac{w \cdot C_1 \cdot \alpha}{M \cdot C_2}, \quad (2)$$

де *w* - число відмов за період *t* (*t* = 6000 мото-год); *w* = 4;

C_1 - загальна вартість ремонту елемента ТЗ або складальної одиниці.

$$C_1 = (C_0 + C_p(w-1)) / w, \quad (3)$$

C_0 – вартість нової складальної одиниці; приймаємо C_0 = 3780 грн.;

C_p - вартість капітального ремонту складальної одиниці; приймаємо рівною C_p = 1890 грн.

C_2 - вартість одного технічного обслуговування ТО-1;

M - коефіцієнт, що враховує зниження напрацювання складальної одиниці між черговими відмовами:

$$M = 1 + K(w-1), \quad (4)$$

де K - поправочний коефіцієнт, що враховує зниження напрацювання на відмову під час впровадження об'єктно-орієнтованої системи ТО і Р.

Приймаємо, що збільшення середнього напрацювання на відмову при регламентованому технічному діагностуванні складе 25-30 % (за результатами експертної оцінки).

За даними залучених експертів періодичність аналізованого модуля ТЗ, котрим було надано відомості про середні значення напрацювання на відмову, тобто, для ТЗ із загальним напрацюванням 6-10 тис. мото-год. періодичність проведення планових впливів ТО-1 складає в середньому 95-105 мото-год.

Враховуючи, що частина розрахункових параметрів приймалася також за даними експертної оцінки на підставі практичного досвіду експлуатації парків транспортних засобів (ТЗ), приймаємо, що збіжність розрахункових значень періодичності профілактичного ТО за розробленою методикою, становить 5-7 %. Важливим показником в умовах конкуренції з виконання робіт, пов'язаних з використанням ТЗ, є трудомісткість щодо забезпечення їх працездатності. Тому виконано оцінку зниження трудомісткості виконання технічних впливів по запропонованій інноваційній об'єктно-орієнтованій системі порівняно з офіційною ПЗС.

Існує підхід до оцінки трудомісткості виконання ремонтних операцій з ТЗ на основі використання статистичних регресійних залежностей. Однак він досить складний у застосуванні. Зниження трудомісткості визначили на основі експрес-оцінки трудомісткості виконання технічних впливів за формулою:

$$K_{сн} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Tp_i^{ООС}}{\sum_{i=1}^{n} Tp_i^{ПЗС}}, \quad (5)$$

де $\sum_{i=1}^{n} Tp_i^{ООС}$ і $\sum_{i=1}^{n} Tp_i^{ПЗС}$ - сумарна трудомісткість ТО і Р відповідно до запропонованої інноваційної об'єктно-орієнтованої системи та ПЗС відповідно.

Враховуючи, що сезонне обслуговування виконується як по першій, так і по другій системах двічі на рік, а ТО-3 поєднується з найближчим поточним ремонтом, трудомісткість цих технічних впливів у розрахунках не враховується.

Для прикладу, що розглядається, при значеннях періодичності технічних впливів: за ПЗС і за пропонованою інноваційною системою ТО і Р з урахуванням виконання двох діагностичних перевірок тривалістю по 0,5 год трудоємність $\sum_{i=1}^{n} Tp_i^{ООС}$ складає 2440 люд./год., а $\sum_{i=1}^{n} Tp_i^{ПЗС}$ - 3072 люд./год. Тоді $К_{тр}$ = 2440/3072 = 0,80.

Звідси зниження трудомісткості ТО і Р для аналізованого модуля ТЗ складе близько 20%. Однак, як випливає з аналізу парків машин двох управлінь механізації, де основна частина засобів мають загальне напрацювання 10-20 тис. мото-год. Крім того, загалом парк ТЗ має знос понад 60 %. На підставі цього при впровадженні інноваційної об'єктно-орієнтованої системи ТО і Р буде нижче і може становити в середньому 12-15%.

Таким чином, приймаємо, що впровадження об'єктно-орієнтованої системи ТО і Р ТЗ сприятиме зниженню трудомісткості ТО за рахунок управління технічним станом машин 12-15 %.

UDC: 629.114.6:621.43:519.863

FUNDAMENTALS OF FORMING AND SELECTING THE OPTIMAL REPLACEMENT INTERVAL FOR WORN-OUT COMPONENTS OF MINING TRUCK ENGINES

S.V. Kharchenko, *Porstgraduate Student,*
S.V. Lysenko, *Assoc. Prof, PhD tech. sci.,*
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine
D.V. Myronov, *Assoc. Prof, PhD tech. sci*
Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

Restoring the operational reliability of mining truck engines through the replacement of worn components is currently considered one of the most promising approaches. However, effective implementation of this method requires the development of scientific, methodological, and organizational-technical solutions that take into account the specific design characteristics of engines and their operating conditions.

Among the wide range of issues related to maintenance organization, a critical task is to determine the optimal structure and replacement intervals for worn components. This is a highly complex scientific, technical, and techno-economic process.

A key feature of techno-economic problems, including the development of an optimal structure and scheduling for engine maintenance, lies in finding a truly optimal solution. From the perspective of maintenance organization, replacement of worn engine components can be performed either upon the failure of each individual part or through the simultaneous replacement of specific groups of components.

Practice shows that replacing individual engine components after failure is economically unjustified, as it leads to frequent disassembly, prolonged downtime during maintenance, and, consequently, higher costs and losses.

Conversely, simultaneous replacement of groups of components before major maintenance creates a dual effect. On the one hand, it reduces labor intensity and overall maintenance duration, as well as minimizes losses associated with the break-in period of engine components. On the other hand, replacing components with varying lifespans simultaneously results in losses due to the underutilization of the remaining resource of prematurely replaced components.

The optimal system is considered one that ensures minimum overall costs and losses associated with simultaneous replacement of component groups.

To determine the optimal approach for restoring engine serviceability, it is essential to integrate data on cost and revenue functions with information about the service life of engine components.

The optimization methods reviewed in Chapter I have a number of significant limitations. Therefore, their application to mining truck engines requires further research. This study aims to justify an optimization method that combines formal and heuristic approaches, ensuring both theoretical rigor and practical applicability in developing an optimal maintenance structure for mining truck engines, considering their design and specific operating conditions.

To establish and select the optimal maintenance structure and replacement schedule for engines, the following steps are necessary:

1. Develop a target function for determining the optimal structure and replacement schedule of worn engine components.

2. Analyze the behavior of components included in the optimization target function, such as specific revenue losses, specific costs of replacing worn components, losses due to underutilized

component life, and losses associated with additional disassembly-reassembly operations and break-in periods during maintenance.

3. Design a flowchart and algorithm for optimizing the target function and selecting the maintenance strategy for the engine.

4. Provide a mathematical description of changes in operating costs for the considered alternatives.

Justify the necessary constraints and maintainability indicators for the analyzed options and determine the optimal maintenance structure and replacement intervals for worn engine components.

UDC: 629.114.6:62-192:519.24

IDENTIFICATION AND ANALYSIS OF FAILURE STATISTICS FOR COMPONENTS, ASSEMBLIES, AND UNITS OF RENAULT GROUP LIGHT COMMERCIAL VEHICLES

S.Yu. Tyschenko, *Postgraduate Student,*
V.V. Aulin, *Prof., Dr. Tech. Sci,*
A.V. Hrynkiv, *Senior Researcher, PhD tech. sci,*
I.B. Hevko, *Prof., Dr. Tech. Sci*
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

The identification of components, assemblies, and units that limit the operational capability of Renault Group vehicles was carried out on Renault Dokker, Renault Express, and Renault Master models.

It was determined that the list of components, assemblies, and units of light commercial vehicles that restrict overall operability is formed based on a comprehensive assessment of the following criteria:

– the number of typical failures per unit of mileage for each vehicle model;

– the degree of influence of typical failures on the overall operability of the vehicles;

– the ratio between the cost of component replacement and the mean time to failure (MTTF) for a given type of failure.

To obtain the most reliable results, it was decided to collect real operational data from the Renault brand dealer service network through an experimental study. As a result of collecting statistical data and forming a database of failures occurring during operation, data on average MTTF, the coefficient of variation, and other parameters were obtained. This enabled the development of a failure classification for vehicles of this brand and the determination of indicators for their operational reliability. The analysis of the experimental data also allows for the calculation of integral and differential functions of time-to-failure.

The determination of operational performance indicators for light commercial vehicles within the dealer service network was based on the method of successive preferences. Additionally, a methodology was applied to identify critical components of light commercial vehicles according to reliability parameters.

At the current stage, it is necessary to determine the degree of influence of a typical failure Qj on the overall operability of the vehicles. For this purpose, classification data, maintenance and operational experience, and repair information for assemblies and units were analyzed. The degree of influence of a typical failure can be classified into one of three levels:

– level Q1: failure of a component that makes further vehicle operation impossible, i.e., the component reaches a critical or faulty state;

– level Q2: failure of a component that significantly reduces the technical condition of the vehicle, requiring repair, and results in the vehicle being classified as faulty;

– level Q3: failure of a component that slightly deviates from reference technical conditions and requires long-term repair, meaning the failure can be considered non-critical.

The process of vehicle operation and its efficiency is closely related to a comprehensive approach to material and technical support (MTS), including planning supply volumes and managing spare parts inventory across the entire chain—from the distribution network to the dealer service network.

Based on the experience of the domestic automotive market for foreign-made vehicles and the high growth rates of this segment, a characteristic feature can be observed: a limited range of parts, components, and assemblies (spare parts) that account for the largest share of total spare parts consumption, including those for passenger vehicles under warranty mileage. Timely measures to ensure the required level of vehicle operability can be achieved through optimizing the organization of spare parts supply and planning demand and supply volumes within the conditions of service stations (STOs) operating in the dealer network.

In this regard, experimental research was aimed at structuring and organizing the necessary information, identifying processing methods, and applying them to predict the demand for vehicle components, considering their distribution in the area of business activity and the functioning of inventory management systems at technical service enterprises.

Solving this problem required an experimental approach focused on:

– applying a statistical approach to obtain reliability characteristics of vehicle components during operation, as well as absolute and specific costs for spare parts in restoring operability;

– identifying patterns of component failure distribution and forming the primary functions of failure flows;

– assessing the significance of component failures on the overall operability level of vehicles;

– identifying the range of components (spare parts) that limit vehicle operability.

The vehicles serviced at dealer centers operated under suburban and intensive urban traffic conditions.

The experimental data collection period lasted 2 years (including all seasons, from 2022 to 2024). The study involved 500 Renault brand vehicles, including Renault Dokker, Renault Express, and Renault Master.

The structure and designations of Renault commercial vehicle components subject to operational reliability assessment were compiled into a table. The nomenclature of components was determined based on operating conditions and intensity, as well as failure patterns and failure flow data obtained from the information database.

Failures and malfunctions were classified according to key principles to ensure a qualitative assessment of the reliability of vehicle assemblies and units.

Classification features, considering the specifics of failures and malfunctions and their examples, were recorded in the relevant tables.

The following results were obtained:

1. Statistical characteristics of the operational reliability of passenger car components were determined (mean time to failure and standard deviation estimates), along with absolute and specific costs for spare parts in restoring operability.

2. Failure distribution patterns of components were identified, and the primary functions of failure flows were established.

3. The significance of the impact of component failures on vehicle operability was assessed.

4. The nomenclature of components critical to vehicle operability was defined.

The collected observation data were categorized according to organizational and local attributes, taking into account the experience and qualifications of service station (STO) personnel, including diagnostic engineers. The study presents examples of regular technical condition monitoring for passenger vehicles, considering the operating hours of assemblies and units, actual operating conditions, and the volume of maintenance performed, including the full list of identified and recorded failures and malfunctions.

In terms of operating modes and conditions, a number of the conducted tests fall into the category of tests for which the operating mode is not subject to strict fixation. When divided according to the nature of recommendations, the tests can be classified as:

– informational, meaning the data is intended for a broad audience (including clients and STO personnel);

– advisory, containing specific proposals (sometimes commercial) addressed to the manufacturer or consumers. These recommendations define the list of vehicle components limiting operability and identify the root causes of failures and malfunctions. Additionally, recommendations are developed regarding timing and specifications for work aimed at maintaining the proper technical condition of Renault Group vehicles.

During experimental research on collecting statistical information about the operational reliability of selected components, performance indicators were obtained. Based on the developed mathematical model, the task of identifying components limiting operability was accomplished. For further stages, issues related to optimizing and forecasting the demand for vehicle components were considered, taking into account their distribution within the area of business activity and the functioning of spare parts distribution systems in the dealer STO network. The set of components was compiled into relevant tables and assessed for their impact on vehicle operability.

Critical components in terms of operability were identified, which made it possible to form a failure flow function for the selected vehicles. The mean time to failure (MTTF) of components limiting operability was calculated.

The selection of Renault commercial vehicles proves to be a rational choice for business owners, as it helps reduce overall maintenance costs. Their high reliability and maintainability ensure more stable and predictable operation for modern corporate fleets, companies, and enterprises.

УДК 681.5.004.8

ЗАСТОСУВАННЯ ГРАФОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ СКЛАДНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

С.Г. Ковальов, *докторант, канд. пед. наук,*
В.В. Аулін, *проф., д-р техн. наук,*
А.В. Гриньків, *ст. дослідник, канд. техн. наук*
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

З'язовано застосування графових нейронних мереж для оцінки надійності складних автоматизованих систем:

1. Значення оцінки надійності та ефективності складних систем:

– сучасні складні системи включають безліч взаємопов'язаних компонентів, що ускладнює їх аналіз;

– методи оцінки дозволяють передбачати поведінку системи, знаходити слабкі місця та покращувати її структуру;

– важливість оцінки зростає у системах високої інтеграції, таких як технологічні мережі, транспортні системи та біологічні процеси.

2. Метод ланцюгів Маркова та його застосування (рис.1):

– дозволяє моделювати зміни стану системи у часі, враховуючи ймовірність переходів між станами;

– представляє систему у вигляді графа, де вузли відповідають станам, а ребра — ймовірностям переходів;

– дає змогу визначити ключові показники надійності та ефективності системи;

– використовується у сфері прогнозування станів технічних, фінансових та біологічних процесів.

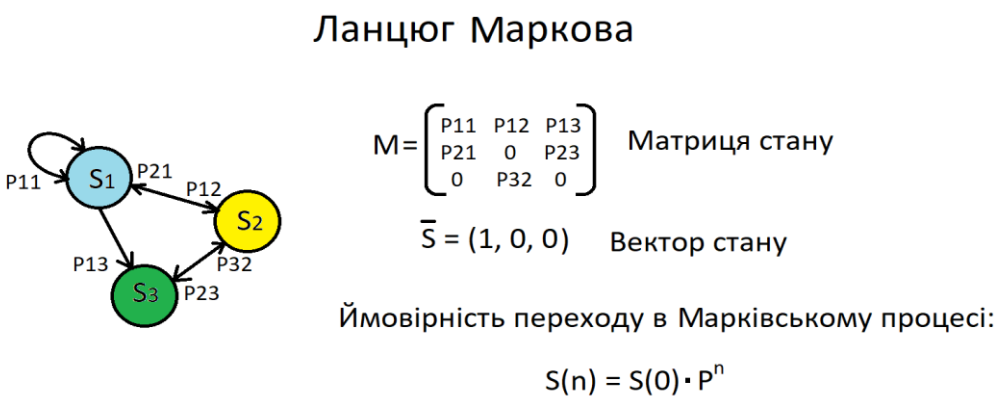


Рисунок 1. Застосування ланцюгів Маркова для моделювання надійності та ефективності складних систем

3. Обмеження методу ланцюгів Маркова у складних системах:

– моделювання значної кількості станів та їхніх взаємодій стає надзвичайно складним;

– метод не враховує слабкі, але критичні залежності між елементами, що може призвести до неточних прогнозів;

– вимагає спрощення моделі, що може негативно позначитися на точності аналізу;

– у складних системах, де існує багатовимірна взаємодія між елементами, необхідні вдосконалені методи аналізу.

4. Графові нейронні мережі (ГНМ) як удосконалений метод аналізу:

– ГНМ можуть працювати з багатошаровими структурами та складними зв'язками між елементами;

– використовують методи машинного навчання для визначення прихованих залежностей у даних;

– дозволяють отримувати більш точні показники надійності та ефективності системи у порівнянні з ланцюгами Маркова;

– забезпечують можливість виявлення слабких та складних взаємозв'язків у графовій структурі даних.

5. Структура графових нейронних мереж (рис.2):

– матриця ознак**:** містить характеристики об'єктів системи (вершин графа);

– матриця суміжності: визначає структуру взаємозв'язків між об'єктами;

– вхідний шар: приймає дані і передає їх для подальшого аналізу;

– приховані шари: виконують агрегування інформації від сусідів, дозволяючи вузлам навчатися;

– вихідний шар: генерує результати моделювання, що можуть бути використані для прогнозування або класифікації.

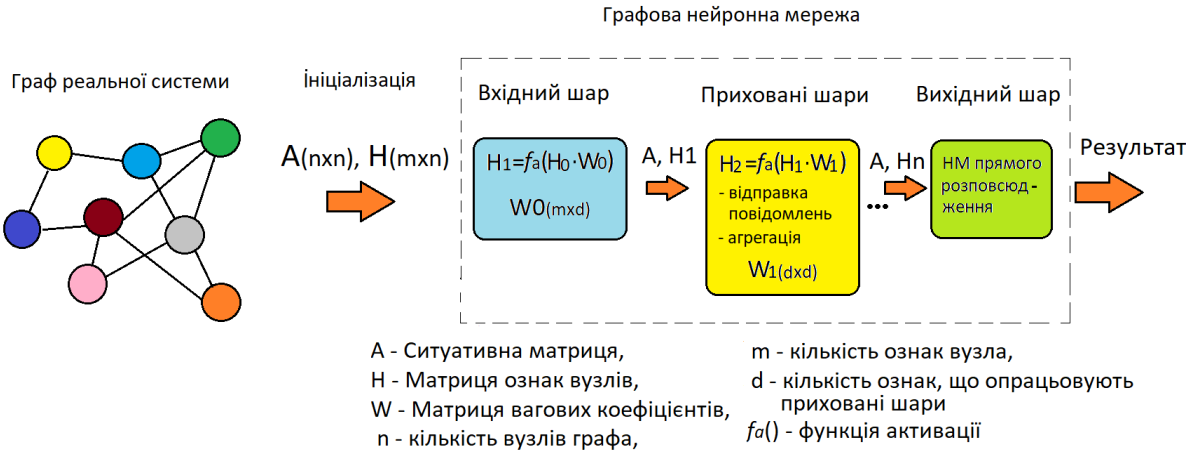


Рисунок 2. Структура графових нейронних мереж

6. Застосування графових нейронних мереж у складних системах:

– ГНМ застосовуються у соціальних мережах для аналізу зв'язків між користувачами;

– використовуються у хімії та біології для моделювання поведінки молекул та білків;

– у транспортних мережах допомагають в оптимізації маршрутів та розподілі ресурсів;

– в енергетичних системах сприяють аналізу розподілу електроенергії та пошуку слабких місць в інфраструктурі.

7. Переваги графових нейронних мереж:

– дозволяють аналізувати складні системи, враховуючи як об'єкти, так і їхні взаємозв'язки;

– забезпечують високу точність оцінки надійності та ефективності у складних структурах;

– використовуються для розробки стратегій оптимізації та захисту складних систем;

– відкривають нові можливості для досліджень в різних сферах науки та техніки.

Таким чином, головною перевагою ГНМ є здатність працювати з даними, де інформація пов'язана не тільки з об'єктами (вершинами), але й зі зв'язками між ними (ребрами). Це відкриває нові дослідницькі можливості для оцінки надійності та ефективності складних систем, таких як транспортні мережі, енергетичні структури, біологічні взаємодії або соціальні мережі. Завдяки цьому ГНМ допомагають глибше зрозуміти функціонування систем та розробити стратегії для їх оптимізації та захисту.

