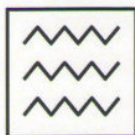




НУВГП

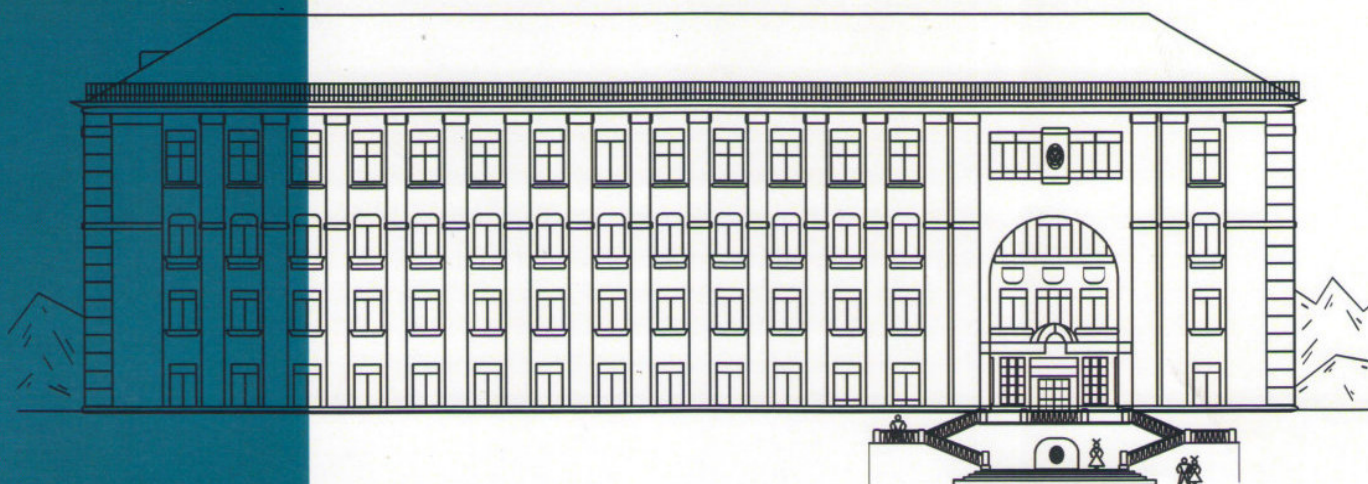


Національний університет
водного господарства
та природокористування

ЗБІРНИК ТЕЗ КОНФЕРЕНЦІЇ

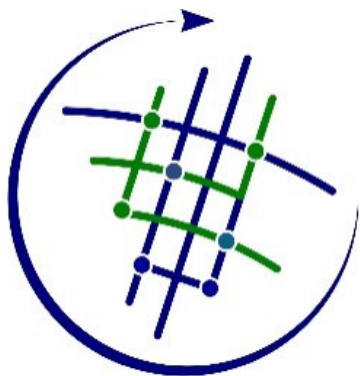
П'ЯТА
МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА
ІНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦІЯ
«ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗВИТКУ
МАШИНОБУДУВАННЯ ТА ЕФЕКТИВНОГО
ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ
СИСТЕМ»

14-16 ТРАВНЯ 2025 року



Рівне 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
КАФЕДРА ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ**



INTERMARIUM
FUNDACJA

**П'ЯТА МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА
ІНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦІЯ**

(в рамках Міжнародного проєкту [ISDEGO](#))

**«ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗВИТКУ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА
ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ»**

14–16 ТРАВНЯ 2025 р.

РІВНЕ – 2025

УДК 621:656.13:347.763:378:001.895

I–66

Рецензенти:

Савіна Н. Б., проректорка з наукової роботи та міжнародних зв'язків Національного університету водного господарства та природокористування, д.е.н., професорка;
Сорока В. С., проректор з науково-педагогічної та навчальної роботи Національного університету водного господарства та природокористування, к.с.-г.н., доцент;
Марчук М. М., директор навчально-наукового механічного інституту Національного університету водного господарства та природокористування, к.т.н., професор;
Кравець С. В., д.т.н., професор кафедри будівельних, дорожніх та меліоративних машин Національного університету водного господарства та природокористування;
Кристончук М. Є., к.т.н., доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу Національного університету водного господарства та природокористування;
Козяр М. М., д.пед.н., професор, завідувач кафедри теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства Національного університету водного господарства та природокористування.

*Рекомендовано вченою радою
Національного університету водного господарства та природокористування.
Протокол № 5 від 30 травня 2025 р.*

Відповідальний за випуск:

Никончук В. М., д.е.н., професорка, в.о. завідувача кафедри транспортних технологій і технічного сервісу Національного університету водного господарства та природокористування.

I–66 Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем : зб. тез V Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції 14–16 травня 2025 р. [Електронне видання]. Рівне : НУВГП, 2025. 105 с.