Список використаних джерел

1. Аулін В.В., Ковальов С.Г., Гриньків А.В. Варваров В.В. Алгоритм оптимізації надійності функціонування та ефективності використання виробничого обладнання методами штучного інтелекту : Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2024. Кол.10(41), Частина І. С.60-67. URL: https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.60-67
2. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Голуб Д.В. Синергетика підвищення надійності машин використанням моделей марківських процесів. Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сх машин і знарядь: зб. матеріалів доп. учасн. V Всеукраїнської науково-практичної конф. Житомир: Житомирський агротехнічний коледж, 2019. С. 242-245.
3. Аулін В. В., Гриньків А. В., Головатий А. О., Лисенко С. В., Голуб Д. В., Кузик О.В., Тихий А. А. Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем: монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2020. 428с.
4. Ковальов С. Г. Оптимізація часу виробництва за допомогою методу навчання з підкріпленням як частинний випадок підвищення ефективності автоматизованих виробничих ліній: зб. наук. праць. Центральноукраїнський наковий вісеник № 11(42), частина І, 2025 р. URL: https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.198-205.
5. Ковальов С.Г., Аулін В.В., Гриньків А.В. Варваров В.В. Підвищення надійності та ефективності експлуатації виробничих ліній методами штучного інтелекту, використовуючи моніторинг акустичних сигналів : Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2024. Вип. 10(41), ч.ІІ, С. 142-151. URL: https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).2.142-151.
6. Ковальов С.Г. Ковальов Ю.Г. Особливості реалізація моделі штучної нейронної мережі апаратними засобами. «Наука і технікасьогодні» (Серія «Педагогіка», Серія «Право», Серія «Економіка», Серія «Фізико-математичнінауки», Серія «Техніка»)»: журнал. 2024. No6(34) 2024. С. 1131. URL: DOI: https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-6(34)
7. Xu K. How Powerful are Graph Neural Networks [Електронний ресурс] / K. Xu, W. Hu, J. Leskovec, S. Jagelka. – arXiv, 2018. URL: https://arxiv.org/abs/1810.00826
8. Kipf T. Semi-Supervised Classification with Graph Convolutional Networks [Електронний ресурс] / T. Kipf, M. Welling. – arXiv, 2016. URL: https://arxiv.org/abs/1609.02907
9. Node Classification with Graph Neural Networks [Електронний ресурс] / K. Salama. – 2021. – Режим доступу до статті: https:// keras.io/examples/graph/gnn_citations/
10. Graph Attention Networks [Електронний ресурс] / [P. Veličković, G. Cucurull, A. Casanova, A. Romero, P. Liò, Y. Bengio]. – arXiv, 2017. URL: https://arxiv.org/abs/1710.10903
11. Graph attention network (GAT) for node classification [Електронний ресурс] / A. Kensert. – 2021. – Режим доступу до статті: https:// keras.io/examples/graph/gat_node_classification
12. Miguel Neves, Miguel Vieira, and Pedro Neto. “A study on a Q-Learning algorithm application to a manufacturing assembly problem”. In: Journal of Manufacturing Systems 59 (2021), pp. 426–440.

УДК 621.3:004.8

КЛАСИФІКАЦІЯ ТИПІВ СИГНАЛІВ ТА МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МОБІЛЬНИХ МАШИН ПІДПРИЄМСТВ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

О.О. Матвієнко, *докторант, доц., канд. техн. наук,*
В.В. Аулін, *проф., д-р техн. наук,*
А.В. Гриньків, *ст. дослідник, канд. техн. наук*
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Сучасна мобільна техніка агропромислового виробництва (АПВ) – трактори, комбайни, самохідні шасі, агророботи та автотранспорт – характеризується високим рівнем автоматизації, складними мехатронними системами й експлуатацією в жорстких циклічних та сезонних навантаженнях. Перехід від планово-попереджувальних до стано-орієнтованих стратегій технічного сервісу вимагає надійного збору різнотипових експлуатаційних даних та їх інтелектуальної обробки. Мета цієї роботи – сформувати класифікацію діагностичних сигналів, сенсорної бази та алгоритмів машинного навчання (МН) для побудови інтелектуальної системи технічного сервісу мобільних машин підприємств АПВ.

Зі стрімким розвитком технологій штучного інтелекту (ШІ) та МН світова наукова спільнота вже не перший рік активно досліджує можливості автоматизованого моніторингу технічного стану машин.

У роботі продемонстровано, що вібраційні сигнали від MEMS- та п’єзоелектричних акселерометрів можуть із високою точністю використовуватися для виявлення аномалій; крім того, автори вперше запропонували перенос навчання з дорогих високочастотних сенсорів на дешевші, що є важливим для мобільних машин АПВ.

Увага зосереджена на акустичних сигналах: легка CNN-архітектура оперує константною потужністю одноплатного комп’ютера Raspberry Pi та досягає високої точності при класифікації звукових аномалій, що підтверджує життєздатність онлайн-діагностики за акустичними ознаками.

Доведена ефективність безконтактних оптичних методів: використовуючи невелику CNN, автори в реальному часі оцінюють шорсткість Ra поверхонь, що безпосередньо релевантно для зношених деталей ґрунтообробного обладнання.

Поширюється ця ідея на твердість матеріалу: застосування класичних ансамблевих моделей до сканів відбитків індентування дозволило усунути людський фактор при зчитуванні діагоналей, а це відкриває шлях до швидкого польового аналізу термооброблених деталей трансмісії.

Показано потенціал штучних нейронних мереж і SVM для діагностики редукторів за вібраційними дескрипторами. Сучасні глибокі підходи мають потенціал суттєво підвищити чутливість до ранніх дефектів.

Систематизовано сучасні машинно-навчальні підходи до аналізу сигналів акустичної емісії, особливо у діагностиці мікротріщин у підшипниках мобільних машин, що підтверджує релевантність використання AE-сигналів у нашій методології.

Виявлено, що багатосенсорна CNN-BiLSTM злиття тиску, витрати та температури істотно підвищує точність діагностики гідравлічних компонентів у реальному часі.

Описано правило-орієнтовану платформу «Big-Data-Driven Fault Analysis» для тракторів, у якій поєднано GPS-телеметрію, лог-файли CAN-шини та сервісні записи. Це підтверджує актуальність стратегії інтеграції телеметрії з датчиками стану для побудови інтелектуальної системи технічного сервісу мобільних машин підприємств АПВ. Розглянуте

підкріплює доцільність включення відповідного типу сигналу до комплексної методології, яка пропонується.

В роботі систематизовано типи сигналів, які підлягають отриманню і обробці методами машинного навчання для оцінки технічного стану мобільних машин АПВ (табл. 1).

Таблиця 1 – Типи сигналів та методи машинного навчання для оцінки технічного стану машин

Тип сигналу	Фізична величина	Типи датчиків (експлуатаційні / лабораторні)	Контрольовані вузли техніки	Онлайн-застосування	Методи машинного навчання
Вібраційні	Прискорення a, м/с²	MEMS-акселерометри / П'єзоелектричні акселерометри	Підшипники , редуктори, вали, двигуни	Так	CNN, Autoencoders, Isolation Forest
Акустичні	Рівень шуму, SPL, дБ; спектр	Конденсаторні мікрофони / офлайн шумові камери	Двигуни, насоси, паливні системи	Так	CNN, CRNN, WaveNet
Температурні	Температура, T, °C	Термопари, терморезистори / ІЧ-камери	Двигуни, підшипники, гідросистеми	Так	LSTM, GBDT
Ультразвукові (AE)	Амплітуда , частота 20–200 кГц	AE‑сенсори / дефектоскопи	Зварні шви, ланцюги, підшипники	Частково	CNN, SVM
Електричні	Струм, напруга, I, A; U, V; P, kW	Сенсори струму, напруги / Осцилографи	Генератори, електродвигуни	Так	GRU, XGBoost
Аналіз мастил	Металеві домішки	Датчики в'язкості / Спектрометри	Двигуни, коробки передач	Обмежено	Random Forest, k‑NN
Сигнали тиску	Тиск	П'єзорезистивні сенсори / Прецизійні манометри	Гальмівні, гідравлічні та пневматичні системи	Так	LSTM, CNN, GBDT
GPS/IMU телеметрія	Координати, швидкість	GPS, IMU-сенсори / RTK GPS-приймачі	Підвіска, шасі	Так	LSTM, Autoencoders, Seq2Seq
Оптичні (фото/відео)	RGB / Depth‑зображення	Камери / Лазерні сканери	Корозія, знос, тріщини рам	Так	ResNet, ViT, Transfer Learning

Примітка. Доступність онлайн-застосування для AE та аналізу мастил обмежена швидкістю вимірювань і необхідністю фільтрації сигналу.

Нехай $s_k(t)$ – поточний часовий ряд k-го сенсорного каналу, попередньо синхронізований та нормалізований. За результатами попередньої оптимізації методів ознак для кожного каналу обрано функції φ_k, що проектують сигнал у простір інформативних дескрипторів $z_k = \varphi_k(s_k(t))$.

Інтегральний індикатор технічного стану (ІТС) машини визначимо як

$$\hat{y}(t) = \mathcal{F}(z_1, \dots z_K; \Theta) = \sum_{k=1}^{K} \omega_k \cdot f_k(z_k), \quad (1)$$

де $\mathcal{F}$ – узагальнена функція, яка перетворює множину ознакових векторів z_k у прогнозований індикатор $\hat{y}(t)$ і репрезентує ансамбль або «метамодель», що об'єднує локальні предиктори (моделі) f_k; Θ – це набір усіх настроюваних параметрів моделі $\mathcal{F}$: ваги нейромереж, коефіцієнти дерев рішень, зміщення, гіперпараметри тощо; f_k – локальні моделі (наприклад, деревоподібні ансамблі або нейромережі) для кожного типу сигналу, ω_k – вагові коефіцієнти, що визначаються алгоритмом стохастичної оптимізації на валідаційній вибірці; K – кількість типів сигналів.

Отримане $\hat{y}$ уніфіковане у шкалі і відображає залишковий ресурс або ступінь деградації агрегату.

Для раннього попередження про аномалію використовується прогнозний буфер довжини з LSTM-моделлю:

$$\hat{y}_{t+H} = LSTM([\hat{y}_t, \hat{y}_{t-1}, \dots]) \quad (2)$$

Якщо $\hat{y}_{t+H} < \delta_{crit}$, то система формує рекомендацію щодо сервісу.

Висновки

1. Запропоновано деталізовану класифікацію дев'яти найінформативніших типів сигналів та відповідних сенсорів для мобільних машин АПВ.
2. Сформульовано інтегральну модель (1)–(2), що об'єднує різнорідні ML-предиктори у єдиний індикатор технічного стану.
3. Проведений огляд літератури свідчить про високу результативність глибинного навчання для кожного типу сигналу та підтверджує економічну доцільність онлайн-моніторингу.
4. Подальша робота буде спрямована на розробку методології збору та узгодження багатоканальних сигналів, а також на концептуальне проектування інтелектуальної системи технічного сервісу мобільних машин підприємств агропромислового виробництва, включаючи взаємодію з цифровими двійниками машин. Під цифровими двійниками розуміємо усталений міжнародний термін, що позначає віртуальні (цифрові) моделі фізичних об'єктів або систем, що постійно синхронізуються з реальним прототипом через потоки даних датчиків і дають змогу моделювати його поведінку, прогнозувати відмови та оптимізувати експлуатацію.

Список використаних джерел

1. Abdallah M. et al. Anomaly Detection and Inter-Sensor Transfer Learning on Smart Manufacturing Datasets. Sensors 2023, 23, 486. doi: 10.3390/s23010486
2. Sreevidya N. et al. Classification of Anomalies in Industrial Machines Utilizing Machine Sounds and Deep Learning. IEEE, 2024. doi: 10.1109/ICIEA61579.2024.10665175
3. Giusti A. et al. Image-based Measurement of Material Roughness using Machine Learning Techniques. Procedia CIRP, 2020. P. 377-382. doi: 10.1016/j.procir.2020.02.292
4. Mambuscay C. L. et al. Predictive Modeling of Vickers Hardness Using Machine Learning Techniques on D2 Steel with Various Treatments. Materials 2024, 17, 2235. doi: 10.3390/ma17102235
5. Samanta B. Gear Fault Detection Using Artificial Neural Networks and Support Vector Machines with Genetic Algorithms. Mechanical Systems and Signal Processing, 2004. P. 625-644. doi: 10.1016/S0888-3270(03)00020-7
6. Ciaburro G., Giordano D. Machine‐ Learning‐ Based Methods for Acoustic Emission Testing: A Review . Appl. Sci. 2022, 12, 10476. doi: 10.3390/ app122010476.
7. Zhang D. et al. Fault Diagnosis of Hydraulic Components Based on Multi‐ Sensor Information Fusion Using Improved TSO‐ CNN‐ BiLSTM. Sensors 2024, 24, 2661. doi: 10.3390/ s24082661.
Li Q. et al. Fault Analysis System for Agricultural Machinery Based on Big Data. IEEE Access, vol.7, P. 99136 - 99151, 2019.. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2928973.

UDC: 656.073:519.863

THE ROLE OF VEHICLE ROUTING PROBLEMS IN THE FIELD OF COMBINATORIAL OPTIMIZATION OF FREIGHT TRANSPORTATION

M.A. Bakulenko, *Student of Group TT-22,*
S.G. Chaplyhin, *Student of Group TT-22мб,*
V.V. Aulin, *Prof., Dr. Tech. Sci,*
A.V. Hrynkiv, *Senior Researcher, PhD tech. sci*
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Vehicle routing problems represent one of the key and, at the same time, most complex areas of combinatorial optimization in transport logistics. Clarke and Wright were the first to incorporate multiple vehicles into the problem formulation and developed a more efficient heuristic based on a greedy algorithm. Since then, numerous models and algorithms have been proposed to obtain exact and approximate solutions for various versions of this problem, which were later united under the general category of Vehicle Routing Problem (VRP).

The growing interest in VRP is driven by its practical significance and high computational complexity. Such problems frequently occur in companies engaged in distributing goods from production or warehouse facilities to consumers or retail outlets. However, there are many other areas of application, including service maintenance, courier and postal services, waste collection, street cleaning, private transportation, public transit routing, and fast-food delivery.

Any VRP-class problem is a generalization of the classic Traveling Salesman Problem (TSP), which involves finding the most cost-effective route for a salesman visiting a set of cities exactly once and returning to the starting point. The main distinction between VRP and TSP lies in the possibility of having multiple closed routes in the solution. Both problems are NP-hard, meaning there are no methods capable of finding exact solutions or verifying the optimality of approximations within polynomial time. Similar to TSP, VRP can be described using graph theory, where the objects of combinatorial optimization are graph structures.

Despite the global interest in VRP research, this area remains underdeveloped in Ukraine, leading to frequent reliance on international experience. Consequently, terminology adopted for VRP often differs from that used in TSP and reflects the most common field of application—transport logistics. In routing problems, “salesman” corresponds to “vehicle,” “path” becomes “route,” and “city” is replaced by “customer.” Additionally, for the initial “city,” the term depot (from French dépôt, meaning warehouse or storage) is introduced, indicating the starting and ending point for vehicle routes. In practice, a depot can be a transport company, production site, or warehouse.

The well-known transportation problem is a mathematical model formulated as a special case of linear programming aimed at determining an optimal freight transportation plan from origins to destinations with minimum transportation costs. Unlike VRP, the transportation problem belongs to complexity class P in computational complexity theory.

The classical vehicle routing problem (VRP) is a combinatorial optimization problem that seeks the optimal set of closed routes for a fleet of homogeneous vehicles, all departing from a single depot to serve multiple remote customers. The optimality criterion can be expressed in various ways, but most often it is the minimization of total route length. Figure 1 illustrates a typical example of route construction for a fleet of three vehicles, where the goal is to minimize the overall route length. The depot is located at the center, surrounded by customers to be visited. Distances between all route points are known. The optimal solution ensures that each vehicle visits its assigned customers and returns to the depot, following the shortest possible routes.

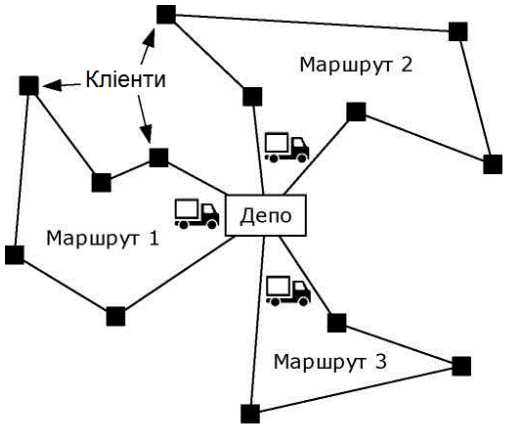


Figure 1 – Example of a Solution to the Classical VRP Problem: vehicle – transport vehicle, route – route, depot – starting and ending point of the route

The classical Vehicle Routing Problem (VRP) can be modeled using a graph C = (V, E) with a set of vertices V = {0, **…,** п} and a set of edges E. The set of vertices I = 1, **…,** n corresponds to customers, whereas vertex 0 represents the depot. An *n x n cost matrix* c_{ij} *is*

alsospecified where each element$(i, j) \in E$ denotes the cost associated with traveling between vertices *i* and *j*.

In graph theory terms, the classical Vehicle Routing Problem (VRP) can be interpreted as the construction of several Hamiltonian cycles of minimal length on subgraphs of graph GG, which share a common vertex – the depot. In the absence of capacity constraints and with an arbitrary number of vehicles kk, the problem is reduced to constructing kk cycles with the common vertex 0, covering all vertices of the graph and minimizing the total cost of visiting all customers. This means that the problem becomes a set of Traveling Salesman Problems (TSP) with kk cycles and a common point 0. Such a problem can be transformed into a classical TSP by adding k−1 additional copies of vertex 0 and corresponding edges connecting them to the other nodes.

Thus, it has been established that the classical approach has limitations that make it less suitable for real-world conditions. Modern variations of vehicle routing problems include numerous modifications of the classical formulation, most of which represent combinations of several basic extensions. These modifications primarily differ by the real-world constraints imposed on the solution, such as capacity limitations, time windows, restrictions on the number of vehicles, and others.

УДК: 656.025.2:658.14:502.131.1

УПРАВЛІННЯ ФАКТОРАМИ РЕСУРСОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЕРЕВІЗНИХ ВИДІВ ДІЯЛЬНОСТІ ДЛЯ СТАЛОГО ЕКОНОМІЧНОГО ЗРОСТАННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПІДПРИЄМСТВА

О.М. Тертиця, *асп,*
Т.М. Надич, *асп,,*
В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук,
А.В. Гриньків, *ст. дослідник, канд. техн. наук*
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Посилення конкуренції на транспортному ринку вимагає від транспортних підприємств пошуку нових підходів до організації своїх виробничих процесів. Важливою перевагою всім учасників ринку є економія на витратах .

Учасники ринку перевезень прагнуть зниження своїх витрат у порівнянні з конкурентами за рахунок підвищення ефективності використання ресурсів і створення оптимальної системи управління факторами, що впливають на витрати, і трансформації витрат таким чином, щоб виключити найбільш витратні елементи.

Вибір ефективного варіанта управління витратами визначає потенціал підприємства у мінімізації витрат у перевізному процесі. Конкурентна перевага «лідерство у витратах» набула широкого поширення і є однією з трьох базових стратегій конкуренції.

Чим нижча собівартість виробництва порівняно з конкурентами, тим вище потенціал підприємства для сталого розвитку за рахунок стабільного зростання доходів, що перевищують середньогалузеві значення, незважаючи на високу конкуренцію. Для збереження ресурсного лідерства вищий прибуток підприємство може реінвестувати у модернізацію виробництва, розширювати ринки збуту з допомогою низьких цін на продукцію та послуги.

При цьому можливі такі варіанти реалізації ресурсної переваги:

- стратегія низьких цін, що забезпечує зростання обсягу продажу (орієнтована на споживачів, чутливих до ціни);

- стратегія низьких витрат, при реалізації якої підприємство, що має нижчі витрати порівняно з конкурентами, може встановлювати ціни на продукцію на ринковому рівні, при цьому надприбутки спрямовувати на розвиток виробництва та автоматизацію, за рахунок чого забезпечується ще більша оптимізація витрат, ніж на середньогалузевому рівні ;

Таким чином, ресурсна перевага підприємства забезпечується низькими витратами. При застосуванні стратегії низьких витрат підприємство може знижувати вплив із боку постачальників ресурсів, зокрема з допомогою управління їх поставками.

Для підприємства досягнення «лідерства з витрат» є найефективнішою довгостроковою стратегією за умов тарифного регулювання. Стратегія «лідерства у витратах» передбачає зростання обсягу виробництва з метою зниження постійних витрат. Ефект масштабування може вимагати залучення значних початкових інвестицій у технології та обладнання для майбутньої мінімізації витрат. Управління ресурсозабезпеченням вимагає здійснення системного контролю над виробничими процесами.

Виявлено, що «лідерство у витратах» забезпечується за рахунок таких факторів:

- можливості придбання ресурсів за нижчими цінами (або підприємство має можливість самостійно займатися видобутком сировинних ресурсів для завантаження виробничих потужностей);

- підприємство має змогу диверсифікувати продукцію, організувати виробництво товарів-субститутів;

- підприємство має можливість розширювати виробничі потужності для масштабування продукції;
- підприємство здатне знижувати витрати за допомогою зростання технологічності;
- підприємство системно здійснює контроль непродуктивних втрат;
- підприємство ефективно керує рівнем запасів;
- підприємство має унікальну технологію, що дозволяє виробляти продукцію за оптимальною ціною.

Під час проведення аналізу виробничих процесів, які впливають скорочення витрат, оптимізацію ресурсів, зменшення непродуктивних витрат, менеджменту доводиться вирішувати, які методи ресурсозабезпечення кращі у тих чи інших умовах.

Фактори, необхідні для формування конкурентної переваги «Лідерство у витратах» представлені на рисунку 1.

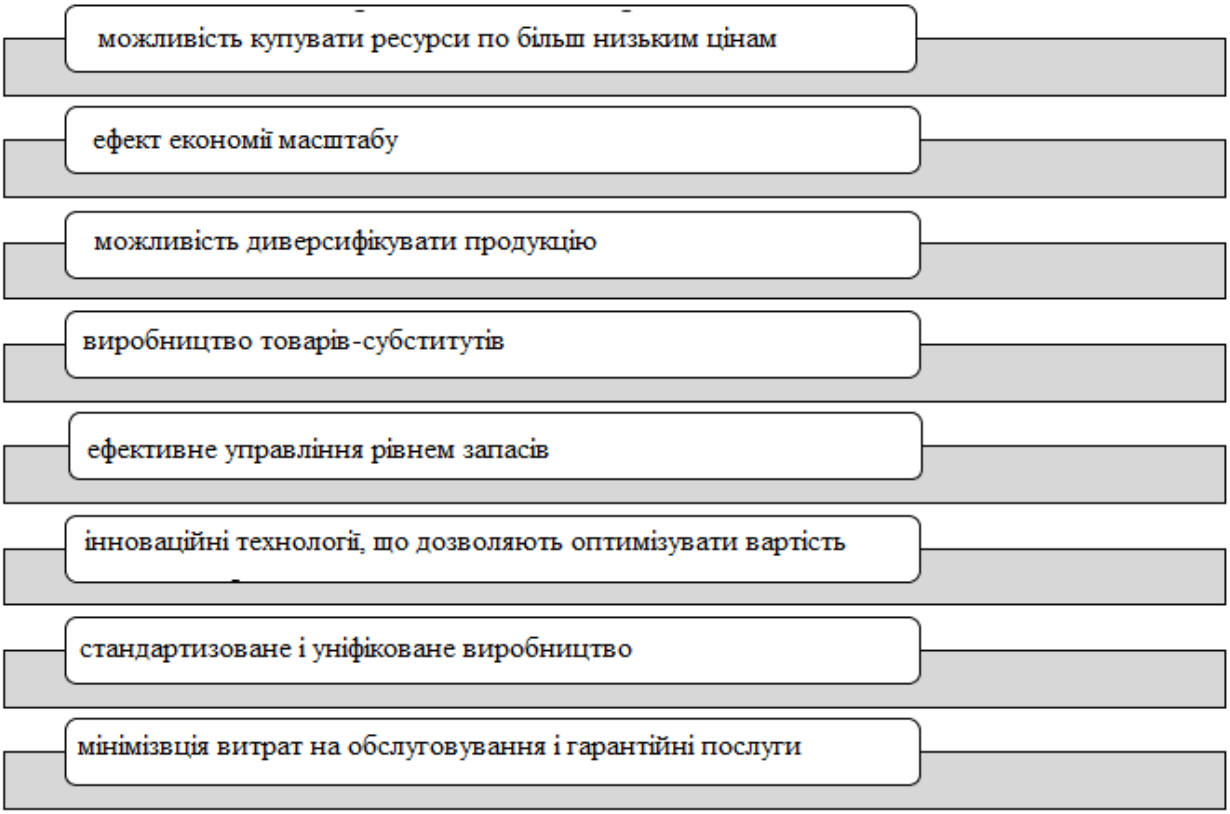


Рисунок 1 - Фактори конкурентної переваги "Лідерство у витратах"

При формуванні граничних цінових параметрів при придбанні ресурсів, необхідно оцінити альтернативні варіанти ресурсозабезпечення і вибрати оптимальні рішення, що забезпечують досягнення поставлених цілей. Найбільш ефективним методом, який застосовується у стратегічному плануванні для визначення пріоритетів розвитку в довгостроковій перспективі, є економічне моделювання. Різні методи аналізу ефективно використовуються створення передиктивних економічних моделей, оцінки перспективних ринків. В даний час ці методи набули широкого застосування в прогнозуванні різних соціально-економічних процесів, для оцінки інноваційного середовища. Результати досліджень із використанням моделювання здійснюються з метою підвищення економічної ефективності.

При проведенні досліджень використовуються різні інструменти аналізу роботи з інформаційними потоками, анкетування експертних співтовариств, наприклад з

використанням методу Дельфі, SWOT-аналізу, методики фокус-груп, сценарного планування. В основі різних підходів, які застосовуються в рамках дослідження, визначальне місце займають аналітичні методи та сценарні варіанти розвитку.

Розвиток та вдосконалення виробництва, зростання відповідальності менеджменту за наслідки прийнятих рішень, підвищення вимог до якості управлінських рішень призводять до необхідності застосування передиктивних методів, що дозволяють прогнозувати перебіг окремих економічних процесів, враховувати виникнення можливих ризиків та факторів, що негативно впливають на бізнес, на очікувані фінансові результати.

Формування стратегії ефективного управління ресурсами є динамічним процесом. При визначенні довгострокової ефективної політики у сфері ресурсозабезпечення підприємства важливо об'єктивно оцінювати зміну макро-, мезо- та мікропараметрів. Визначивши цілі, необхідно регулярно проводити моніторинг макросередовища і за необхідності коригувати окремі стратегічні напрями.

Враховуючи, що поточні макроекономічні та мезоекономічні ситуації характеризуються високими ризиками та невизначеністю, з метою зниження негативного впливу зовнішніх факторів, застосовується метод економічного моделювання та прогнозування динаміки цінової поведінки постачальників та покупців залежно від різних сценаріїв – базової, позитивної чи негативної. Дослідження економічних процесів, способів виявлення змінних, що впливають, проводяться в рамках форсайт-аналізу. Проблемі економічного моделювання приділяється особлива увага сьогодні.

Методи економічного моделювання, не втрачають своєї актуальності. Статистика застосування методів економічно-математичного моделювання підтверджує їх ефективність: оптимізаційних моделей дозволяє до 15% знизити собівартість виробництва продукції, значно підвищити продуктивність праці, покращити технічні та економічні показники. Використання економічно-математичних моделей дозволяє вирішувати широке коло управлінських завдань та знижувати ймовірність настання негативних факторів.

Визначено, що ключові фактори успіху будь-якого підприємства – це швидке прийняття якісних рішень, збереження економічного балансу, зниження ризиків, отримання цільового економічного ефекту досягаються з використанням методів економічно-математичного моделювання, що є вкрай важливою складовою багатьох процесів, що дозволяє аналізувати, прогнозувати та впливати ті чи інші процеси чи явища, які у ході економічного розвитку.

Врахування впливу ресурсних факторів на виробничо-економічну ефективність покупця та продавця, використання механізму обґрунтованого розподілу можливих ризиків або вигод від зміни ринкової кон'юнктури між сторонами контракту, пропонується до контрактів з постачальниками включати механізм ресурсного паритету для груп продукції за призначенням та подібним параметрам.

UDC: 338.43:658.7:334.012.64:004.021

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR THE FORMATION OF LOGISTICS PROJECT-ORIENTED CLUSTERS IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

M.A. Bakulenko, *Student of Group TT-22,*
S.G. Chaplyhin, *Student of Group TT-22мб,*
V.V. Aulin, *Prof., Dr. Tech. Sci,*
A.V. Hrynkiv, *Senior Researcher, PhD tech. sci*
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

One of the main directions for enhancing the resilience of rural development is the diversification of the economy and the technological modernization of its sectors, primarily in the agro-industrial complex (AIC), through the following measures: supporting effective employment in small and medium-sized agricultural enterprises; promoting consumer cooperatives, including peasant (farm) holdings and personal subsidiary farms; and encouraging job creation in non-agricultural sectors.

The issue of state support for small-scale farming remains highly relevant for the Kirovohrad region. Farmers in the region face the following challenges:

1. Small farms experience difficulties accessing sales markets, as the largest share is occupied by major retail chains that displace smaller producers. For retail chains, working with farmers as suppliers is often unattractive due to small production volumes.

2. A significant share of revenue from agricultural product sales is absorbed by intermediaries.

3. A high proportion of food imports from other regions, high production costs, and a large share of logistics expenses, combined with outdated material and technical resources.

In addition to the above challenges, it should be noted that the Kirovohrad region market continues to experience significant growth in the presence of national and local retail chains. In 2021, retail trade turnover of retail chains in the Kirovohrad region accounted for 27.1% of the total retail trade turnover in the region. In 2022, this figure increased by 25% compared to the previous year. In 2023, retail trade turnover in the networks accounted for 33% of the region's total retail trade turnover, which represents an 11% increase compared to 2022. In 2024, this figure reached 37.3%, marking a 10% increase compared to 2023.

It should be noted that retail chains are displacing small and medium-sized businesses, causing imbalances in the development of trade formats, which negatively affects the level of competition. Measures taken by the legislative authorities to address this problem—such as introducing regulations on the minimum provision of population with retail space and organizing fairs – have unfortunately not led to a significant expansion of farmers' access to the retail market.

The creation of cooperatives is a central issue of the subprogram “Support for Small-Scale Farming”, which is part of the departmental target program “On the Development of Agricultural Cooperation for the Period up to 2030.” The main goal of the program is to create favorable conditions for uniting private agricultural producers into cooperatives to reduce the cost of goods in the sales market, as well as to expand the application of innovative technologies to improve the quality of the final product.

Under current economic conditions in Ukraine, a common practice has developed whereby most of the financial resources generated at all stages of agricultural product processing and sales remain with companies providing packaging, storage, transportation, and distribution services. Agricultural producers receive only a small share of the final product’s value as revenue.

Consequently, financial flows leave the agricultural sector, which negatively impacts the ability to achieve the program's objectives.

From a logistics perspective, and given the problem of financial outflows from the agricultural sector, the main goal of the program can be interpreted as forming stable supply chains that ensure long-term and mutually beneficial cooperation among agricultural producers. This would allow producers to reduce their costs by providing their own services related to the production and distribution of goods to the end consumer. Since the full production cycle requires substantial fixed assets, it is difficult for each individual producer to achieve this independently. However, under collective farming, capital investments can become economically viable.

According to the concept proposed in this study, the solution to the problems of the agro-industrial complex (AIC) related to the cooperation of small and medium-sized agricultural producers lies in the creation of regional logistics project-oriented clusters. To establish such a cluster, the following key components are required:

– central (core) companies – the "nucleus" of the cluster, possessing modern production capacities capable of ensuring stable and high-quality production of final products;

– competitiveness of enterprises participating in the cluster;

– a network of logistics operators ensuring the uninterrupted flow of materials and goods within the cluster's supply chains;

– the regional business climate, including the level of logistics infrastructure development, scientific, educational, and human resource potential, and the degree of investment attractiveness in the region.

Clusters can be created in two ways: (a) through the initiative of state authorities, or (b) spontaneously, when enterprises and organizations start cooperating on joint projects and programs (Figure 1).

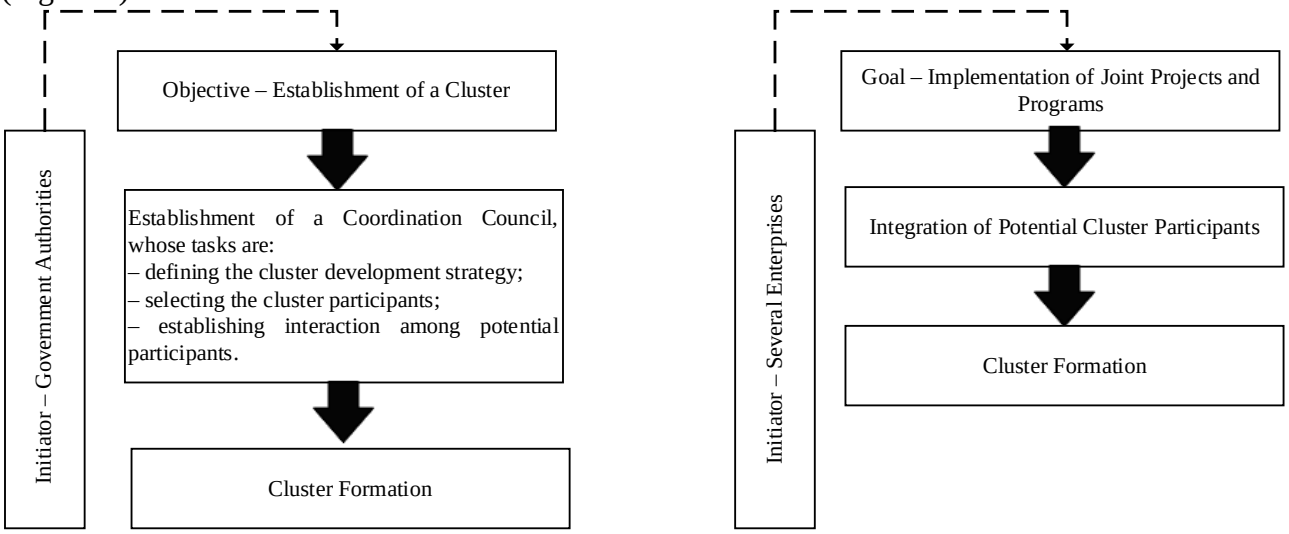


Figure 1 – Possible Ways of Cluster Formation: (a) initiated by government authorities; (b) initiated by enterprises, firms, companies, and organizations

It is known that any cluster goes through certain stages of a life cycle (LC):

LC1 – Agglomeration: enterprises, firms, companies, and organizations that can become cluster participants are located within the cluster territory.

LC2 – Cluster Emergence: cooperative relationships arise between cluster participants, and the level of specialization increases.

LC3 – Developing Cluster: the number of participants expands, information exchange intensifies, and the level of cooperation grows.

LC4 – Mature Cluster: the cluster reaches a critical number of participants, connections become stable, and the cluster's functioning mechanism is well-established.

LC5 – Transformation: changes in the cluster caused by shifts in the market, technology, the economic situation in the region, and other factors.

Logistics project-oriented clusters follow the same general stages of the life cycle. However, their specificity lies in the investment project around which the cluster operates: participants are selected based on an assessment of their resources to fully meet the needs specified in the project. The main goal, apart from capital accumulation, is the effective implementation of the investment project. In this regard, the cluster must remain flexible, adapting over time to environmental conditions.

It is worth noting that for a logistics project-oriented cluster, the last stage of the life cycle—transformation – is particularly important. Since this type of cluster is a temporary structure, after the implementation of the project, the cluster may either cease to exist or transform into another cluster created to implement a new investment project with different objectives. During transformation, the cluster’s purpose, participant composition, boundaries, and other characteristics may change.

UDC: 656.025.2:658.7:004.9

DIGITAL TRANSFORMATION OF LOGISTICS BUSINESS MODELS IN ROAD TRANSPORT ENTERPRISES

V.V. Aulin, *Prof., Dr. Tech. Sci,*
A.V. Hrynkiv, *Senior Researcher, PhD tech. sci,*
O.M. Livitskyi, *PhD tech. sci,*
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine
O.L. Liashuk, *Prof., Dr. Tech. Sci*
Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

In the classification of economic activities of road transport enterprises (RTEs), a wide range of services is identified, such as auditing services, consulting services, telecommunication services, and others. Many scholars lack consensus on this issue. There are several reasons for this, the most significant being related to the development of scientific and technological progress, where the conceptual framework fails to adapt quickly enough to new types of economic activities, intellectual and creative innovations, and scientific discoveries. Furthermore, in an attempt to fully reflect the economic essence of a service, the interpretation and the author's vision of the problem should highlight the feature considered most important in this context.

When studying transport processes, the terms "logistics service" and "logistical service" are considered fully interchangeable synonyms, each with its own classification. Their main characteristics include:

– customer demand satisfaction service – a set of services aimed at meeting demand (order execution time, delivery frequency, order quality, etc.);

– production service – services for maintaining products at all stages of the life cycle (from order placement to commissioning, including user training);

– after-sales service – services provided after product shipment, including warranty and post-warranty work;

– information service – services for providing consumers with product information and its maintenance, including advertising activities;

– financial and credit service – services for providing goods on credit or installment plans, deferred payment options, various bonuses or discounts, as well as classic credit services.

Due to the full-scale war, a separate area has emerged in logistics—the service logistics approach, which focuses on organizing and providing logistics services.

Logistics services are implemented during the sale of material or digital goods, as well as other services. The application of logistics services improves the competitiveness of the enterprise, increases sales volumes, ensures information support, enhances customer loyalty, stimulates purchases, and creates a positive experience from previous transactions, which often leads to repeat contracts. Thus, the subject of logistics service is a specific set of relevant services, while the objects of logistics service are the actual consumers of material flows.

Analysis of the entire set of transport services shows that additional logistics services are required for a large number of business processes in various industries. Furthermore, warranty and post-warranty services, including after-sales support, are necessary to increase and maintain the desired level of competitiveness.

Automation of logistics services through the use of intelligent technologies (IT) increases business efficiency by reducing costs. Workforce reduction during the implementation of information systems (IS) is one of the most common and obvious managerial decisions, which, moreover, is relatively easy to quantify. On the one hand, cost reduction is a positive factor for

enterprises; on the other hand, it leads to a rapid increase in the number of positions being eliminated.

The intensive development of information, production, and intelligent technologies inevitably results in changes in logistics support.

It is important to emphasize that in logistics, business process automation is also aimed at cost reduction by minimizing staff. Currently, large retailers and suppliers are implementing robotic warehouse technology. A particularly notable example from international practice is Amazon, one of the first companies to introduce robotic warehouses. The use of robots allowed the company to reduce the operational cycle time more than fourfold (from 60–75 minutes to 15 minutes) and cut operating costs by 20%.

In the United States and China, a series of fully autonomous warehouses have now been launched. Since such warehouses do not require human involvement, robots operate in complete darkness, saving electricity. Robotic warehouses employ sorting robots, palletizing robots, and scanning robots (for inventory control using RFID tags). Analysis of this trend suggests a new approach: instead of using individual robots, integrated solutions are applied to optimize workloads for both humans and robots.