ISBN 978-966-327-633-5

Збірник тез конференції об'єднує наукові праці, що розглядають останні досягнення в інноваціях машинобудування, транспортних системах і логістиці. Основні теми включають новітні технології в машинобудуванні та транспорті, оптимізацію транспортних систем і логістичних процесів, підвищення безпеки дорожнього руху, а також розробки в конструюванні та експлуатації автомобільного транспорту. Роботи, представлені в збірнику, пропонують нові підходи до розв'язання актуальних проблем, що стосуються ефективного функціонування транспорту, та є корисними для науковців, інженерів і практиків та всіх, хто зацікавлений у розвитку інноваційних технологій у галузі транспорту та машинобудування.

УДК 621:656.13:347.763:378:001.895

ISBN 978-966-327-633-5

© Національний університет водного господарства та природокористування, 2025

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1 ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ І ТРАНСПОРТІ

Deineka Kateryna Naumenko Yurii Hudachek Mykola	Innovative self-oscillating reaction workflow with granular material in a drum	6
Deineka Kateryna Naumenko Yurii Pantsiuk Yurii	Innovative self-oscillating working process of granulating granular material in a drum	10
Deineka Kateryna Naumenko Yurii Zhabchyk Serhii	Innovative self-oscillating working process of filleting parts in a drum	14
Войтович Леонід Ріжок Назарій	Напружений стан круглої пластинки з отворами різних діаметрів при стиску	18
Кондратюк Олександр Верещако Олександр Корнюша-Шварц Наталія	Дослідження зміни молекулярного стану поверхневого шару деталей при вібраційно-відцентровій обробці сипучим абразивним середовищем	20
Мельников Віталій Рибалко Іван Тіхонов Олександр	Застосування модифікуючих присадок природного фулерену шунгіту для відновлення деталей машин	24
Похильчук Ігор Стрілець Олег	Використання адитивних технологій при виготовленні запасних частин механізмів і машин	27
Сасюк Зоя Павлюк Олександр Батейко Максим	Сучасні підходи до моделювання технічних об'єктів у графічній підготовці майбутніх інженерів	30
Свідерський Владислав Медведчук Олександр Олятівський Олексій	Підвищення зносостійкості пари тертя поршень-циліндр насосів автомобільної техніки	32
Серілко Дмитро Сиротинський Олександр Хондока Назарій	Визначення закону руху крокового двигуна для приводу інерційного конвеєра	35
Сиротинський Олександр Онищук Володимир Баранецький Володимир	Машина для гідравлічного випробування напірних трубопроводів МВТ-10	38

СЕКЦІЯ 2 ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ І ЛОГІСТИКА

Бережняк Іванна Сліпенький Євгеній Дорошук Вікторія	Вплив митних процедур на ефективність міжнародних вантажних перевезень	42
Волошин Дмитро Волошина Людмила	Забезпечення надійності виробничих процесів ремонту вагонів	44
Давідіч Юрій Куш Євген Понтапльов Іван Пашкевич Світлана	Формування системи управління якістю пасажирського сервісу у містах	47
Никончук Вікторія Бровчук Максим	SWOT-аналіз міської логістики доставки в місті Рівне	48
Никончук Вікторія Піліпака Людмила	Адаптивний розвиток транспортної системи в міських агломераціях	51
Понкратов Денис	До питання оцінки якості обслуговування на міському маршрутному пасажирському транспорті	54
Швець Микола	Особливості сучасних технологій виконання вантажних робіт у транспортних вузлах	56

СЕКЦІЯ 3 МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ТА ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Khitrov Ihor	Modeling the interaction of different types of transport at multimodal hubs	59
Птиця Наталія Кочерга Богдан	Формалізація та оцінка ефективності навантажувально-розвантажувальних процесів у сучасних логістичних системах	61
Цимбал Сергій Мельник Руслана	Моделювання транспортних систем при здійсненні вантажних перевезень	64
Швець Микола	Логістичне моделювання процесів взаємодії	67

СЕКЦІЯ 4 БЕЗПЕКА ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Khitrov Ihor	Influence of structural design features of freight vehicle bodies on the safety of cargo transportation	70
Бажинов Анатолій	Підвищення ефективності і безпеки дорожнього руху в Україні під час воєнного стану	72
Бажинов Анатолій Сідак Юлія	Удосконалення технологій транспортних процесів і підвищення безпеки дорожнього руху сучасних міст	75

СЕКЦІЯ 5

АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ: КОНСТРУЮВАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ

Azimov Sadriddin Yuldasheva Gulnora Azimova Feruza Khujakhmedova Kholida	Development of a method for determining parameters of the heat load of friction pairs of vehicle brake systems	77
Khudjakhmedova Kh. S. Azimov Sadriddin Pochuzhevskyi Oleg	The use of nanomaterials for the restoration of sliding bearings	82
Базар Євген	Аналіз методів покращання показників роботи двигуна шляхом додавання води в камеру згорання	84
Єлістратов Вячеслав Миленький Кирило Сидоренко Артем	Можливість застосування важільно-кулачкових механізмів для реалізації змінних робочих процесів в автомобільних двигунах	87
Морозюк Сергій Рижий Олександр	Діагностування електромагнітних форсунок бензинових ДВЗ	90
Пікула Микола	Використання ультразвукового очищення в ремонтному виробництві	93
Стадник Олександр	Технологічне дослідження рециклінгу повітряних фільтрів двигунів внутрішнього згорання	96
Хаврук Володимир	Закономірності завантаження станцій технічного обслуговування легкових автомобілів	99