Logistics services must be provided continuously to meet consumer needs, ensuring 24-hour support of flow processes. Transportation services can be provided either by the company itself or by intermediaries or logistics providers. Depending on the type of logistics system and the structure of the integrated logistics chain, some services can be delivered in an automated mode. This is particularly relevant for e-commerce, where the competitiveness of an online store depends on the speed of delivery to the customer. In many cases, delivery speed has a greater impact on the customer's choice than price.

In e-commerce, pre-sale and after-sale consultations can be effectively automated using conversational bots (software robots capable of communicating in natural language with users). Currently, social networks and messengers offer tools for creating bots on their platforms, which has further driven their popularity. Initially, the use of conversational bots surprised users, attracted interest, and boosted sales. Today, the technology has become widespread, and many websites use bots for economic reasons, as bots can operate 24/7 without holidays, weekends, sick leave, and without salary requirements. However, for experienced users, such bots appearing in pop-up windows have shifted from an advantage to an annoyance.

Logistics operators can provide various services, and based on their scope, they are classified into PL (Party Logistics) levels, currently identified as five or even six. 1PL providers handle logistics processes internally and are also referred to as logistics insourcing. 2PL providers represent partial outsourcing of logistics processes.

The most significant interest lies in providers at the 3PL level and above. 3PL providers deliver comprehensive logistics outsourcing but do not participate in supply chain design. Their core services include transportation, warehousing, freight forwarding, packaging, and more. Typically, the client company retains an internal logistics specialist to manage these operations. A 4PL provider undertakes full supply chain design and management of the client's logistics processes. Simply put, 4PL is essentially 3PL plus planning and supply chain management. 5PL providers not only manage logistics processes and integrated supply chains comprehensively but also deliver network-based services using a unified information space in the context of logistics process transformation.

Information technology (IT) support is the key component of this type of provider, which is why they may not own physical assets. 5PL providers interact with clients at a strategic level, engaging in joint planning of logistics operations.

Regarding the 5PL level, practitioners generally view it as an advanced version of 4PL that incorporates automation and optimization of logistics solution development. Clients always have the option to either outsource services or manage internal logistics independently. While outsourcing offers undeniable benefits in terms of strategy development, management, design, and

support of logistics processes, it also entails risks, such as loss of employee expertise and control over internal logistics processes.

Maximum benefits from outsourcing can only be achieved through high-quality, advanced tools for automating logistics business processes integrated into unified information systems. Such integration provides full transparency of all information, financial, and—if necessary—logistics flows, eliminating "grey" schemes and fostering trust in cooperation.

Logistics support for 5PL providers is inherently linked to virtual environments used to deliver a full range of services. Therefore, 5PL providers fully align with the digitalization strategy of logistics under the national "Digital Economy" project, transitioning to virtual interactions, virtual business processes, and global integration of participants in supply chains. To implement new marketing and analytical capabilities and build fundamentally new logistics infrastructures, providers employ cutting-edge technologies, including Smart Home, Internet of Things (IoT), advanced artificial intelligence algorithms, machine learning, and big data technologies.

A critical review of modern logistics service levels and providers in academic literature has revealed attempts to introduce a new level – 6PL. Its distinguishing feature was proposed as specialized software that automatically generates schemes for sustainable interactions among supply chain participants. However, this feature is already present in 5PL providers through specialized information systems, technologies, and global networks, even if not explicitly formalized. Virtualization of relationships, which is characteristic of 4PL and 5PL, cannot alone justify the introduction of an additional classification level.

Modern product coding technologies (barcoding, QR codes, RFID tags), geolocation systems, and transport monitoring tools enable logistics services of a fundamentally new level by providing real-time data and reducing costs. The future development direction of 5PL providers lies in the adoption of IT as a foundational element, enabling automation of more complex functions and business processes. Skilled specialists will gain powerful support from self-learning intelligent information systems. Such systems will operate with expert knowledge, provide decision-making support, learn from employee experience and historical corporate data, and, in some cases, make independent decisions.

To achieve this, an enhanced architecture of the logistics information system is required, where core components include modern algorithms and mechanisms for automatic data collection and processing. The system should integrate several new types of modules to centralize various procedures:

– parser – performs automated data collection from internal and external sources;

– aggregator – sorts, enriches with metadata, and stores data in a buffer zone for analysis;

– analytical module – conducts semantic data analysis in the buffer zone and prepares datasets for machine learning;

– design module – develops integrated supply chain models based on available data;

– logistics module – retains the functionality of traditional logistics information systems.

The inevitable transformation of logistics service principles is driven by the rapid development of IT and communications. The 5PL level, also known as virtual logistics, will continue to evolve alongside digitalization and the advancement of intelligent algorithms. The number of 5PL providers will grow continuously, and their information systems will increasingly rely on IT as their foundation.

The issue of maintaining the current classification of logistics services amid the development of new principles for conducting logistics operations will ultimately require revision, either by adding a "+" sign to the 5PL level or by expanding the existing classification with new features, such as: automation of expert functions; creation of a unified business process environment; application of intelligent technologies as a foundation; implementation of adaptive logistics flow management models; functioning based on the coplanar flow mechanism; and automated design of supply chains.

УДК: 656.073:631.11:658.27

МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ВАНТАЖНОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

А.М. Зайцев, *асп,*
В.В. Аулін, *проф., д-р техн. наук,*
С.В. Лисенко, *доц., канд. техн. наук*
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
В.З. Гудь, *проф., д-р техн. наук*
Тернопільский національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна

Можливо виділити кілька методів формування та використання вантажного автотранспорту: статистичний, монографічний, розрахунково-конструктивний, моделювання та оптимізації.

Статистичний зручний для оцінки впливових факторів сільскогосподарського підприємства (СТП). Визначають вплив окремих факторів на розміри та ефективність виробництва в СТП, досліджують взаємозв'язки та взаємозалежність виробничих параметрів між собою.

Використовуючи комбінаційні угруповання, виділяють групу підприємств із раціональними виробничими факторами. Ці господарства піддають детальному обстеженню та монографічному вивченню. Програма монографічного обстеження включає вивчення питань економіки та організації техніки та технології, інформаційного забезпечення та управління виробництвом. Прообразом СГП можуть бути кращі господарства певної території. Матеріали монографічного обстеження найкращих господарств використовують відносно раціональних факторів інших господарств даного типу.

Розрахунково-конструктивний метод полягає в тому, що визначають основні показники СГП, точніше встановлюють раціональні фактори в існуючих середніх умовах. На прикладі цього середньостатистичного підприємства розробляються на перспективу раціональні фактори. По суті, виконується проєктний розрахунок для відібраного господарства, що добре працює. Це досить трудомістка творча робота, але вона гарантує оптимальність розрахункового варіанта. Оцінити всі можливі варіанти простим перебором нереально - це вимагатиме так багато часу, що доведеться відмовитися від вирішення завдання.

Слід зазначити ще один істотний недолік аналізованих методів. Всі вони передбачають узагальнення досвіду роботи, накопичення та статистичну обробку фактичних факторів за певний часовий період. У разі відсутності масового статистичного матеріалу, або його недоступності, через конфіденційність інформації, використання цих методів буде утруднено.

На СГП план транспортних робіт складають на основі річних виробничих програм рослинницьких та тваринницьких галузей, а також підсобних виробництв. Він охоплює весь обсяг перевезень вантажів як протягом року, так і за періодами робіт з урахуванням календарних термінів їх виконання. При цьому враховуються всі перевезення з реалізації продукції та обслуговування виробничих процесів у рослинництві, тваринництві та допоміжних підрозділах господарства. Планують вантажні перевезення за періодами та за видами транспортних засобів (ТЗ).

Вихідними даними планування транспортних робіт є види та обсяги вантажів, відстані перевезень та їх календарні терміни. Обсяг вантажів, що перевозяться, визначається з технологічних карт, а інших видів - з додаткових розрахунків на будівельні та інші роботи.

Планують роботу з урахуванням передової технології та раціональної організації праці. При цьому використовують прийняті в СГП технічні нормативи транспортних робіт: швидкість руху; час на навантаження та розвантаження; холості переїзди; профілактика та показники плану технічного обслуговування (ТО).

У СГП планування транспортних робіт проводиться двома способами. Перший полягає в тому, що при складанні виробничо-фінансового плану підприємства розраховують обсяг перевезень, який можна здійснити запланованим середньооблiковим складом парку ТЗ (за їх видами) СГП, а потім, якщо за рахунок власних засобів перевезення повністю не забезпечуються, то передбачається залучення транспорту зі сторони.

За другим способом, що застосовується при плануванні капіталовкладень та визначенні потреби СГП в основних засобах виробництва на конкретний період виробничої діяльності, розраховують кількість ТЗ, необхідних для перевезення запланованого обсягу вантажів (за видами коштів та вантажів).

За першим способом для наявного в СГП автопарку встановлюється середньорічне число машин, яке відображається розподілом загальної кількості машино-днів перебування у СГП на кількість календарних днів на рік.

При визначенні загальної кількості машино-днів перебування вантажних автомобілів у СГП необхідно від наявності машин на початок року відняти кількість машин, що вибули у запланованому році, отриманий залишок помножити на число календарних днів у році та до цього додати машино-дні перебування у СГП машин: поповнення та вибуття у планованому році; машино-дні в роботі з урахуванням знаходження машин у ремонті; вихідних та святкових днів. Середню кількість днів роботи машин можна приймати з розрахунку за даними минулого року з необхідною поправкою на поліпшення використання автотранспорту.

Вантажопідйомність машин автопарку визначає як суму загальної вантажопідйомності по кожній марці машин, яку розраховують множенням нормативної вантажопідйомності однієї автомашини певної марки на їхню середньооблікову кількість.

Середньодобовий пробіг однієї автомашини, і в тому числі з вантажем, встановлюють з урахуванням показників минулого року та заходів щодо покращення використання машин у запланованому році. Множенням отриманих величин пробігу на число машино-днів у роботі отримують загальний пробіг всіх автомашин, у тому числі з вантажем. При цьому пробіг вантажних машин з людьми включається в загальний пробіг, але не в пробіг з вантажем.

Загальний об'єм вантажоперевезень у тонно-кілометрах визначають, розуміючи загальний пробіг з вантажем на середню вантажопідйомність та коефіцієнт використання вантажопідйомності. Середня вантажопідйомність розраховується розподілом загальної вантажопідйомності на середньорічне число машин, а коефіцієнт використання вантажопідйомності беруть за даними минулого року з урахуванням особливостей вантажоперевезень запланованого року. Коефіцієнт використання вантажопідйомності визначають розподілом фактично виконаних тонно-кілометрів на добуток середньої вантажопідйомності та пробігу з вантажем.

Обсяг перевезень у тоннах отримують розподілом обсягу вантажоперевезень у тонно-кілометрах на середню відстань рейсу, яка залежить від конкретних відстаней запланованих перевезень. Якщо отриманий вище обсяг перевезень у тоннах не задовольняє потреби СГП у запланованому році, то передбачають заходи щодо покращення використання власного автотранспорту чи залучення машин із боку.

За другим способом для обґрунтування потреби у ТЗ необхідно визначити: обсяги перевезень за видами вантажів; середню відстань; календарні строки та тривалість перевезень; розподілення вантажів за видами транспорту з урахуванням реальних умов та можливостей підприємства; встановлення техніко-експлуатаційні показники використання окремих видів ТЗ; потребу підприємства у ТЗ.

Середньооблікову потребу підприємства у ТЗ обчислюють за формулою:

$$M = \frac{Q}{365 Л_c ГП_{сп} K_I K_{ТГ} K_{ІП} K_{ІГ}}, \quad (1)$$

де Q - обсяг вантажоперевезень, т/км; $Л_С$ – середньодобовий пробіг вантажного автомобіля, км ; $ГП_{СП}$ - вантажопідйомність середньооблікового вантажного автомобіля, т; $К_І$ – коефіцієнт використання парку; $К_{ТГ}$ - коефіцієнт технічної готовності працюючих машин; $К_{ІП}$ – коефіцієнт використання пробігу; $К_{ІД}$ - коефіцієнт використання вантажопідйомності.
Середньодобовий пробіг вантажного автомобіля оцінюється за формулою:

$$Л_C = W_E T_H, \quad (2)$$

де – W_E середня експлуатаційна швидкість, км/год; $Т_Н$ - час перебування машини наряді протягом робочого дня.

Потребу в ТЗ точніше визначають під час планування перевезень певних вантажів в установлені терміни. Для цього розраховують час одного рейсу, кількість рейсів за робочий день з урахуванням специфіки робіт. Враховуючи фактичну вантажопідйомність машини, визначають обсяг вантажу, який одна машина може перевезти за день. Потім, поділивши загальний обсяг вантажообігу на обсяг вантажу, перевезеного однією машиною за робочий період, знаходять необхідну кількість машин.

Для визначення загальної потреби в ТЗ на запланований період при перевезенні всіх видів вантажів обчислюють необхідну кількість вантажних автомобілів для кожного виду вантажу окремо. Створюється графік використання вантажних автомобілів на цей період. Після цього розробляються заходи для зниження напруженості транспортних робіт в СГП та визначається необхідна кількість вантажних автомобілів. Якщо спостерігається нестача вантажних автомобілів, частину робіт можна передати іншим видам транспорту чи залучити транспорт зі сторони.

Після проведення розрахунків з усіх видів вантажоперевезень становлять річний план транспортних робіт по підприємству та будують річні графіки використання різних видів ТЗ.

До управління процесами на СГП потрібний системний підхід. У центрі методології системного аналізу знаходиться операція кількісного порівняння альтернатив. Тому найбільш обґрунтованими та прийнятними стають методи оптимального планування, що базуються на використанні економіко-математичних методів у поєднанні з персональним комп’ютером (ПК). Вони відкривають необмежені можливості отримання необхідної кількості варіантів у вирішенні економічної проблеми. Перевага їх полягає у забезпеченні оптимальних рішень за короткий проміжок часу.

Для визначення потреб у вантажному автотранспорті та його раціонального складу найбільш ефективним є застосування методів економіко-математичного моделювання в поєднанні з сучасними ПК та пакетами прикладних програм, що дає значні переваги порівняно з іншими методами: по-перше, забезпечується повна реалізація принципу системного підходу; по-друге, підвищується швидкість і якість розробки планів; по-третє, з'являється можливість реалізації багатоваріантного підходу до вирішення завдань; по-четверте, надається можливість оперативного коригування планів у відповідь на зміни внутрішніх та зовнішніх факторів виробництва.

Оптимальне планування виходить із таких методологічних передумов. При плануванні виробництва завжди задля досягнення однієї й тієї ж мети є кілька шляхів. Одні з них більш ефективні, інші менш ефективні. Така багатоваріантність обумовлена взаємодією множини умов та факторів та їх порівняно широкою взаємозамінністю. План у разі

розглядається як функція множини змінних величин, пов'язані між собою найскладнішими взаємозалежностями.

Розглядаючи питання критеріїв оптимальності, слід зазначити, що оптимізація рішень досягається не лише шляхом визначення критерію оптимальності та вибору найкращого варіанту на його основі. Наближення до оптимуму забезпечується правильним визначенням усіх основних умов реального економічного процесу, які знаходять своє відображення в різних компонентах економіко-математичної моделі: в обмеженнях за продукцією та ресурсами; у способах виробництва, що описують варіанти використання ресурсів з точки зору витрат і ефективності; та в інших аспектах.

Вигляд і характер математичної моделі залежать від взаємозв'язків і взаємозалежностей факторів. Взаємозв'язки одних факторів можуть бути описані системами лінійних рівнянь та нерівностей, інших – рівняннями та нерівностями вищого порядку, третіх – на основі кореляційного аналізу, четвертих – з використанням теорії ймовірностей тощо. Така різноманітність взаємозв'язків факторів, що характеризують виробничу діяльність СГП та можливостей їх опису формі сприяло розробці низки економіко-математичних моделей: балансових, економіко-статистичних, оптимізаційних.

Все це свідчить про те, що завдання відносно оптимального формування та використання автомобільного транспорту в СГП можна подати у вигляді оптимізаційної моделі в рамках лінійного програмування. Підсумовуючи вищевикладене, можна відзначити, що проведені дослідження теоретичних та методичних основ організації транспортного забезпечення в аграрній сфері дозволили:

- сформулювати особливості автотранспорту як галузі народного господарства, що не виробляє нової продукції, а лише бере участь у її створенні;
- виявити специфіку роботи автотранспорту в сільському господарстві, яка проявляється в сезонності його використання, у поєднанні основного технологічного процесу з транспортуванням, неможливості здійснення принципу безперервності, при виконанні сільськогосподарських робіт автотранспорт пересувається земельною ділянкою, предмети ж праці залишаються на місці до збирання врожаю, принцип поточності можливий лише на окремих стадіях виробництва;
- обґрунтувати можливість та доцільність використання методів економіко-математичного моделювання, сучасних ПК, інших технічних засобів та програмних комплексів для розробки планів формування та використання автотранспорту в СГП, а також для вдосконалення управління та контролю за його діяльністю на основі автоматизованих систем обробки інформації.

UDC: 658.7:005.94:502.131.1

THE IMPACT OF DIGITALIZATION ON THE PARAMETERS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF A CORPORATE LOGISTICS SYSTEM

O.Ye. Ruban, *Student of Group TT-24M,*
A.O. Mironova, *Student of Group TT-24M,*
V.V. Aulin, *Prof., Dr. Tech. Sci,*
S.V. Lysenko, *Assoc. Prof, PhD tech. sci.*
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Digitalization should be based on one or more technologies that drive a digital breakthrough in a particular sector. A digital breakthrough is similar to a vortex—an inevitable movement of different industries toward a "digital center," where business models, products, and supply chains become highly digitized. In turn, digital technologies contribute to the creation of new business models that deliver new value to customers.

The digitalization of industries occurs unevenly. Global leaders in technology are predominantly sectors that produce information products. Digital leaders have advantages in innovative technologies, flexibility, speed, risk-taking, and system agility.

Digital transformation is an organizational transformation that integrates digital technologies and business processes into a corporation's digital business model. Therefore, it is proposed to use the term "transformation" rather than "change," emphasizing that the digital transformation of an enterprise, company, or organization goes far beyond functional thinking and holistically addresses the complexity of actions required to seize opportunities or mitigate threats arising from digital technologies. From the perspective of corporate logistics, digital transformation is fundamentally related not only to technology but also to strategy. This means that top management teams must find ways to benefit from an innovative logistics business model that optimizes customer needs and experience.

The main characteristics of digital transformation in corporate logistics systems include:

1. Digitalization significantly changes the competitive environment of all logistics systems.
2. Most industries have already experienced some degree of digital transformation, and the sector understands the trends of digitalization in its market.
3. Corporate structures follow a sequential approach to digital transformation of their business model at all levels, whereas non-corporate structures tend to adopt technologies chaotically as a reaction to digital developments.
4. Most logistics systems still underestimate the potential of digitalization in operational activities and supply chain redesign.
5. There is no single undisputed leader in digitalization among industries, but each industry has its own leading indicators.
6. Most corporations underestimate or ignore potential threats posed by digital transformation.
7. The pace of transformation remains slow, even though corporations constantly face rapidly growing digital competition.
8. External integration of digital technologies is often underestimated as corporations strive to maintain leadership within their respective markets.

The main drivers of digital technology development in corporate logistics systems include: new opportunities for process improvement and optimization of problem areas; changes in other corporate systems; shifts in the competitive environment; and pressure from both industry corporations and IT service providers.

For consistent and systematic digital transformation of a corporate logistics system, decision-making and technology implementation should begin at the highest levels of corporate governance and be executed locally. The tasks at each level of digital transformation management are presented in Table 1.