UDK 621.926.5:539.215:531.36

INNOVATIVE SELF-OSCILLATING REACTION WORKFLOW WITH GRANULAR MATERIAL IN A DRUM

ІННОВАЦІЙНИЙ АВТОКОЛИВНИЙ РЕАКЦІЙНИЙ РОБОЧИЙ ПРОЦЕС З ЗЕРНИСТИМ МАТЕРІАЛОМ В БАРАБАНІ

Kateryna Deineka¹, Yurii Naumenko², Mykola Hudachek²

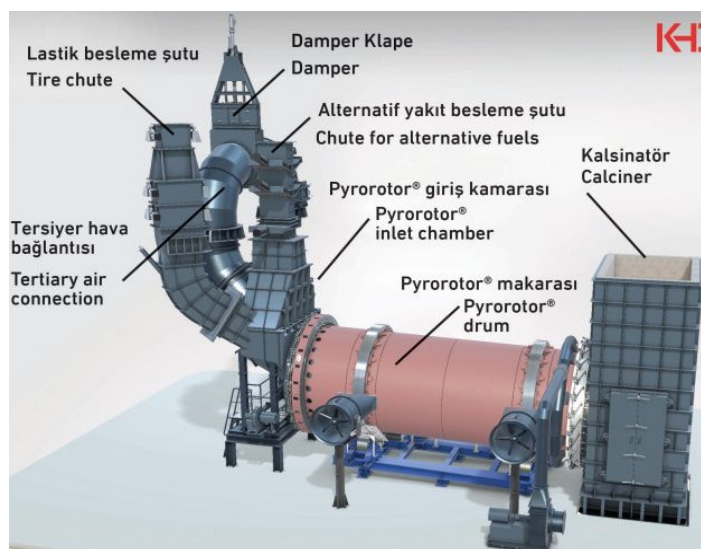
¹Rivne Technical Vocational College of the
National University of Water and Environmental Engineering
vul. Vyshyvanka, 35, Rivne, 33027

²National University of Water and Environmental Engineering
vul. Soborna, 11, Rivne, 33028

Створено новий автоколивний гетерогенний реакційний робочий процес з зернистим матеріалом в барабані. Показано, що застосування встановленого гідродинамічного ефекту самозбудження автоколивань зернистого завантаження камери обертового барабана дозволяє інтенсифікувати, підвищити продуктивність та знизити енергоємність гетерогенного процесу в реакторі шляхом посилення дилатансії та активізації пасивної частини завантаження.

The heterogeneous working process with granular material in a drum is used in the technology of conducting reaction processes with inorganic and organic granular materials and can be used in the chemical, building materials industry, heat and power engineering, waste processing and disposal, and other industries.

Drum reactors are widely used to carry out various heterogeneous processes with granular materials (Fig. 1). Carrying out a heterogeneous process with granular material in a drum reactor includes feeding the material and reagents into the drum chamber, carrying out the reaction process by diffusion of reagents to the reaction zone on the phase interface, activated adsorption of reagent particles on the surface, physicochemical transformations of adsorbed particles, desorption of the formed reaction products and diffusion of reagents and products through a layer of granular material and removal of reaction products from the chamber.



a



b

Fig. 1. Drum reactors: a – pyroreactor, b – bioreactor

During the reaction with granular material in the drum, the stages that significantly limit the process are the diffusion of reagents to the reaction zone at the interface, adsorption of reagent particles on the surface, desorption of reaction products, and diffusion of reagents and products through the material layer. This is due to the low intensity of relative motion during material circulation in the rotating chamber. A significant portion of the granular load is passive, does not undergo deformation and does not participate in diffusion, adsorption, and desorption. The active mobile fraction is only 30–45%.

In order to improve the reactive process, the parameters of the manifestation of the hydrodynamic effect of self-excitation of auto-oscillations of the granular loading of the rotating drum chamber were discovered and established [1]. This phenomenon allows to bring into periodic pulsating motion and activate the passive part of the loading, as well as significantly increase the intensity of interaction of particles of the processed medium with the working bodies and the environment.

Based on the direct Lyapunov method, the condition of asymptotic stability of the steady-state motion of the machine unit of a drum reactor has the form

$$\frac{\frac{dM_f(\omega_0)}{d\omega} \frac{1}{i\eta} - \frac{dM_m(\omega_0)}{d\omega}}{\left[\frac{\omega_0^2}{2} \frac{d^2 I_f(\omega_0)}{d\omega^2} + 2\omega_0 \frac{dI_f(\omega_0)}{d\omega} + I_f(\omega_0) + I_c \right] \frac{1}{i^2} + I_m} > 0. \quad (1)$$

Condition (1) differs from the similar condition for $I_f = \text{const}$ by the expression in the denominator.