Table 1 – Tasks for Implementing Digital Transformation of Corporate Logistics Systems

Level of Digital Transformation Management	Tasks
Corporate Management	Development and implementation of the corporation's digital strategy. Design of a digitalization KPI system. Selection of priority functional areas for digitalization of corporate systems. Distribution of responsibilities in strategy implementation. Achievement of sustainable development goals.
Function T	Ensuring flexibility of the corporation's IT and digital capabilities. Defining the role of IT functions in the corporation's overall digitalization process. Budgeting for the digital transformation process.
Production and Product Development Function	Ensuring the implementation of adopted digital technologies in production. Adapting the portfolio of products and services for digital change management.
Digital Process Management Function	Ensuring full development of digital technologies in operational processes. Administration of processes and activities for digitalization of logistics systems. Monitoring the level of dynamic adaptation.
Distribution and Customer Relations Function	Identifying the share of digital customers. Determining the share of digital sales. Analyzing market and competitor digitalization. Analyzing digitalization of intermediaries.
Quality Control and Service Function	Analyzing the impact of digital changes on customer relations and service. Developing digital customer support.
On-site Work of Structural Units	Ensuring horizontal and vertical communication and feedback. Ensuring mobility.

Today, leading corporations have a clear understanding of how and which digital technologies will impact logistics systems. At the same time, 12% of corporate logistics systems are evaluated as being above the level of global digitalization, 24% operate with technologies at the market level, 52% plan investments in the active development of digital technologies, and 12% focus only on stable, well-established technologies.

The main results of digitalization in corporate logistics systems should include:

– ensuring full visibility and transparency of the logistics system;

– increasing flexibility and responsiveness of the supply chain;

– rapid synchronization of demand and supply to adjust the assortment and production volumes;

– effective communication among all participants in the corporation’s logistics system;

– structuring and analyzing large volumes of corporate data;

– optimizing the management of information flows accompanying transactions;

– improving logistics services;

– operational efficiency of the logistics system;

– corporate risk management.

Based on the analysis of well-known methodologies for assessing the level of digitalization, it is possible to compile a ranking across six groups of indicators most significant for evaluating the digitalization of corporate logistics systems in the context of sustainable development:

1. Digital technologies – the set of technologies and the digital infrastructure considered in each methodology.

2. Regulatory framework – a group of indicators that includes the legal and regulatory base necessary for realizing a country's economic potential considering certain technologies, as well as the level of development of digital public services, etc.

3. Level of competence – reflects knowledge, skills, and proficiency in digital technologies, as well as demand, supply, experience, and potential in this field.

4. ICT integration – essential for assessing the level of digitalization in inter-corporate logistics systems.

5. Costs of digitalization – more detailed information on this group is provided by the methodology for calculating the e-intensity index.

6. Sustainable development goals – evaluates digitalization from the perspective of the 17 Sustainable Development Goals, including environmental and social aspects.

An analysis of existing methodologies for assessing the level of digitalization shows that each represents a way to analyze and compare companies and regions by their digitalization level.

After the implementation of the Industry 4.0 concept and the increasing commitment to digitalization, more data became available in the areas of product and logistics process design, quality control, and enterprise (corporate) condition monitoring. While Industry 4.0, as a paradigm, focuses on quick responses to market competition and meeting customer needs, sustainable development has significant potential, which is now receiving growing attention. This is primarily interpreted as creating sustainable corporate value. On a broader scale, mature digital technologies facilitate the transition to a circular economy, reducing overproduction, energy consumption, and waste, thereby moving toward more sustainable corporate development.

Value creation in Industry 4.0 can be represented and characterized in Table 2.

Table 2 – The Impact of Industry 4.0 on Value Creation in Corporate Logistics Systems

Components of the Corporate Logistics System	Characteristic
Logistics Model	New models are based on intelligent data and offer customers functionality and access rather than ownership of the product. New models emerging include: Product-Service Systems (PSS) – logistics service systems where the company offers a combination of products and services (with the focus shifting from the material flow toward the service component) compared to the traditional emphasis on material flow. PSS can be implemented using smart products and provide the best solutions to meet user needs.
Supply Chain and Product Life Cycle	Enterprises are digitally connected throughout the entire supply chain and across the product life cycle, thereby ensuring real-time value creation. Blockchain technologies are applied for secure equipment management and for providing new services across the network by enabling transparent transactions among participants.
Product	"Smart" products will actively support the manufacturing process. The product independently makes decisions regarding specific production stages and initiates appropriate measures in the event of malfunctions.

Continuation of Table 2

Components of the Corporate Logistics System	Characteristic
Logistics Processes	New manufacturing technologies, such as additive manufacturing, are increasingly being applied, enabling the design of new complex logistics processes.
Personnel	Production workplaces are at risk of being automated. People will be significantly affected by the increased volume of work requiring new knowledge and by the uncertainty of tasks.
Organizational Structure	The decision-making process is shifting from centralized management toward decentralization. Customer orders autonomously coordinate their path through the supply chain, while logistics processes are optimized on demand and in real time.
Equipment	Autonomous, self-organizing production equipment with high adaptability to changes in terms of product, process, organization, and human factors is replacing passive production systems.

Digitalization contributes to the development of new corporate models. To support sustainable development, business models can perform both direct and indirect functions. By contributing to the achievement of at least one of the Sustainable Development Goals (SDGs), a corporate model can directly support sustainable development. Indirectly, by selling functionality instead of material products, it is possible to create greater value for more people while consuming fewer resources.

The results of assessing the impact of Industry 4.0 technologies on the sustainable development of the corporate logistics system are presented in Table 3, where the positive impact of Industry 4.0 is indicated with a plus (+), the negative impact with a minus (−), and a neutral impact with zero (0).

Table 3 – Assessment of the Impact of Industry 4.0 Technologies on the Sustainable Development Parameters of the Corporate Logistics System

Industry 4.0 Technologies	Product and Material Flow	Logistics Processes	Personnel	Organization
Environmental Aspects of Sustainable Development				
Amount of Materials Used	-	+	0	+
Share of Reused Materials	+	+	0	+
Amount of Waste	+	+	0	+
Energy Consumption	-	-	0	-
Water Consumption	0	+	0	+
Emissions	0	0	+	+

Continuation of Table 3

Social Aspects of Sustainable Development				
Pollution	+	+	+	+
Working Conditions	+/-	+	+/-	+
Information Transparencyl	+	+	+	+

The increasing implementation and use of intelligent logistics systems may lead to a higher share of renewable energy sources. In addition, electric-drive-based vehicles are likely to be used more frequently within optimized decentralized networks. Technological equipment in production processes will likely be more efficiently controlled through ICT. All these changes can result in reduced pollutant emissions and noise, positively impacting society.

One of the most important indicators of social sustainability is working conditions under Industry 4.0. With technological advancements in manufacturing, changes in working conditions are expected. Increasing use of ICT will facilitate fast and reliable communication between production equipment and lead to the replacement of manual labor. Workers in Industry 4.0 environments will require new and higher qualifications. They must also be able to adapt to shorter and faster life cycles of corporate systems and to the unprecedented transparency of production processes, which positively impacts professionalism levels.

Blockchain technologies are used to share data and enhance security in supply chains and production processes. These features can be leveraged to track sustainability-related indicators such as child labor or resource origin and make them available to stakeholders and decision-makers.

Thus, this study provides an assessment of the potential of Industry 4.0 in contributing to sustainable development. The research focused on the environmental and social dimensions of sustainability from the perspective of corporate logistics systems. The assessment shows that value creation factors can largely have a positive impact on the environmental dimension of sustainability. Critical areas with expected negative contributions, such as material consumption, primary energy use, social issues, and workforce challenges, were identified and discussed.

УДК: 656.1.052:625.7/.8:519.863

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СХЕМИ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ В ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТА

В.В. Маган, *ст.гр. ТТ-23мб*
В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук,
С.В. Лисенко, *доц., канд. техн. наук,*
О.М. Лівіцький, *канд. техн. наук,*
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
О.Л. Ляшук, проф., д-р техн. наук
Тернопільский національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна

Для виявлення характеру залежності різних параметрів транспортних процесів (ТП) було проведено низку експериментів. Одним з них є визначення частки перенаправлення транспортних засобів (ТЗ) у транспортному потоці.

Проведено соціологічне опитування серед водіїв з метою дослідження вибору маршруту руху в транспортній мережі. Дане опитування включало наступні завдання:

- виявлення ступеня впливу характеристик транспортної інфраструктури прийняття рішення про вибір маршруту руху учасниками дорожнього руху;
- аналіз закономірностей, пов'язаних із вибором маршруту руху учасниками дорожнього руху залежно від поточної транспортної ситуації.

Була розроблена анкета з метою оцінки уподобань водіїв та виявлення їх пріоритетів при виборі маршруту. Отримані дані після аналізу дозволили визначити, фактори, що найбільше впливають на вибір маршруту. Вони допомогли у формуванні рекомендацій щодо організації руху в транспортній мережі залежно від конкретних характеристик схеми руху.

Кожному респонденту було представлено схему транспортної мережі, що включає різні маршрути руху при різних коефіцієнтах завантаження інфраструктури. Представлені маршрути мали характеристики, такі як довжина маршруту, прогнозований час у дорозі та якість поїздки. Респондентам пропонувалося оцінити надану інформацію та зробити вибір маршруту, який найбільше відповідає їх перевагам серед запропонованих варіантів. В рамках опитування були представлені різні схеми вулично-дорожньої мережі (ВДМ), включаючи прямокутну схему, магістрально-прямокутну схему, трикутну схему, діагонально-прямокутну схему та радіально-кільцеву схему (рис. 1).

Водіям було надано такі критерії для оцінки запропонованих схем руху:

– стан ВДМ за значення коефіцієнта завантаження мережі в 4-х діапазонах: $z<0.5$ (Схеми A1, B1, C1, D1, E1), $0.5 < z < 0.7$ (Схеми A2, B2, C2, D2, E2)), $0.7 < z < 0.9$ (Схеми A3, B3, C3, D3, E3), $z> 0.9$ (Схеми A4, B4, C4, D4, E4));

– значення протяжності маршруту з входу до виходу транспортного засіб з побудованої мережі (км.); значення часу руху об'їзними шляхами (год.).

– характеристики якості поїздки за пропонованим маршрутом (за критерієм рівня обслуговування мережі за даним представленим маршрутом); кількість вузлів (перехрестів - од.) в дорозі даним маршрутом.

Проведене опитування серед водіїв різних груп, включаючи жінок та чоловіків, професійних та приватних водіїв, а також представників різних вікових та дослідних категорій, дозволило зібрати цінні дані про переваги та пріоритети водіїв при виборі маршруту руху. Основний висновок, зроблений на основі аналізу результатів опитування. У тому, що вибір водія залежить від відносних відмінностей між різними маршрутами, а не від

характеристик кожного маршруту окремо. Є водії оцінюють "вигідність" відмінностей між пропонованими маршрутами.

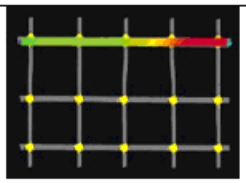
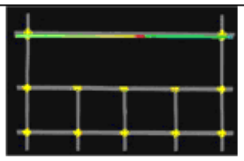
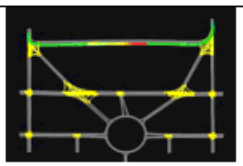
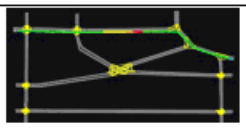
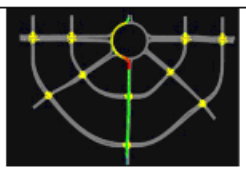
	Схема вулично-дорожньої мережі	Побудована схема в *Vissim*
1	Прямокутна (Схема A)	
2	Магістраль -прямокутна (Схема B)	
3	Діагонально-прямокутна (Схема C)	
4	Трикутна (Схема D)	
5	Радіально-кільцева (Схема E)	

Рисунок 1 – Схеми транспортної мережі пропоновані в опитуванні водіїв

Результати опитування послужили основою для впорядкування та зведення даних у таблицю 1, що, ймовірно, допомогло виявити найбільш значущі критерії та фактори, що впливають на вибір маршруту водіїв.

Таблиця 1 – Анкета обліку учасників опитування (Фрагмент)

№ анкети	Стаж водіння	Стать	Кількість заторів	Ціль поїздки	Зміни маршруту	Важливий критерій маршруту	Вибір маршруту				
							A	B	C	D	E
1	1-2 роки	Чоловічий	1-2	1	X	5	4	4	4	4	4
2	Понад 5 років	Чоловічий	0	4	X	2	6	4	5	1	1
3	Понад 5 років	Жіночий	1	10	-	6	5	4	4	2	3
4	1-2 роки	Жіночий	<2	8	X	0	6	4	4	3	2
5	2 - 5 років	Жіночий	1	6	X	1	5	5	2	3	2
6	1-2 роки	Чоловічий	1-2	7	-	2	6	4	2	3	4

Це дозволило більш точно визначити, які характеристики маршрутів важливі для водіїв та які з них мають найбільшу вагу під час ухвалення рішення про схему маршруту руху через мережу. Ці результати, у свою чергу, могли бути використані для формування рекомендацій щодо організації руху в транспортній мережі, враховуючи переваги та пріоритети водіїв.

За результатами аналізу зібраних даних зроблена попередня оцінка впливу різних характеристик варіанту дорожнього руху на вибір водіїв ТЗ:

1. Домінальний маршрут з погіршенням умов руху притягує до себе привабливість вибору в порівнянні з іншими маршрутами за рахунок зростання ΔI. При цьому домінантним маршрутом завжди являється маршрут у якого $\Delta I = \max$ при $z \to 1$

2. ΔI розрахунок при зростанні z.

3. Зі зростаннямz, спочатку відбувається притягування уваги на всі альтернативні маршрути наступним переходом уваги на домінальний маршрут.

Результати проведеного опитування були піддані аналізу з використанням різних методів. Перед вибором методу нейронних мереж дані цього опитування були оцінені за допомогою програмного забезпечення SPSS, широко використовуваного для аналізу результатів досліджень, заснованих на відповідях водіїв ТЗ. Крім того проведено аналіз регресіх за допомогою Microsoft Excel.

У SPSS ймовірність помилки p має різні позначення. Зазвичай у SPSS значення p позначається Sig. (Significant). Існує встановлена термінологія, що застосовується до довірчих інтервалів ймовірності:

– висловлювання з ймовірністю помилки p <= 0,05 вважаються значущими;

– висловлювання з ймовірністю помилки p <= 0,01 вважаються дуже значущими;

– висловлювання з ймовірністю помилки p<=0,001 вважаються максимально значущими.

На основі отриманих результатів можна зробити такі висновки:

- отримання узгоджених значень параметрів оцінки в аналізованих масштабах між різними маршрутами виявилося неможливим.

- на тому самому маршруту руху неможливо отримати узгоджені значення параметрів оцінки щодо різних дорожніх ситуацій за різних значеннях z .

Метод SPSS був застосований спільно з методом регресії в Excel , проте результати аналізу даних виявилися ідентичними попереднім результатам.

УДК: 658.7:339.542:004.9

ВИРІШЕННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОБЛЕМ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЦИФРОВІЗАЦІЄЮ ПРИ ПРОХОДЖЕННІ МИТНОГО КОНТРОЛЮ

В.А. Побива, *ст.гр ТТ-24М,*
Д.В. Папуша, *ТТ-24М,*
В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук,
А.В. Гриньків, *ст. дослідник, канд. техн. наук*
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Логістичні проблеми транспортування становлять насьогодні серйозну загрозу (рис. 1).

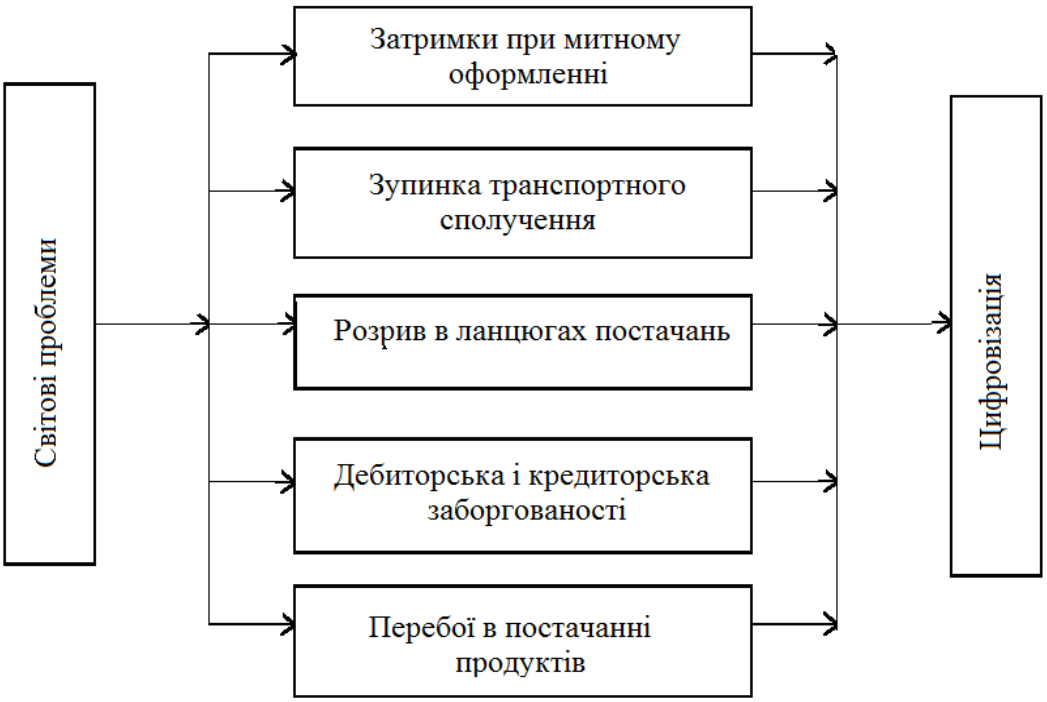


Рисунок 1 – Логістичні проблеми транспортування

Останні кілька десятків років із переїздами через митний контроль стає дедалі складнішим, оскільки з'являються нові методи перевезень через кордон мігрантів та товарів, які не відповідають нормам контролю приймаючої країни.

У багатьох країнах митний контроль давно перейшов на цифровізацію. Вже використовують систему пропуску через мобільні сервіси, а також систему контролю вантажів, що перевозяться, за допомогою великих рентгенівських апаратів. Процес перевезення товару через кордон налагоджений і дозволяє легко справлятися з жорсткістю завдяки інноваційним технологіям, введеним раніше.

Цифровізація митниці почала з'являтися з розвитком міжнародної торгівлі. Закордонні митниці є налагодженим механізмом з цифровізацією митних процесів, у якому людської праці стає дедалі менше. Цілком прибрати людську працю поки що неможливо, хоча до цього й прагнуть, бо є функції, які неможливо дозволити виконувати роботу. Термін цифрова митниця складається з використання інформаційно-комунікаційних технологій, баз даних, хмарних технологій, поєднуючи інформацію, одержану шляхом технологій

електронної митниці, а також глобальної мережі Інтернет, ЗМІ та стільникових мереж. Завдяки технологіям митниці уникають великої кількості паперів до електронних документів.

Окрім електронного документообігу на кордонах у багатьох країнах застосовуються автомобільний рентген, який дозволяє виключити ручний огляд, а також перевезення контрабанди та товарів, що не відповідають документації. Якщо виникає спірна ситуація у справу вступають працівники митниці і здійснюють повний огляд транспортного засобу (ТЗ).

В Україні її митний кордон дуже відрізняється від сучасних світових стандартів. Основна робота також відбувається шляхом перевірки паперових документів, що значно підвищує час проходу через кордон. Погодження документів на ввезення та вивезення вантажів відбувається в ручному режимі, хоча заповнена декларація також надсилається заздалегідь.

Єдина цифровізація у Україні виглядає як зняття відбитків пальців. Ця умова є обов'язковою і для водіїв, які провозять вантаж, і для простих людей, які перетинають кордон.

Якщо говорити про Україну, то перевезення всередині країни знаходяться в трохи кращому положенні, ніж міжнародні доставки, але все одно вони далекі від досконалостей.