An extreme negative value of the second derivative $d^2 I_f(\omega_0)/d\omega^2$ can cause a negative value of the entire denominator, and an extreme negative value of the derivative $dM_f(\omega_0)/d\omega$ can cause a negative value of the entire numerator (1). This can lead to failure to satisfy condition (1) and loss of stability of motion.

The fulfillment of the stability condition (1) depends significantly on the variation of the dependencies $I_f(\omega)$ and $M_f(\omega)$. The values of I_f and M_f are determined by the distribution of the filling in the cross section of the rotating chamber.

For the experimental quantitative assessment of the influence of instability factors on the system motion, the visualization method was used. Pictures of the steady-state motion of the granular load in the cross-section of a stationary rotating chamber were obtained. The values of the axial moment of inertia I_f were determined using a grid with a concentric arrangement of cells, and the moment of resistance M_f – using a grid with a row arrangement of cells.

Analysis and generalization of the obtained results allowed us to establish the dependencies $I_f(\omega)$ and $M_f(\omega)$. Differentiation of these dependencies was also performed.

Fig. 2 shows the obtained qualitative dependences of the change in instability factors I_f , $I_f/d\omega$, $d^2 I_f/d\omega^2$, M_f и $dM_f/d\omega$ on the chamber rotation speed ω for different modes of movement of granular loading. The schemes of the modes of movement of such loading are shown in Fig. 3. The sections of the dependences in Fig. 3, where the stability conditions (1) are violated, are highlighted by hatching.

The axial moment of inertia I_f , with increasing speed ω , changes from the minimum value at rest I_{fs} , corresponding to the segmental shape of the filling section, to the maximum value I_{fl} , corresponding to the wall layer in the centrifugation mode (Fig. 2). In this case, the derivative $d^2 I_f(\omega)/d\omega^2$ takes an extreme negative value near the mode of loading movement with full throwing up of the filling elements CD.

The dependence of the moment of resistance M_f on the speed ω has the greatest rigidity near the mode with full throwing CD (Fig. 2). In this case, the derivative $dM_f(\omega)/d\omega$ also takes an extreme negative value near this mode of load movement.

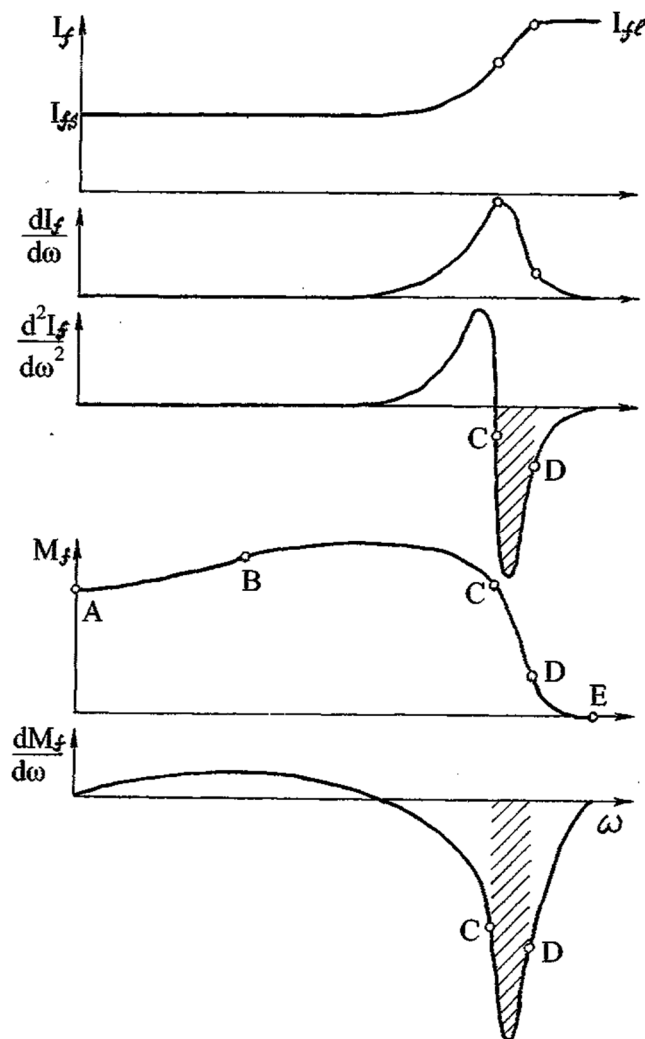


Fig. 2. Scheme of qualitative dependencies of the axial moment of inertia I_f , the moment of resistance M_f of the granular load and their derivatives from the chamber rotation speed ω : AB is the mode of load movement without throwing up elements, BC is the mode with partial throwing up, CD is the mode with full throwing up, DE is the mode of incomplete centrifugation, I_{fs} is the minimum value of the axial moment of inertia I_f at rest with a segmental shape of the load cross-section, I_{fe} is the maximum value of the moment of inertia I_f with a load cross-section in the form of a wall layer in the centrifugation mode