Вантажне транспортне сполучення одне з найдорожчих у транспортуванні, але при цьому найшвидше. Таку доставку можуть собі дозволити тільки великі компанії, які замовляють великі партії або ті, для кого час доставки важливіший за грошові кошти.

Закриваючи кордони у всіх країнах, різко погіршилося транспортне сполучення, у деяких країнах, таких як німецька авіапромисловість практично зупинилася, скорочення перевезень як вантажних, і пасажирських зменшилося майже 96 відсотків проти минулим. Найшвидший транспорт по доставці вантажів виявився недоступним для підприємств, піддаючи цим простої у роботі державних підприємств військової промисловості та різних малих підприємств.

Великою проблемою є ще й той факт, що на даному етапі невідомі терміни вирішення ситуації, що склалася. Приблизні прогнози постійно відкладаються, що завдає серйозних фінансових втрат. Організації різних країн подають прохання державним структурам послаблення обмежувальних заходів.

Зараз при спробі перенести виробництво комплектуючих до себе додому, автовиробники зіткнулися з тим, що витрати на логістичні послуги, а так само на час витрачений на переобладнання підприємств не доцільно, і буде дешевше оплатити простій у виробництві втративши кілька сотень мільйонів, ніж втратити кілька мільярдів. збудувати кілька нових підприємств. За які надалі треба буде сплачувати податки та платити велику заробітну плату співробітникам. Саме тому зараз усі шукають рішення, як вийти із цієї ситуації.

Дебіторська та кредиторська заборгованості є проблемою, яка завжди була актуальною для різних компаній. Дебіторська чи кредиторська заборгованість організацій найчастіше виникає внаслідок невиконання договірних зобов'язань однієї зі сторін перед іншою. На загальний стан підприємств позначається кількість дебіторську заборгованість.

Дебіторська заборгованість, що зростає, тягне за собою кредиторську. Організації не вистачає коштів на оплату боргів. Для погашення старих зобов'язань організації вступають у нові, цим збільшуючи розміри боргів. Тому що для оплати заборгованостей потрібні фінанси, яких зараз не вистачає у компаній на видачу заробітних плат, але при цьому підприємство має працювати, тому що від неї залежать інші організації у ланцюзі постачання.

На підтримку бізнесу уряд виділяє великі кошти, і навіть різні заходи підтримки. Але не всі компанії можуть дозволити собі скористатися державною підтримкою, оскільки не підходять під певні критерії. внаслідок чого дебіторська та кредиторська заборгованості зростають. Ситуація нині посилюється глобальним збільшенням попиту на продовольство.

Навіть найменший захід, що впливає на вільне переміщення людей і товарів, буде ще більше напружувати глобальний продовольчий ланцюжок.

Україна здатна існувати самостійно, забезпечуючи себе сама. Стосовно сільського господарства, в країні немає проблем, все працює у звичайному режимі, перебоїв у постачанні кормів немає. Є незручності для певних добавок, які можуть доставляти з інших країн, але особливих проблем це не приносить, оскільки добавки такого роду рідко застосовуються і не завжди ефект помітний.

Світова криза позначається на кожній країні по-різному, варто сказати, що одними з постраждалих є організації, які надають логістичні послуги. Діяльність, якій вони звикли присвячувати весь свій час, не може продовжувати працювати в тому ж режимі. Кількість клієнтів різко скоротилася і продовжує зменшуватись. Логістика була готова до такого розвитку подій. Найбільше зараз страждають ті компанії, у власності чи оренді яких є транспорт. Оренда коштує грошей, власний транспорт теж потребує фінансових витрат, оскільки машини повинні знаходитися у спеціальних гаражних приміщеннях або на місцях для паркування.

З цієї ситуації можна було б спробувати вийти за допомогою здачі транспорту в оренду іншим підприємством, але сьогодні мало кого цікавить транспорт, коли обмеження пропускної спроможності кордонів. Логістичний бізнес зазнає величезних збитків продовжуючи чекати кінця епідемії і повномасштабної війни в Україні і працюючи з клієнтами, що залишилися.

На даний момент для відновлення рівноваги і стабілізації ситуації, що склалася, потрібно вирішити не одне завдання з усіх обраних, а вирішувати їх усіх разом.

Головною проблемою митниці стала недостатня цифровізація систем пропуску та оформлення документів. З метою цифровізації потрібно введення електронного документообігу та огляду автомобіля. У Європі багато країн перейшли на частину цих заходів для того, щоб зараз відстежувати всі вантажі, що потрапляють на територію країн та мінімізацію часу на проходження митних постів, потрібна повна оптимізація.

Для оформлення документів у різних країнах існують свої норми та свої декларації. Програма на телефоні або загальна програма в інтернеті дозволить, зайшовши на один сайт зробити та завантажити в базу автомобіль та водія, який керує транспортним засобом. Подання заяви, декларації, а також список усіх документів буде надано на сайті або у додатку, під'їжджаючи до кордону водій або керуюча підприємство зможе надіслати за кілька годин документи на обробку в електронному вигляді, що дозволить зберегти дорогоцінний час при обробці даних.

Об'єднання бази даних всіх країн неможливе з політичних міркувань, розробка даної програми не повинна лягати на одну країну для забезпечення мінімізації політичних конфліктів кожна країна може взяти за основу загальну базу або створити свою. Таким чином, цифровізуючи базу даних можна уникнути багатокілометрових пробок і сотень нервових водіїв.

Наступним кроком у цифровізації митних постів є проблема, з якою стикаються 100% водіїв, це огляд автомобіля, часом це займає кілька годин для того, щоб перевірити, чи є заборонені речовини чи контрабанда.

Другою проблемою, з якою зіткнулася більшість країн, це зупинка транспортного сполучення. Кордони закриті, логістика страждає через те, що жоден вид транспорту не може подолати ситуацію, що склалася. Простои транспорту призводять до величезних фінансових втрат. Кожна країна, яка вирішила запровадити закриття пропускного режиму, таким чином спробувала убезпечити себе.

Цифровим явищем проблеми може стати розробка особливої програми. Як відомо, на сьогоднішній день низка країн дозволила вільний в'їзд на свою територію для перевезення вантажів, але є й ті, хто запровадив дозволи з низкою умов, до яких входить те, що в країну можна в'їхати не з будь-якої країни. Кожна країна відкриває свої кордони лише тим, кого

вважає безпечними. Щоб не влаштовувати простої транспорту та вантажу програма прокладатиме маршрут, який доступний саме зараз. Програма діятиме за принципом навігатора для прокладання вигіднішого маршруту з урахуванням зовнішньополітичних даних.

Крім цього, у програму можна завантажити декларацію для проходження кордонів та надіслати. Після приїзду автомобіля кожна межа матиме у своїй базі даних заповнений документ, водієві залишиться лише подати документи на машину та його особисті.

Розробка подібної системи зможе трохи стабілізувати ситуацію для автомобільного транспорту.

Наступна проблема пов'язана з розривом у ланцюжку постачань. Більшість середніх і великих заводів, організацій звикли замовляти все необхідне у закордонних постачальників, оскільки це набагато вигідніше, ніж робити замовлення у своїй країні, але річ у тому, що зараз це стало неможливим. Підприємства починають відставати від запланованих графіків, логістика не може доставляти сировину та матеріали точно вчасно, це призводить до застою у виробництві. Хорошого постачальника знайти складно, особливо якщо є той, з яким налагоджено багаторічну роботу.

Досить хорошим рішенням може стати програма, що включає загальну базу даних. До неї входять усі підприємства та організації з будь-яких сфер життя. База даних складається із організацій, що знаходяться на території однієї країни.

Заходячи в програму у вікно, можна вписати сферу, яка цікавить. Програма видасть широкий перелік більш конкретних областей, переходячи в певну, буде вказано весь список організацій, що надають дані послуги, їх контакти та вся необхідна інформація.

Цей сайт може бути корисним для багатьох організацій. Вони зможуть знайти гідну заміну для того, щоб не переривати роботу під час пандемії. Звичайно ж, це може виявитися витратним рішенням у плані фінансів і часу, оскільки поставки з-за кордону можуть бути дешевшими, а ще й час було витрачено, але це не скасовує того факту, що організації зможуть протриматися на плаву якийсь час. Будуть і ті компанії, які зможуть зрозуміти, що вітчизняний виробник матеріалів теж може бути добрим і вигідним, тож і після закінчення всіх заборон вони залишаться хорошими партнерами.

Дебіторські чи кредиторські заборгованості роблять організації залежними від зростання фінансових зобов'язань. Клієнти не платять виробнику за його товар, виробник не може сплатити логістичній компанії за надані послуги, а логістична підприємство затримує оплату організації, яка надала транспорт та послуги водія, а транспортники не можуть виплатити заробітну плату водіям за перевезення.

Такий борговий ланцюжок призводить до краху, всі сторони ланцюжка підраховують хто кому і скільки винен, сподіваючись на чуйність і розуміння, але нічого не відбувається. Кожна «постраждала» організація намагається й надалі займатися своєю діяльністю та покривати частину боргів, але заборгованості не припиняють зменшуватись. Дехто починає розуміти, що без кредитних позик вибратися із ситуації буде складно. Зробивши операцію та виплативши за рахунками, вони також ростуть, що призводить їх до банкрутства.

Розроблена програма допоможе керівникові відстежувати фінансові проблеми самостійно в реальному часі. З її допомогою більше не треба буде постійно звертатися до бухгалтерії за актом звірки, все можна буде переглядати самостійно.

Завдяки регулярним оновленням програми, керівник підприємства також може переглянути державні пропозиції щодо виплати заборгованостей та одразу за необхідністю надіслати їх до електронного документообігу.

Говорячи про Україну, варто згадати той факт, що несплати та прострочення за договірними зобов'язаннями є справді серйозною проблемою. Не всі транспортні компанії здатні здійснювати діяльність з 100% передоплаті, більшість у умовах ринкової економіки та жорсткої конкуренції змушені працювати з відстрочками по платежах. За рахунок цього з'являється багато організацій, які вважають, що оплату за логістичні послуги можна і

відкласти, незважаючи на строки. Є низка замовників, які накопичивши великі борги у різних підприємствох оголошують себе банкрутами та спокійно закривають бізнес. У таких випадках транспортні компанії не можуть стягнути борги.

Вирішення проблеми має знайти несподіваний поворот - законодавче підкріплення. Для захисту обох сторін від обману та несплати послуг потрібно внести пропозицію на законодавчому рівні щодо участі в угоді третьої незацікавленої сторони. Цією стороною виступатиме банк, у якому відкрито «ескроу-рахунок». Суть даного проекту полягає в тому, що замовник переказує кошти за перевезення вантажу на рахунок у банку, з цього рахунку неможливо зняти кошти не однією зі сторін доки не будуть зроблені всі договірні зобов'язання щодо перевезення вантажу. Дані гроші не можуть бути використані банком для здійснення власних операцій внаслідок чого відсоток на ці кошти не стягується і не нараховується. Після підтвердження угоди в електронному вигляді обох сторін гроші перераховуються логістичною компанією, що надає послуги. Якщо виникає конфліктна ситуація між сторонами, то гроші перераховуються однією зі сторін лише за рішенням суду, у разі невирішеного конфлікту.

Таким чином, провівши аналіз, стає видно, частина підприємств, організацій, діяльність яких раніше була спрямована на доставку вантажу великими партіями та особливими розмірами для підприємств та компаній вирішила піти у перевезення дрібного товару для фізичних осіб. Вони завантажують у машину товари та розвозять додому. Деякі водії привозять вантаж не додому, а до спеціальних пунктів видачі. У Україні прикладами подібних пунктів є великі металеві «шафи» з дверцятами камер різних розмірів. Людина, підходячи до пункту видачі, сканує QR-код або вводить номер замовлення, після чого потрібна кабінка відкривається для вилучення вмісту. Ці пункти розташовані у торгових центрах, магазинах та навіть банках.

Різні країни почали виробляти засоби захисту для продажу та для гуманітарної допомоги, відправляючи товар на експорт, на допомогу прийшла логістика. Логістичні компанії регулярно надають транспорт для перевезення вантажу до різних країн, і ця діяльність набирає обертів. Змінюючи стратегію, логістична організація набуває нової бізнес-моделі. Вона змінюється щоразу, коли керівництво підприємств, організації вирішує привнести у діяльність щось нове. Якщо рішенням буде переорієнтацією на нові споживчі ринки, у бізнес-моделі зміниться канали збуту, партнери, споживачі та багато іншого, залежить від того, як виглядала модель у початковій версії. Гнучка-бізнес-модель в організації, це запорука успіху.

UDC 629.33:001.895

DEVELOPMENT AND OPERATION OF THE SYSTEM OF INTEGRATED ELECTRONIC DOCUMENTATION AND INDIVIDUALIZED FORECASTING OF TECHNICAL MAINTENANCE OF TRUCKS

T.M. Nadych, *Postgraduate Student,*
V.V. Aulin, *Prof., Dr. Tech. Sci,*
A.V. Hrynkiv, *Senior Researcher, PhD tech. sci*
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

In modern conditions of operation of trucks, effective organization of technical maintenance (TM) and technical diagnostics (TD) processes is of particular importance. For this purpose, it is advisable to develop a System of Integrated Electronic Documentation and Individualized Forecasting (SIEDandIF) of trucks, which allows automating access to regulatory and technical information (RTI), optimizing the process of servicing vehicles and forecasting their technical condition. Such a system is an integral part of the digital transformation of the motor transport industry, aimed at increasing the reliability of vehicles and reducing operating costs.

The principle of horizontal integration is applied in the development of SIEDandIF, which involves the use of previously formed funds for similar systems. This allows you to significantly reduce the costs of creating new information blocks (IBs) by reusing existing regulatory and technical materials (RTMs). As a result, significant resource savings are achieved, and unification of approaches to servicing different models of trucks is ensured.

Information blocks, such as "Tools, equipment and devices", "Fuel and lubricants", "Spare parts and their interchangeability", have a hierarchical structure that is easily expanded by adding new components. Each block has its own directory containing RTMs with a detailed description of objects, their illustrations, technical characteristics and operating procedures. Information is grouped by purpose, functionality and classification features.

In addition to static data, SIEDiIP also integrates software and algorithmic tools for predicting the residual resource of vehicles. The algorithms are general in nature and can be adapted to different models and operating conditions of vehicles. This allows you to increase the accuracy of diagnostic conclusions and make maintenance individualized, that is, focused on the actual technical condition of the vehicle's components and assemblies.

The operation of SIEDandIF involves the use of electronic media with the possibility of multiple reproduction of the system. The system should work under any modern operating system, without making special requirements for the PC hardware. The main condition is stability, speed and protection of information from loss or distortion.

The software is organized in such a way that any user - even with basic PC skills - can easily use the system's functionality. All SIEDandIF blocks are placed in the appropriate directories in the general system folder. The main program (file "General") contains hyperlinks for access to information blocks.

The developed general algorithm for the user's work with SIEDandIF includes the following steps:

1. The procedure for turning on the PC and logging into the system.
2. Determining the type of maintenance being performed, followed by the selection of operations for this maintenance and configuring SIEDandIF in accordance with the task.
3. Logging into the configured system version and viewing the sequence of operations of the technological process in the "TD and Maintenance Operations" block.
4. Conducting vehicle diagnostics and collecting data on the residual resource of components.

5. Forecasting the resource and determining the required volume of vehicle maintenance.

Additionally, the SIEDandIF user manual provides:

1. Explanations on reinstalling the program in case of data loss;
2. Interactive diagram of transitions between information blocks;
3. Methods for forming records for forecasting;
4. Algorithms for entering diagnostic results.

The use of SIEDandIF TM of trucks at motor transport enterprises allows to increase the productivity of technical personnel, reduce the likelihood of human errors when performing maintenance, and also ensure high-quality training of new personnel due to clear access to regulatory and instructional information.

An individualized approach to determining the technical condition of a vehicle makes it possible to plan maintenance taking into account the real load and wear of units. As a result, downtime is reduced, the resource of components increases, the number of emergency breakdowns is reduced, and therefore the total costs of the enterprise for maintenance are reduced.

The SIEDandIF TM of trucks system allows:

- automate the processes of technical maintenance of freight vehicles;
- provide timely access to current technical information (RTI);
- predict the condition of vehicle units taking into account their real technical condition;
- reduce the costs of developing new information systems due to the reuse of existing data;
- increase the efficiency of personnel and resources of motor transport enterprises.

Thus, the implementation of SIEDandIF TM of trucks in the practice of motor transport enterprises and maintenance stations is a strategically appropriate step towards the digital modernization of the industry, which allows bringing the processes of maintenance and routine repairs to a qualitatively new level.

УДК: 631.153:656.13

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ ЗАСТОСУВАННЯМ ЛОГІСТИЧНИХ МЕТОДІВ

А.М. Зайцев, *асп,*
В.В. Аулін, проф., *д-р техн. наук,*
С.В. Лисенко, *доц., канд. техн. наук*
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Специфіка транспорту в агропромисловому виробництві (АПВ) полягає в тому, що він являється не тільки галуззю послуг по переміщенню продукції, а й приймає безпосередню участь в процесах виробництва сільськогосподарської продукції . Транспортні процеси в АПВ займають біля 30% усіх видів робіт по вирощуванню сільськогосподарської продукції.

АПВ характеризується сезонністю, а саме нерівномірністю періодів простоїв і пікових навантажень для ьранспортних засобів (ТЗ). Тому це повинно бути враховано при виборі транспортної стратегії в АПВ. Нерівномірість річного об'єму транспортних робіт в АПВ на прикладі ТОВ «Агрофірма ім.. Яновського» зображено на Рис.1.

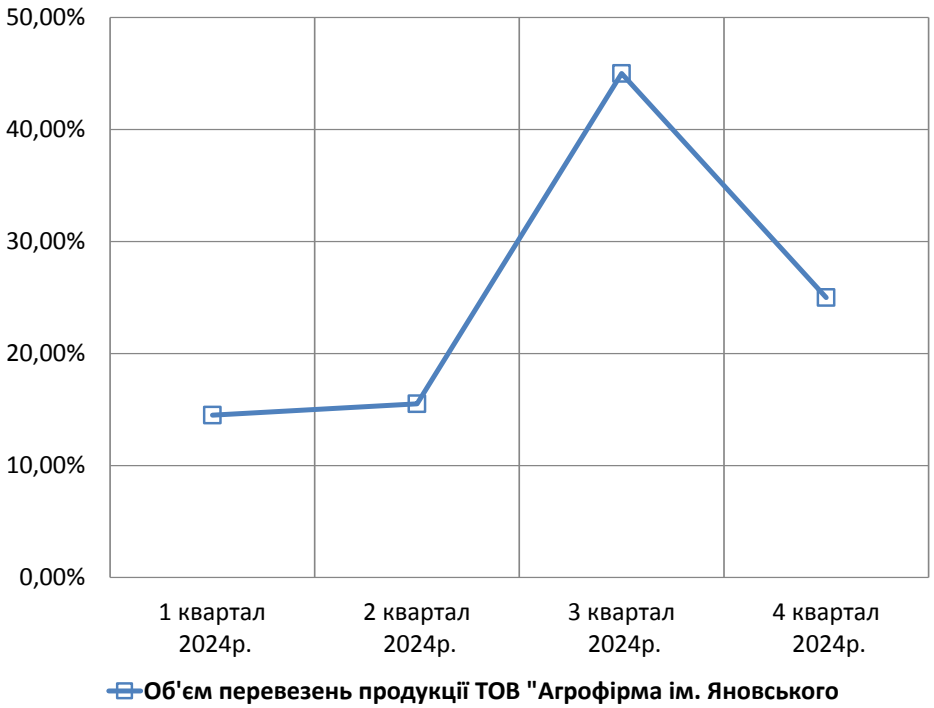


Рисунок 1 Річний об'єм перевезень сільськогосподарської продукції у відсотковому вираженні на ТОВ «Агрофірма ім.. Яновського» с.Голубієвичі, Новоукраїнський район, Кіровоградська область

Ефективність використання ТЗ в АПВ (Еσ) – це комплексний показник економічності, екологічності, ергономічності, продуктивності, надійності, маневреності і прохідності, а також безпечності ТЗ.