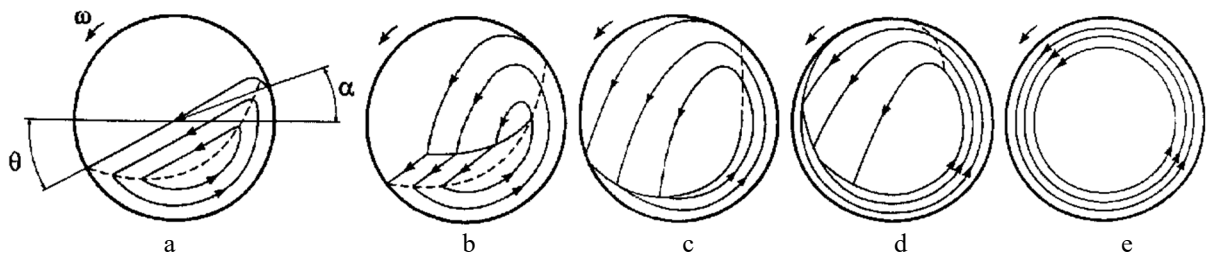


Fig. 3. Schemes of the modes of movement of granular loading in the cross section of the rotating chamber: a – mode of movement without throwing particles, b – mode with partial throwing, c – mode with full throwing, d – mode of incomplete centrifugation, e – mode of the wall layer (centrifugation), α – angle of rise of the filling, θ – angle of natural slope in movement

Based on the results obtained [2–7], scientists from the Rivne Technical Vocational College and the Department of Construction, Road and Reclamation Machinery, with the participation of participants of the scientific circle of higher education students "Engineering of working processes of

drum mills" of the National University of Water and Environmental Engineering, developed an innovative working reactive process in the drum [8]. The process was patented as a utility model. The developed process involves carrying out a reaction during the rotation of the drum with a bifurcation value of the self-excitation rate of auto-oscillations of the granular load in the cross section of the chamber.

The technical effect of self-excitation of auto-oscillations of the intra-chamber granular loading of a drum reactor has been revealed:

- activation of the passive part of the loading,
- increase in the dispersion of the loading,
- increase in the contact surface of the pulsating granular material suspended in the chamber,
- improvement of the contact of the solid, which is in a suspended state, and the gaseous phases,
- increase in the velocity gradient between individual layers of the material,
- increase in the frequency of mutual collisions of material particles,
- acceleration of chemical and physical mass exchange and heat exchange processes,
- increase in the degree of conversion and product yield,
- increase in the intensity, selectivity and driving force of the reaction process,
- increase in the effective conduct of the reaction process,
- activation of the diffusion of reagents and products,
- acceleration of physicochemical transformations,
- increase in the productivity of the process,
- reduction in energy costs for mixing and moving material through the reactor,
- rational use of heat exothermic reactions and heat supplied to the reactor from outside.

In the future, it is planned to determine the influence of different modes of self-excitation of auto-oscillations of the intra-chamber loading due to the loss of motion stability on the efficiency of the reactive process in the drum.

1. Both H.-U. Mahlkörperbewegungen in der Kugelmühle [Motions of Grinding Elements in a Ball Mill]. 1966. IWF (Göttingen). [Video]. (06m:43s–07m:11s) YouTube. URL: <https://doi.org/10.3203/IWF/C-921> (дата звернення: 10.03.2025).

2. Deineka K., Naumenko Yu. Revealing the mechanism of stability loss of a two-fraction granular flow in a rotating drum. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 4. Issue 1(118). P. 34–46. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263097> (дата звернення: 10.03.2025).

3. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. The tumbling mill rotation stability. *Naukovyi Visnyk Nationalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2018. Issue 1(163). P. 60–68. URL: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/10> (дата звернення: 10.03.2025).

4. Deineka K., Naumenko Yu. Revealing the effect of decreased energy intensity of grinding in a tumbling mill during self-excitation of auto-oscillating of the intrachamber fill. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 1. Issue 1(97). P. 6–15. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155461> (дата звернення: 10.03.2025).

5. Deineka K., Naumenko Yu. Establishing the effect of decrease in power intensity of self-oscillation grinding in a tumbling mill with decrease of intrachamber fill. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 6. Issue 7(102). P. 43–52. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.183291> (дата звернення: 10.03.2025).

6. Deineka K., Naumenko Yu. Establishing the effect of decreased power intensity of self-oscillatory grinding in a tumbling mill when the crushed material content in the intra-chamber fill is reduced. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 4. Issue 1(106). P. 39–48. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209050> (дата звернення: 10.03.2025).

7. Deineka K., Naumenko Yu. Establishing the effect of simultaneous reduction in the filling load inside a chamber and in the content of the crushed material on the energy intensity of self-oscillatory grinding in a tumbling mill. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 1. Issue 1(109). P. 77–87. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224948> (дата звернення: 10.03.2025).

8. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. 157608 UA. Sposib provedennia heterohennoho protsesu z zernystym materialom v barabannomu reaktori [A method for conducting a heterogeneous process with granular material in a drum]. MKP F26B 11/04. No. u202400954; declared: 26.02.2024; published: 06.11.2024, Bul. No. 45, 2024. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1826073/> (дата звернення: 10.03.2025).

UDK 621.926.5:539.215:531.36

INNOVATIVE SELF-OSCILLATING WORKING PROCESS OF GRANULATING GRANULAR MATERIAL IN A DRUM

ІННОВАЦІЙНИЙ АВТОКОЛИВНИЙ РОБОЧИЙ ПРОЦЕС ГРАНУЛЮВАННЯ ЗЕРНИСТОГО МАТЕРІАЛУ В БАРАБАНІ

Kateryna Deineka¹, Yurii Naumenko², Yurii Pantsiuk²

¹Rivne Technical Vocational College of the
National University of Water and Environmental Engineering
vul. Vyshyvanka, 35, Rivne, 33027

²National University of Water and Environmental Engineering
vul. Soborna, 11, Rivne, 33028

Створено новий автоколивний робочий процес гранулювання зернистого матеріалу в барабані. Показано, що застосування встановленого гідродинамічного ефекту самозбудження автоколивань зернистого завантаження камери обертового барабана дозволяє інтенсифікувати, підвищити продуктивність та знизити енергоємність процесу гранулювання шляхом посилення дилатансії та активізації пасивної частини завантаження.

The technological process of granulation is used in the technology of granulating granular material by rolling and can be used in the metallurgical, chemical, building materials industries and other industries.

Drum granulators are widely used to perform the granulation process of granular materials (Fig. 1). The process of granulating granular material in a drum includes feeding the material into the drum chamber, irrigating it with a binding liquid, agglomerating it by mixing the material with the liquid, forming, rolling and stabilizing the structure of the granules, and removing them from the chamber.

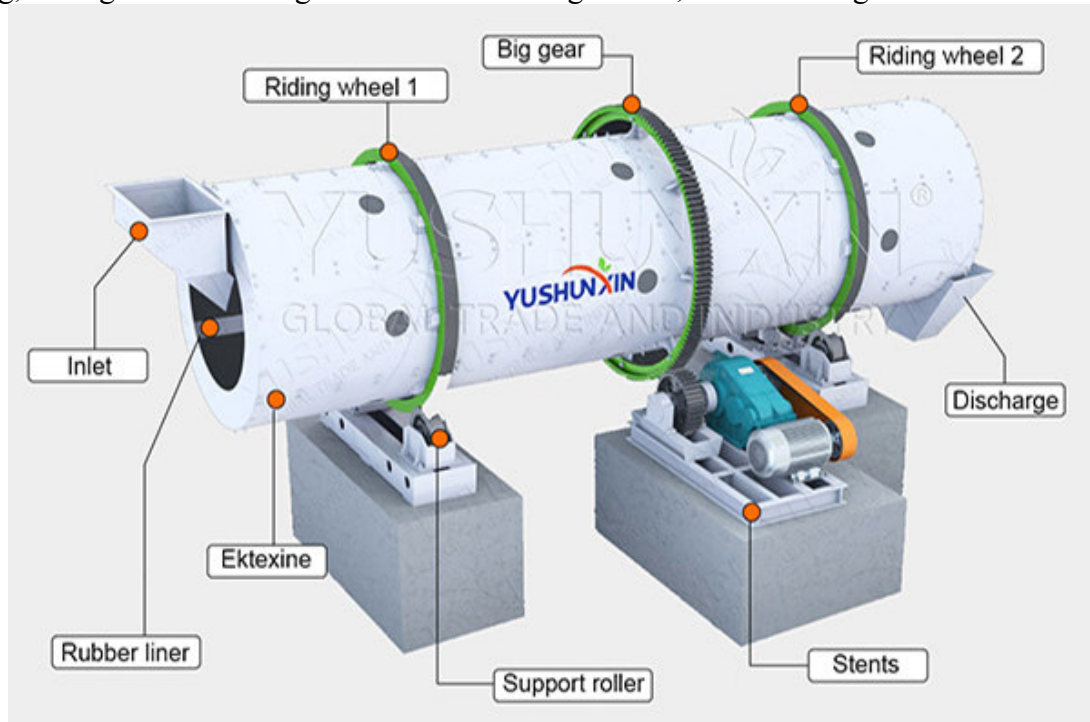


Fig. 1. Drum granulator

During granulation of granular material in a drum, the stage that significantly limits the process is agglomeration. This is caused by the low intensity of relative motion during the circulation of the material in the rotating chamber. A significant proportion of the granular load is passive, does not undergo deformation and does not participate in mixing and lump formation. The active mobile fraction is only 30–45%.

In order to improve the granulation process, the parameters of the manifestation of the hydrodynamic effect of self-excitation of auto-oscillations of the granular loading of the rotating drum chamber were discovered and established [1]. This phenomenon allows to bring into periodic pulsating motion and activate the passive part of the loading, as well as significantly increase the intensity of interaction of particles of the processed medium with the working bodies and the environment.

The granular loading of the drum granulator chamber contains large particles of size d and small particles of size d_m (Fig. 2). Usually the mass of large particles significantly exceeds the mass of small particles. It is assumed that the intra-chamber loading is not too dense and is under conditions that provide a large velocity shift, which corresponds to the inertial mode of motion. The energy of the chaotic motion of large particles, which arises as a result of their collisions with each other, becomes quite significant and strongly affects the flow characteristics.

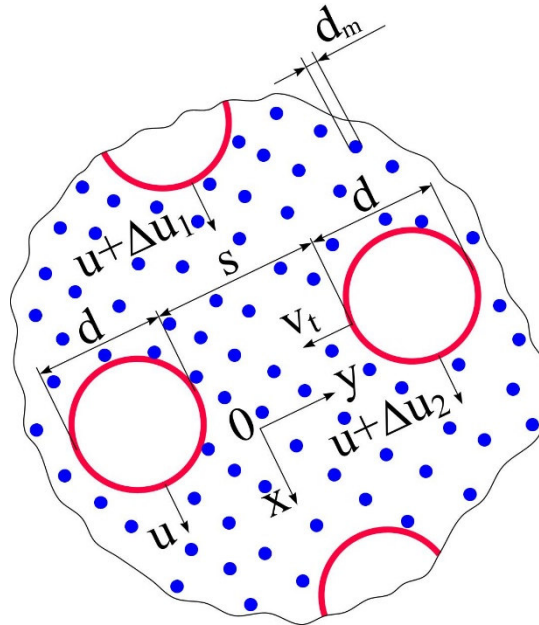


Fig. 2. Schematic of the shear flow of loading in inertial mode

The dispersion equation of motion of the intra-chamber loading of a drum granulator has the form

$$\beta^3 + (a_1 k^2 - b_1) \beta^2 + k^2 (c_1 k^2 - e_1) \beta - k^2 (f_1 k^2 + g_1) = 0, \quad (1)$$

where the coefficients of the equation are parameters that depend on the properties of the intra-chamber loading

$$a_1 = \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{7}{3} a_\eta + a_\chi \right) \eta_0, \quad b_1 = \frac{1}{\rho_0} (a_\eta \eta_2 \xi^2 - a_1 I_2), \quad c_1 = \frac{7}{3 \rho_0^2} a_\chi a_\eta \eta_0^2, \\ e_1 = \frac{1}{3 \rho_0} \left[7 a_\eta b_1 \eta_0 + a_p (d + s_0) p_1 + \frac{3 a_p p_2}{\rho_0} (\rho_0 T_0 - a_p p_0) \right],$$

$$f_1 = \frac{d+s_0}{3\rho_0} a_p a_z \left(p_1 + \frac{3T_0 p_2}{d+s_0} \right) \eta_0, \quad g_1 = \frac{d+s_0}{3\rho_0^2} a_p \left[p_2 (a_\eta \eta_1 \xi^2 - a_1 I_1) - p_1 (a_\eta \eta_2 \xi^2 - a_1 I_2) \right].$$

The problem of the stability of the motion of a granular filling is studied within the framework of the mechanics of continuous media. Therefore, the minimum wavelength of the considered disturbances must be much larger than the characteristic size, which can be taken as the sum of the diameter d and the mean free path s_0 of large particles. We can choose $\lambda_{\min} = A(d+s_0)$, $A \gg 1$, and also the maximum wave number of disturbances $k_{\max} = 2\pi/\lambda_{\min}$.

In the following, the stability of the shear flow with respect to small disturbances with wave numbers in the interval $0 < k < k_{\min}$ is considered.

Calculations were performed for the case of single-grain loading only with large particles in the absence of small particles, when all particles are considered absolutely rigid and the contact duration $t_c = 0$. A neutral curve $k_0 d(s_0/d)$ was constructed (Fig. 3, line 1), which separates the regions of stability and instability and corresponds to the zero value of the decrement $\gamma^{(2,3)}(k_0 d) = 0$. The part of the planes $(s_0/d, k_0 d)$, which lies below the neutral curve, corresponds to positive values of $\gamma^{(2,3)}$ and instability, and above the neutral curve – to negative values and, accordingly, stability. With an increase in the mean free path s_0 , the wave number k_0 , which characterizes the harmonic of the disturbance, which has neutral stability, increases slightly.