Основні критерії ефективності використання транспортних засобів в АПВ включають:

– економічність (Е1): Рівень витрат ресурсів на одиницю виконаної транспортної роботи (наприклад, витрата палива на тонно-кілометр, собівартість перевезення тонни вантажу);

– екологічність (Е2): Рівень негативного впливу транспортних засобів на навколишнє середовище (викиди шкідливих речовин, рівень шуму);

– ергономічність (Е3): Ступінь зручності, безпеки та функціональності ТЗ чи транспортної системи для людини, мінімізуючи фізичне та психологічне навантаження, підвищуючи ефективність та знижуючи ризик помилок;

– продуктивність (Е4): Обсяг виконаної транспортної роботи за одиницю часу (наприклад, тонно-кілометри на годину, кількість перевезених вантажів за зміну);

– надійність (Е5): Здатність ТЗ виконувати свої функції без відмов та простоїв протягом заданого періоду часу;

– маневреність та прохідність (Е6): Здатність ТЗ ефективно працювати в різних дорожніх та польових умовах, характерних для сільського господарства;

– безпечність (Е7): Комплекс та система правил, заходів і засобів, які спрямовані на захист і збереження життя і здоров'я учасниками дорожнього руху.

Враховуючи вищезазначене, показник загальної ефективності (Еᴤ), визначається виразом:

$$E_{\sum} = E_1 \cdot E_2 \cdot E_3 \cdot E_4 \cdot E_5 \cdot E_6 \cdot E_7 = \prod_{i=1}^{n} E_i \qquad (1)$$

З‘ясовано, що підвищення ефективності використання ТЗ призводить до зниження собівартості сільськогосподарської продукції, оптимізації логістичних процесів, зменшення енергоспоживання та підвищення конкурентоздатності підприємств агропромислового комплексу (АПК).

На основі результатів досліджень було запропоновано класифікацію логістичних методів підвищення ефективності використання ТЗ в АПВ (Рис.2).

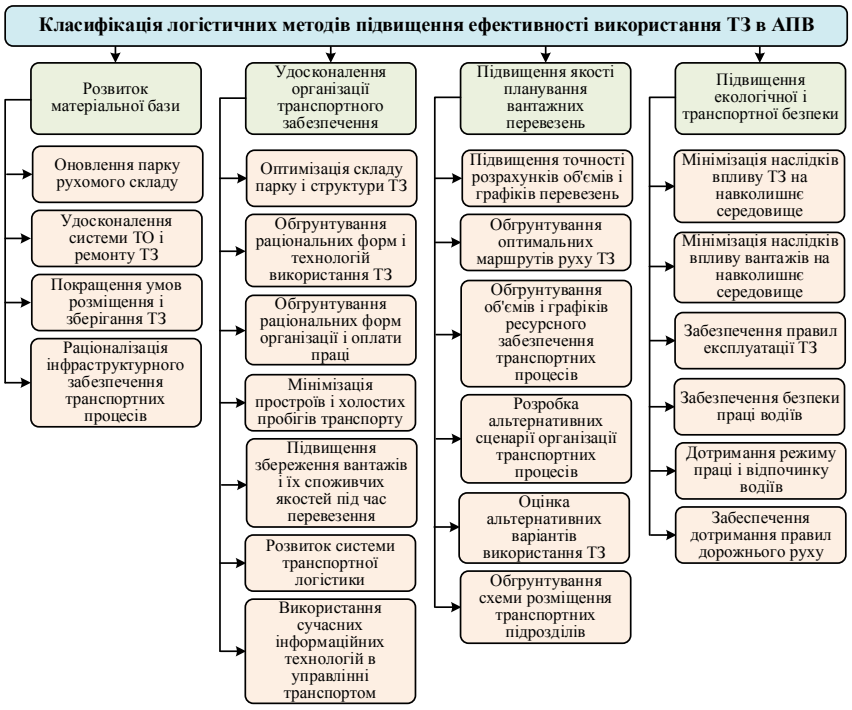


Рис.2 Класифікація логістичних методів підвищення ефективності використання транспортних засобів в агропромисловому виробництві

Таким чином, проведені дослідження показали, що застосування даних логістичних методів залежить від специфіки і розміру підприємства АПК, наявних ресурсів та інших факторів. Комплексний підхід поєднуючи логістичні методи, дозволяє істотно підвищити ефективність використання ТЗ в АПВ.

УДК 656:338

ВПЛИВ ВЕЛИЧИНИ ТИСКУ РОБОЧОЇ РІДИНИ НА НАДІЙНІСТЬ МЕХАТРОННОЇ ГІДРОСИСТЕМИ НАВАНТАЖУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ СМІТТЄВОЗІВ

А.А. Вовк, *ст. гр. АТ-22МБ*
Р.Ю. Речицький, *ст. гр. АТ-22МБ*
В.В. Тиворський, *ст. гр. АТ-22МБ*
Д.В. Голуб, *канд. тех. наук, доц.,*
В.В. Аулін, *докт. техн. наук, проф.*
Центральноукраїнський національний технічний університет, м Кропивницький, Україна

Мехатронні системи транспортних засобів потребують ретельного аналізу впливу різних груп факторів для підвищення їх надійності та ефективності функціонування [1-5]. У сміттєвозів з бічним і заднім завантаженням переважають несправності гідравлічної системи [6, 7]. Це пов'язано з тим, що при підйомі вантажів, маса яких перевищує гранично допустиму, в першу чергу навантаження доводиться на гідроциліндри. Також відбувається розрив шлангів, рукавів високого тиску. За результатами спостережень визначені структура і найбільш часті характерні причини відмов:

1. Гідравлічне обладнання сміттєвозів:

1.1 гідравлічні циліндри (35 %): зноси манжет, ущільнень, штоку; розриви гайок кріплень поршня до штоку; вигини штоку та механічні пошкодження;

1.2 гідронасос (16 %): знос корпусу і шестерень; витискання сальників; тріщини в корпусі;

1.3 трубопроводи і шланги (15 %): обриви шлангів і знос трубопроводів;

1.4 гідророзподільник (13 %): знос ущільнень та золотників; тріщини в корпусі.

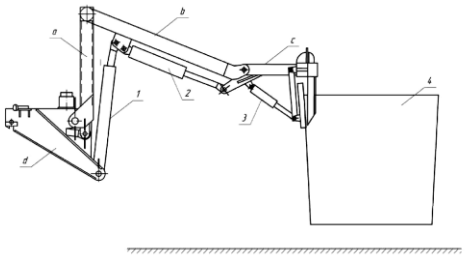
2. Металева конструкція:

2.1 маніпулятор (14 %): тріщини і злам стріли; тріщини основи; розриви зварних з'єднань;

2.2 надрамник, кузов (6 %): тріщини і вигин надрамника; деформації і тріщини кузова.

Необхідним є, визначення факторів, що впливають на величину тиску робочої рідини в гідросистемі сміттєвозів. Це просторове положення навантажувального обладнання під час зважування, кут нахилу автомобіля відносно горизонтальної поверхні і маса вантажу, що піднімається. До початку планування експерименту необхідно вибрати область визначення факторів, тобто верхню і нижню межу зміни кожного фактору в реальних умовах експлуатації сміттєвозу. При цьому необхідно брати до уваги умови проведення процесу. Далі в області визначення виділити локальну підобласть для досліджень на фізичній моделі. Вибір цієї підобласті складається з вибору основного рівня і вибору інтервалів варіювання [6].

Просторове положення навантажувального обладнання сміттєвоза під час зважування наведено на рис. 1.



1 - гідроциліндр на зламі стріли; 2 - гідроциліндр для перекидання баку; 3 - гідроциліндр для захоплення; 4 - бак; a, b, c, d - робочі ланки маніпулятору

Рисунок 1 - Просторове положення навантажувального обладнання сміттєвоза при зважуванні баку з побутовими відходами

Дослідження просторового положення навантажувального обладнання на фізичній моделі є неможливим, а тому експеримент проводився безпосередньо на сміттєвозі з бічним завантаженням відходів (рис. 2).

Рисунок 2 - Положення маніпулятора сміттєвозу під час тарування

Область визначення підйомної маси вантажу, що впливає на тиск робочої рідини в гідроциліндрі гідросистеми сміттєвозу, лежить в діапазоні від 0 кг до 500 кг (рис. 3).

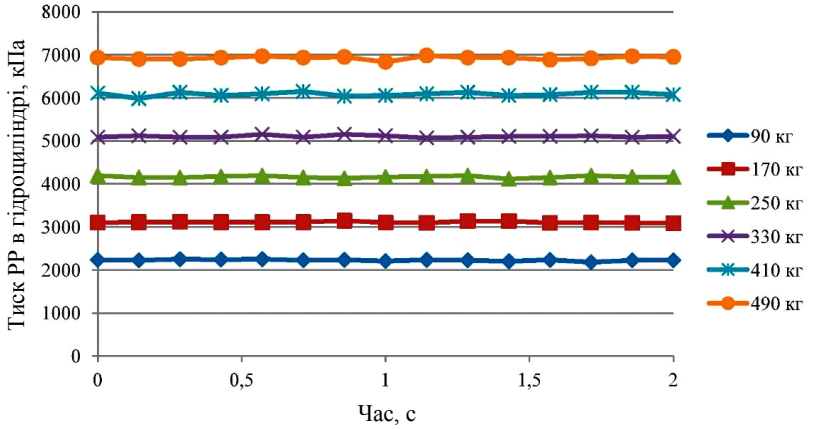


Рисунок 3 - Діапазон тисків робочої рідини в гідроциліндрі гідросистеми сміттєвозу під час підйому баків з побутовими відходами різної маси

Максимальне обмеження визначається конструктивними особливостями навантажувального механізму сміттєвоза і відповідає максимально допустимій масі підйомного вантажу, що впливає на зміну тиску в його гідросистемі [6] (рис. 4).

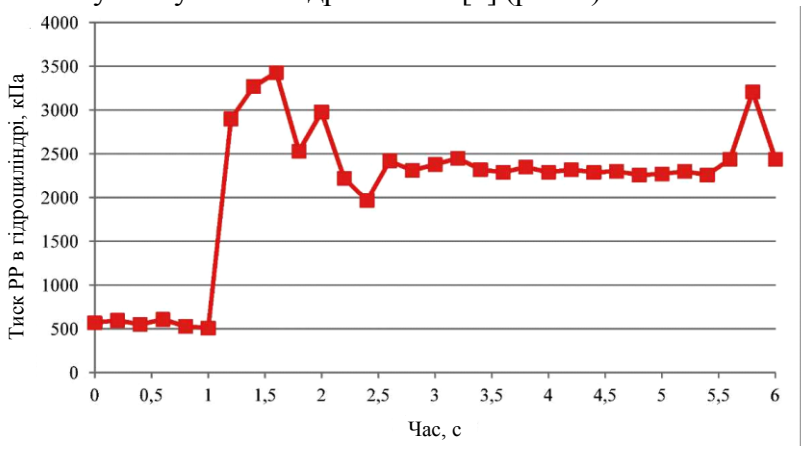


Рисунок 4 - Зміна тиску в гідроциліндрі гідросистеми сміттєвозу під час підйому баків з побутовими відходами

При виборі локальної підобласті для досліджень верхня межа вибиралася з урахуванням характеристик робочого стенду і склала 110 кг. В якості нульового рівня був вибраний центр підобласті - 55 кг. Враховуючи, що в межах густонаселеного міста збір побутових відходів здійснюється на спеціально підготовлених майданчиках, область визначення кута нахилу сміттєвозу відносно площини поверхні землі була вибрана в діапазоні від 0 до 70. Поява цього кута нахилу викликана нерівностями майданчика, на якому здійснюється збір побутових відходів. Для проведення досліджень на робочому стенді використовувалися такі ж значення кута нахилу. Нульовий рівень також був вибраний в центрі області - 3,50.

Інформацію по всіх трьох факторах для реальних умов експлуатації сміттєвозу (область визначення) і для практичних досліджень (підобласть визначення) наведено в табл. 1.

Таблиця 1 - Області і підобласті визначення факторів реальних умов експлуатації сміттєвозів

Експлуатаційний фактор сміттєвоза	Область визначення		Підобласть визначення	
	Нижня межа	Верхня межа	Нульовий рівень	Інтервал варіювання
Просторове положення навантажувального обладнання, градусів	60	90	75	± 15
Маса побутових відходів, кг	0	500	55	± 55
Кут нахилу автомобіля, градусів	0	7	3,5	± 3,5

Таким чином, визначено вплив експлуатаційних факторів сміттєвозів на надійність їх мехатронної гідросистеми навантажувального обладнання.

Список використаних джерел:

1. Аулін В.В., Голуб Д.В. Обґрунтування механізму функціонування мехатронної системи склоочищення автомобіля. Збірник наукових праць Центральноукраїнський науковий вісник: Технічні науки. Кропивницький: ЦНТУ, 2023. Вип. 7(38). Ч.1 С. 167-176.
2. Аулін В.В., Голуб Д.В., Замуренко А.С. Розробка математичної моделі мехатронного модуля системи рульового управління вантажних автомобілів. Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем: V Міжнар. наук.-практ. конф., 19-21 квіт. 2023 р., м. Кропивницький: матеріали конф. / М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. експлуатації та ремонту машин. Кропивницький: ЦНТУ, 2023. С. 9-11.
3. Голобородько О.О., Коробочка О.О. Мехатронні системи автомобільного транспорту. Харків: ТОВ «СМІТ», 2006. 300 с.
4. Голуб Д.В., Шмагайло І.В., Шпильовий А.В. та ін. Підхід до математичного моделювання закономірностей впливу експлуатаційних факторів на надійність та ефективність роботи автомобілів для збирання і транспортування твердих побутових відходів. Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту: Міжнар. наук.-практ. конф., 22-24 листопада 2023 р., м. Кропивницький: матеріали конф. / М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. експлуатації та ремонту машин. - Кропивницький: ЦНТУ, 2023. С. 16-18.
5. Голуб Д.В., Аулін В.В. Математична модель підвищення якості управління мехатронною системою мікроклімату салону автомобіля. Збірник наукових праць Центральноукраїнський науковий вісник: Технічні науки. Кропивницький: ЦНТУ, Вип. 9(40). Ч.2, 2024. С. 186-197.
6. Березюк О.В. Математичне моделювання динаміки гідроприводу робочих органів перевертання контейнера під час завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2013. № 5. С. 60-64.
7. Попович В.В. та ін. Ефективність експлуатації сміттєвозів у середовищі "місто-сміттєзвалище", Науковий вісник НЛТУ України, Т. 27, № 10, 2017, с. 111-116.

УДК 656:338

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАЛЕЖНОГО РІВНЯ ЯКОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАСАЖИРІВ ЛЕГКОВИМИ АВТОМОБІЛЯМИ-ТАКСІ УДОСКОНАЛЕННЯМ МОДЕЛІ ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ

А.І. Проценко, *ст. гр. ТТ-22МБ*
Д.В. Голуб, *канд. тех. наук, доц.,*
В.В. Аулін, *докт. техн. наук, проф.***,**
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
А.П. Голованов, *голова правління АТ "Таксомоторний парк"*
АТ "Таксомоторний парк" м. Кропивницький

Показники якості транспортного обслуговування населення містить Європейський стандарт оцінки якості в сфері транспорту DIN EN 13816:2002-07 «Транспортування. Матеріально-технічне забезпечення та послуги. Громадський пасажирський транспорт. Визначення якості обслуговування, складання завдань і принципи вимірів» [1]. У цьому документі приведені показники якості для пасажирського транспорту [2]. Частина з цих показників носить загальний характер для усіх видів транспорту, інша частина показників може бути застосована не для усіх видів транспорту, а тільки для їх частини або навіть для одного виду. Аналіз цих показників дозволив зробити висновок, що показники якості перевезень пасажирів легковими автомобілями-таксі *($ПЯ_{ЛТ}$)* повинні складатися також з двох основних частин: - основної *($ПЯ_{О}$)*, визначеною цим документом з урахуванням застосовності до даного виду перевезень; варіативної *($ПЯ_{В}$)*, що визначається додатково до детермінованої з урахуванням думок пасажирів. У загальному вигляді показники якості перевезень пасажирів легковими автомобілями-таксі можуть бути визначені залежністю:

$$\overline{ПЯ_{ЛТ}} = \overline{ПЯ_{О}} + \overline{ПЯ_{В}} . \quad (1)$$

Показники якості згруповані за схожими однорідними ознаками, що дозволяють об'єднати їх в групи показників. Такими групами стали безпека транспортного процесу; своєчасність надання послуги; комфортність транспортного процесу.

З урахуванням цього показники якості утворюють багаторівневу систему, яка представлена на рисунку 1 у вигляді дерева цілей.

Для реалізації транспортного процесу відповідно до показників якості перевізник повинен мати необхідну підготовленість [3, 4]. Під підготовленістю розуміється комплекс станів структури перевізника, здатних забезпечити транспортний процес у відповідності сучасним вимогам за показниками якості, передусім безпеці [5, 6]. Підготовленість також як і показники якості носить багаторівневий згрупований характер. Такими групами стали:

- підготовленість персоналу *($П_{П}$)*;
- підготовленість рухомого складу *($П_{РС}$)*;
- наявність виробничо-технічної бази *($П_{ВТБ}$)*;
- наявність служби замовлення легкових таксі *($П_{СЗЛТ}$)*;
- загальні питання організації транспортного обслуговування населення *($П_{ОРГ}$)*.

В загальному вигляді підготовленість до перевезень пасажирів легковими таксі проілюстрована залежністю:

$$\overline{П_{ЛТ}} = \overline{П_{П}} + \overline{П_{РС}} + \overline{П_{ВТБ}} + \overline{П_{СЗЛТ}} + \overline{П_{ОРГ}} . \quad (2)$$

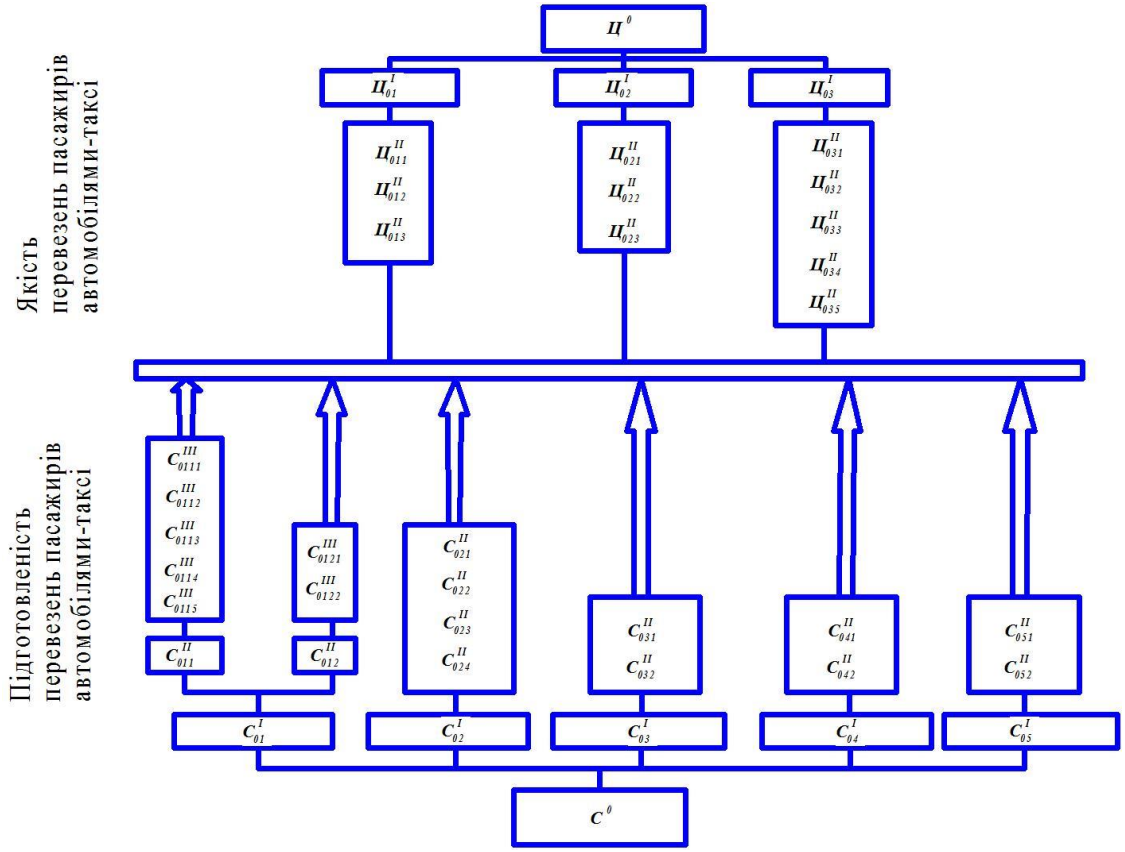


Рисунок 1 - Модель впливу підготовленості перевізника на якість перевезень пасажирів легковими автомобілями-таксі

З огляду на це підготовленість до перевезень пасажирів легковими таксі представлена на рисунку 1 як дерева системи показників. Відповідно до ієрархії, ціллю вищого рівня є якість перевезень пасажирів легковими таксі – $Ц^0$, яка містить три підцілі:

- безпеку транспортного процесу $Ц_{01}^I$;
- своєчасність, надання послуги $Ц_{02}^I$;
- комфортність транспортного процесу $Ц_{03}^I$.

До показників безпеки транспортного процесу $Ц_{01}^I$ віднесено:

- дотримання правил дорожнього руху $Ц_{011}^{II}$;
- страхування відповідальності $Ц_{012}^{II}$;
- безпеку транспортного засобу $Ц_{013}^{II}$.

До показників своєчасності надання послуги $Ц_{02}^I$:

- прибуття до місця замовлення у вказаний час $Ц_{021}^{II}$;
- вміння орієнтуватися у населеному пункті $Ц_{022}^{II}$;
- пропозиція альтернативних варіантів маршруту руху $Ц_{023}^{II}$.

До показників комфортності транспортного процесу $Ц_{03}^I$:

- охайний зовнішній вигляд водія $Ц_{031}^{II}$;
- чистота салону та кузова автомобіля $Ц_{032}^{II}$;
- допомога у завантаженні-розвантаженні багажу $Ц_{033}^{II}$;

- обґрунтована вартість послуг $Ц_{034}^{II}$;

- знижки та акції для постійних клієнтів $Ц_{035}^{II}$.

З урахуванням виразу (2), підготовленість до перевезень пасажирів легковими автомобілями-таксі представлена на рисунку 1 як дерева системи показників.

Вершиною дерева системи показників є підготовленість перевізника до здійснення транспортного процесу C^0, що складається з підсистем:

- підготовленість персоналу C_{01}^{I};

- підготовленість рухомого складу C_{02}^{I};

- наявність виробничо-технічної бази C_{03}^{I};

- наявність служби замовлення легкових таксі C_{04}^{I};

- загальні питання організації транспортного обслуговування населення C_{05}^{I}.

Підсистема підготовленості персоналу містить показники C_{01}^{I}:

- підготовленість водійського складу C_{011}^{II};

- проведення інструктажів водійського складу C_{0111}^{III};

- проведення стажувань водійського складу C_{0112}^{III};

- дотримання режиму праці та відпочинку водійським складом C_{0113}^{III};

- проходження передрейсових медичних оглядів водійським складом C_{0114}^{III};

- контроль охайного зовнішнього вигляду водійського складу C_{0115}^{III};

- підготовленість інженерно-технічного персоналу C_{012}^{II};

- базова освіта інженерно-технічна персоналу C_{0121}^{III};

- підвищення кваліфікації інженерно-технічного персоналу C_{0122}^{III}.

Підсистема підготовленості рухомого складу C_{02}^{I} містить показники:

- наявність розпізнавальної символіки легкового таксі C_{021}^{II};

- інформаційна забезпеченість салону C_{022}^{II};

- лівостороннє розташування рульового управління C_{023}^{II};

- наявність не менше чотирьох дверей для виходу з салону C_{024}^{II}.

Підсистема наявності виробничо-технічної бази містить показники C_{03}^{I}:

- регулярність постановки рухомого складу на технічне обслуговування і ремонт C_{031}^{II};

- наявність сертифікату відповідності на роботи з технічного обслуговування та ремонту рухомого складу C_{032}^{II}.

Підсистема наявності служби замовлення легкових автомобілів-таксі C_{04}^{I} містить показники:

- організації прийому замовлень C_{041}^{II};

- облік скарг пасажирів C_{042}^{II}.

Підсистема загальних питань організації транспортного обслуговування населення C_{05}^{I} містить показники:

- організація випуску рухомого складу на лінію C_{051}^{II};

- наявність нормативно-технічного та нормативно-правового забезпечення C_{052}^{II}.

Таким чином, для реалізації ефективного транспортного процесу відповідно до показників якості перевізник повинен мати необхідну підготовленість за наступними однорідними ознаками: підготовленість персоналу; підготовленість рухомого складу; наявність виробничо-технічної бази; наявність служби замовлення легкових автомобілями-таксі; загальні питання організації транспортного обслуговування населення.

Список використаних джерел:

1. Європейський стандарт оцінки якості в сфері транспорту DIN EN 13816:2002-07 «Транспортування. Матеріально-технічне забезпечення та послуги. Громадський пасажирський транспорт. Визначення якості обслуговування, складання завдань і принципи вимірів». Німецький інститут стандартизації, 2007. 96 с.
2. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Ступінь забезпечення надійності та якості пасажирських і вантажних автомобільних перевезень в Україні національними та міжнародними стандартами. Вісник інж. академії України. 2016. №3. С.156-162.
3. Аулін В.В., Голуб Д.В. Якість перевезень пасажирів як невід'ємна частина транспортного процесу. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. Кременчук: КДПУ, 2008. С. 88-92.
4. Аулін В.В., Голуб Д.В. Диференціальна та інтегральна оцінка рівня якості транспортного обслуговування пасажирів в ринкових умовах. Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. Частина 1. Луганськ: СНУ, 2012. №9(180). С. 225-232.
5. Голуб Д.В. Теоретична модель транспортної системи як сукупності взаємодіючих і взаємоперетворюючих елементів та підсистем. Кропивницький: ЦНТУ, 2022. Вип. 5(36). Ч.2 С. 324-334.
6. Горбачов П.Ф., Пономарьова Н.В., Любий Є.В. та ін. Основи теорії транспортних процесів і систем : навчальний посібник. Х.: ХНАДУ, 2015. 192 с.

ЗМІСТ

		Стор.
1	**RESEARCH ON THE ECONOMY AND HARMFUL EMISSIONS OF DIESEL WHEN RUNNING ON RAPESEED OIL** *Y.M. Abramov, A.R. Danchak, A.S. Denysyuk, D.D. Marchenko, O.O. Lymar*	9
2	**RESEARCH OF RENOVATED WORKING BODIES OF MACHINES FOR SOIL CULTIVATION IN A SOLID METHOD** *O.Y. Kolisnychenko, A.V. Pelikhatyy, Y.V. Shedenko, E.D. Yatsenko, D.D. Marchenko, O.O. Lymar*	12
3	**RESEARCH ON INCREASING THE EFFICIENCY OF USE OF MACHINERY AND TRACTOR UNITS BY USING FUEL WITH A MODIFIER** *M.V. Oliynyk, S.R. Artemenko, A.O. Hryhorenko, D.D. Marchenko, O.O. Lymar*.....	15
4	**RESEARCH OF A METHOD FOR RESTORING WORN AUTOMOBILE PARTS BY USING ELECTRO-SPIRCULATION COATINGS BASED ON ELECTRO-ESCRIPT NANOMATERIALS** *R.S. Kryvoruchko, S.S. Kurochkin, S.V. Mostovyy, D.D. Marchenko, O.O. Lymar*	18
5	**RESEARCH ON THE EFFICIENCY OF VIBRATION-CENTRIC MACHINING OF PARTS WITH FREE ABRASIVES** *R.E. Muntyan, Y.Y. Podlubnyy, O.I. Khomut, O.S. Tokaryev, D.D. Marchenko, O.O. Lymar*	21
6	**ТРАНСПОРТ ТА ІНФРАСТРУКТУРА: ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ** *І.О. Хітров*	24
7	**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩІТКОВОГО ПРОСІЮВАЧА** *Е.Б. Алієв, І.В. Литвинов*	27
8	**ДОСЛІДЖЕННЯ ГІБРИДНОЇ ПНЕВМАТИЧНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ СИЛОВИХ ПРИВОДІВ** *Л.І. Криштопа, Р.М. Матвієнко, Д.В. Копильців*	29
9	**ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ НАДКРИТИЧНОГО ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ НА ВАНТАЖНОМУ ТРАНСПОРТІ** *А.І. Сем`янчук, І.М. Солярчук, Т.Т. Гріштор*	32
10	**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВИПУСКНОГО КОЛЕКТОРА ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ МЕТОДОМ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ГАЗОДИНАМІКИ** *О.М. Маковкін, М.О. Чебан, І.К. Вальчку*	35
11	**ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ВТУЛКИ КУЛІСИ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМИКАННЯ ПЕРЕДАЧ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ** *В.П. Свідерський, Л.М. Кириченко, Н.В. Бонк*	38
12	**ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРИКОМПОНЕНТНОЇ ПАЛИВНОЇ СУМІШІ НА ОСНОВІ БІОЕТАНОЛУ, ДИЗЕЛЬНОГО ТА БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА** *А.А. Штуць*	42
13	**МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ МАТЕРІАЛІВ ПРИ РОБОТІ З FDM ТА FFF ПРИНТЕРАМИ** *М.І. Бабин, П.М. Луц*	46
14	**ГАЛЬМІВНІ СИСТЕМИ АВТОМОБІЛІВ: ХАРАКТЕРНІ ВІДМОВИ, ДІАГНОСТУВАННЯ, ОБСЛУГОВУВАННЯ, РЕМОНТУВАННЯ** *А. В. Новицький, С. В. Стецюк, В. М. Сьомак*	49

15 **ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТА ПЕРІОДИЧНІСТЬ ЗАМІНИ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ КАБІН КОРМОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ**
З. В. Ружило, Ю. А. Новицький 51

16 **СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ТА РОЗДАВАННЯ КОРМІВ**
А. В. Новицький 53

17 **ОРГАНІЗАЦІЯ ВАНТАЖОПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ ТА НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**
В.О. Дорощук, В.С. Сорока, Є.Б. Сліпенький, І.А. Бережняк 55

18 **ЛОГІСТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПОРТНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ**
І.А. Бережняк, В.О. Дорощук 57

19 **ІННОВАЦІЙНІ СТРУКТУРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ ЯК ДРАЙВЕР СТАЛОГО РОЗВИТКУ**
В.І. Мельник, О.М. Гайдай 59

20 **ЗАЛИШКОВІ НАПРУЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТЯХ З ПОРОШКОВИХ ДРОТІВ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ**
В.М. Гвоздецький, С.І. Маркович, Н. З. Мозола, Х.Р.Задорожна, М.М. Студент 61

21 **УРАВЛІННЯ УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ПРИЧИНИ ВТРАТИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА**
Д.О. Атрощенко, О.В. Кузик 67

22 **ЗАСТОСУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ФОТОГРАВЮРНОГО МЕТОДУ ДРУКУ**
І.Р. Євменьєв, О.В. Кузик 69

23 **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НАНЕСЕННЯ АНТИФРИКЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ**
І. В. Шепеленко, А. М. Красота, М. В. Красота 70

24 **VEHICLE ERGONOMICS AND ITS IMPACT ON RELIABILITY**
M.S. MagopetsV.V. Aulin 72

25 **СТВОРЕННЯ ЛАЗЕРНИХ НЕРІВНОВАЖНИХ ПРОЦЕСІВ НА ПОВЕРХНІ СТАЛІ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЗАХИСНИХ АНТИКОРОЗІЙНИХ ПОКРИТТІВ**
М. І. Туртуріка, В.В. Аулін, С.Г. Ковальов 74

26 **ОПТИМІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИКОРИСТАННЯ РОБОТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА СКЛАДАХ ПІДПРИЄМСТВ, ФІРМ, КОМПАНІЙ**
Є.А. Овчаров, Д.О. Кульова 76

27 **ПРАВОВІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СМАРТ-ІНТЕГРАЦІЇ**
В.К. Коваленко, Д.О. Кульова 78

28 **GPS-МОНІТОРИНГ У ЛОГІСТИЦІ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ: ПРИНЦИПИ РОБОТИ ТА ПЕРЕВАГИ**
І.С. Сугак, Д.О. Кульова 81

29 **ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ ВИКОРИСТАННЯМ ДРОНІВ**
Д.С. Воронов, Д.О. Кульова 82

30 **ОЦІНКА МЕХАНІЗМУ ЗМІЦНЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН КОМБІНОВАНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ ПОВЕРХНЕВОЇ ОБРОБКИ ЗА ТВЕРДІСТЮ**
Є.В. Манько, В.В. Аулін 84

31 **CURRENT STATE OF THE TECHNICAL SERVICE SYSTEM FOR FREIGHT VEHICLES AND ITS IMPROVEMENT BASED ON A CYBER-PHYSICAL APPROACH**
T.M. Nadych, V.V. Aulin, A.V. Hrynkiv 86

32 **SOFTWARE PRODUCT ARENA FOR SIMULATION MODELING OF SERVICE PROVISION BY TECHNICAL SERVICE ENTERPRISES**
A.A. Serhiichuk, V.V. Aulin, A.V. Hrynkiv, A.V. Serhiichuk 88

33 **THE ROLE OF TRANSPORT IN CROP PRODUCTION TECHNOLOGIES**
A.M. Zaitsev, V.V. Aulin, S.V. Lysenko, V.Z. Hud 90

34 **JUSTIFICATION OF THE RATIONAL PLACEMENT AND OPERATION OF THE DEALER SERVICE SYSTEM**
версткаВ.В. Аулін, Т.М. Надич, М.А. Бакуменко, А.Б. Гупка 95

35 **ОЦІНКА АДЕКВАТНОСТІ РОЗРОБЛЕНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ІННОВАЦІЙНОЇ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ ПАРКІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**
Д.П. Косякевич, С.В. Лисенко, А.Б. Гупка 97

36 **FUNDAMENTALS OF FORMING AND SELECTING THE OPTIMAL REPLACEMENT INTERVAL FOR WORN-OUT COMPONENTS OF MINING TRUCK ENGINES**
S.V. Kharchenko, S.V. Lysenko, D.V. Myronov 99

37 **IDENTIFICATION AND ANALYSIS OF FAILURE STATISTICS FOR COMPONENTS, ASSEMBLIES, AND UNITS OF RENAULT GROUP LIGHT COMMERCIAL VEHICLES**
S.Yu. Tyschenko, V.V. Aulin, A.V. Hrynkiv, I.B. Hevko 101

38 **ЗАСТОСУВАННЯ ГРАФОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ СКЛАДНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ**
С.Г. Ковальов, В.В. Аулін, А.В. Гриньків 104

39 **КЛАСИФІКАЦІЯ ТИПІВ СИГНАЛІВ ТА МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МОБІЛЬНИХ МАШИН ПІДПРИЄМСТВ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА**
О.О. Матвієнко, В.В. Аулін, А.В. Гриньків 107

40 **THE ROLE OF VEHICLE ROUTING PROBLEMS IN THE FIELD OF COMBINATORIAL OPTIMIZATION OF FREIGHT TRANSPORTATION**
M.A. Bakulenko, S.G. Chaplyhin, V.V. Aulin, A.V. Hrynkiv 110

41 **УПРАВЛІННЯ ФАКТОРАМИ РЕСУРСОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЕРЕВІЗНИХ ВИДІВ ДІЯЛЬНОСТІ ДЛЯ СТАЛОГО ЕКОНОМІЧНОГО ЗРОСТАННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПІДПРИЄМСТВА**
О.М. Тертиця, Т.М. Надич, В.В. Аулін, А.В. Гриньків 112

42 **DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR THE FORMATION OF LOGISTICS PROJECT-ORIENTED CLUSTERS IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX**
M.A. Bakulenko, S.G. Chaplyhin, V.V. Aulin, A.V. Hrynkiv 115

43	**DIGITAL TRANSFORMATION OF LOGISTICS BUSINESS MODELS IN ROAD TRANSPORT ENTERPRISES** *V.V. Aulin, A.V. Hrynkiv, O.M. Livitskyi, O.L. Liashuk*	118
44	**МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ВАНТАЖНОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВАХ** *А.М. Зайцев, В.В. Аулін, С.В. Лисенко, В.З. Гудь*	121
45	**THE IMPACT OF DIGITALIZATION ON THE PARAMETERS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF A CORPORATE LOGISTICS SYSTEM** *O.Ye. Ruban, A.O. Mironova, V.V. Aulin, S.V. Lysenko*	125
46	**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СХЕМИ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ В ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТА** *В.В. Маган, В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.М. Лівіцький, О.Л. Ляшук*	130
47	**ВИРІШЕННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОБЛЕМ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЦИФРОВІЗАЦІЄЮ ПРИ ПРОХОДЖЕННІ МИТНОГО КОНТРОЛЮ** *В.А. Побива, Д.В. Папуша, В.В. Аулін, А.В. Гриньків*	133
48	**DEVELOPMENT AND OPERATION OF THE SYSTEM OF INTEGRATED ELECTRONIC DOCUMENTATION AND INDIVIDUALIZED FORECASTING OF TECHNICAL MAINTENANCE OF TRUCKS** *T.M. Nadych, V.V. Aulin, A.V. Hrynkiv*	138
49	**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ ЗАСТОСУВАННЯМ ЛОГІСТИЧНИХ МЕТОДІВ** *А.М. Зайцев, В.В. Аулін, С.В. Лисенко*	140
50	**ВПЛИВ ВЕЛИЧИНИ ТИСКУ РОБОЧОЇ РІДИНИ НА НАДІЙНІСТЬ МЕХАТРОННОЇ ГІДРОСИСТЕМИ НАВАНТАЖУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ СМІТТЄВОЗІВ** *А.А. Вовк, Р.Ю. Речицький, В.В. Тиворський, Д.В. Голуб, В.В. Аулін*	142
51	**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАЛЕЖНОГО РІВНЯ ЯКОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАСАЖИРІВ ЛЕГКОВИМИ АВТОМОБІЛЯМИ-ТАКСІ УДОСКОНАЛЕННЯМ МОДЕЛІ ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ** *А.І. Проценко, Д.В. Голуб, В.В. Аулін, А.П. Голованов*	145

НАУКОВО-ІНФОРМАЦІЙНЕ ВИДАННЯ

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ

VII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

"Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем"

(16-18 квітня 2025 року)

Відповідальні за випуск:

В.В. Аулін, д.т.н., проф., проф. кафедри експлуатації і ремонту машин

Д.О. Кульова, д-р філос., ст.викладач кафедри експлуатації і ремонту машин

Редактор – В.В. Аулін, д.т.н., проф., проф. кафедри експлуатації і ремонту машин

Дизайн і верстка – Сергійчук А.А., аспірант кафедри експлуатації і ремонту машин; Зайцев А.М., аспірант кафедри експлуатації і ремонту машин

Телефон:
(0522) 390-473
e-mail:
AulinVV@gmail.com
Контактні особи
Аулін В.В. (095) 055 74 11
Кульова Д.О. (095) 897 86 85

Web: http://erm.kntu.kr.ua

Адреса колегії – 25006, Україна, м.Кропивницький, пр. Університетський, 8
Центральноукраїнський національний технічний університет,
Кафедра експлуатації і ремонту машин