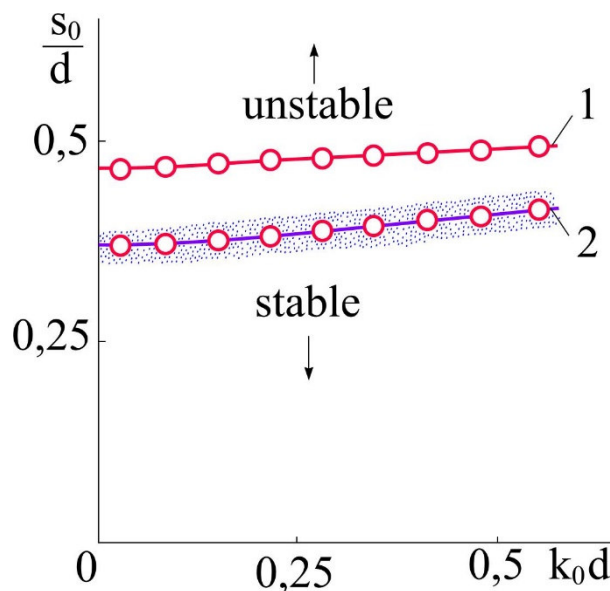


Fig. 3. Scheme of the regions of stable and unstable motion of the intra-chamber loading: 1 – neutral curve for absolutely rigid large particles in the absence of small particles (single-fraction loading) ($t_c=0$), 2 – neutral curve for deformable large particles in the presence of small particles (two-fraction loading) ($t_c=t_f$)

Fig. 3 also shows the neutral curve 2, which separates the regions of stability and instability for the case of polygranular loading in the presence of non-rigid fine particles, when the coarse particles are considered deformed ($t_c=t_f$). Compared to the case $t_c=0$, this neutral curve is shifted towards shorter mean free paths. An increase in the contact duration t_c may be caused by the damping effect of fine particles on the collision of coarse particles.

Based on the results obtained [2–7], scientists from the Rivne Technical Vocational College and the Department of Construction, Road and Reclamation Machinery, with the participation of participants of the scientific circle of higher education students "Engineering of working processes of drum mills" of the National University of Water Management and Environmental Engineering, developed an innovative working process of granulation of granular material in a drum [8]. The process was patented as a utility model. The developed process involves granulation during drum

rotation with a bifurcation value of the self-excitation speed of auto-oscillations of the granular load in the cross section of the chamber.

The technical effect of self-excitation of self-oscillations of the intra-chamber granular loading of a drum granulator has been revealed:

- activation of the passive part of the loading,
- increase in the dispersion of the loading,
- significant increase in the contact surface of the pulsating granular material suspended in the chamber,
- improvement of the contact of the solid, which is in a suspended state, and the liquid, which binds, phases,
- reduction in the duration of wetting of the material,
- increase in the velocity gradient between individual layers of the material,
- increase in the intensity of mutual intersection of the trajectories of the material particles,
- increase in the frequency of mutual collisions of the particles,
- prevention of the formation of a central core of particle size segregation.
- increasing the efficiency of mixing the material with the binding liquid,
- increasing the efficiency of formation, rolling and stabilization of the granule structure,
- increasing the density and size of the granules,
- increasing the productivity of granulation of the material,
- increasing the degree of filling of the drum chamber,
- reducing the consumption of the binding liquid,
- reducing the energy required to drive the equipment.

In the future, it is planned to determine the influence of different modes of self-excitation of self-oscillations of the intra-chamber loading due to the loss of stability of motion on the efficiency of the granulation process of granular material in the drum.

1. Both H.-U. Mahlkörperbewegungen in der Kugelmühle [Motions of Grinding Elements in a Ball Mill]. 1966. IWF (Göttingen). [Video]. (06m:43s–07m:11s) YouTube. <https://doi.org/10.3203/IWF/C-921>

2. Deineka K., Naumenko Yu. Revealing the mechanism of stability loss of a two-fraction granular flow in a rotating drum. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 4. Issue 1(118). P. 34–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263097>

3. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. The tumbling mill rotation stability. *Naukovyi Visnyk Nationalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2018. Issue 1(163). P. 60–68. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/10>

4. Deineka K., Naumenko Yu. Revealing the effect of decreased energy intensity of grinding in a tumbling mill during self-excitation of auto-oscillating of the intrachamber fill. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 1. Issue 1(97). P. 6–15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155461>

5. Deineka K., Naumenko Yu. Establishing the effect of decrease in power intensity of self-oscillation grinding in a tumbling mill with decrease of intrachamber fill. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 6. Issue 7(102). P. 43–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.183291>

6. Deineka K., Naumenko Yu. Establishing the effect of decreased power intensity of self-oscillatory grinding in a tumbling mill when the crushed material content in the intra-chamber fill is reduced. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 4. Issue 1(106). P. 39–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209050>

7. Deineka K., Naumenko Yu. Establishing the effect of simultaneous reduction in the filling load inside a chamber and in the content of the crushed material on the energy intensity of self-oscillatory grinding in a tumbling mill. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 1. Issue 1(109). P. 77–87. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224948>

8. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. 154570 UA. Sposib hranuliuvannia zernystoho materialu v barabani [A method for granulating granular material in a drum]. MKP B01J 2/12. No. u20230234; declared: 17.05.2023; published: 22.11.2023, Bul. No. 47, 2023. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1772317/>

UDK 621.926.5:539.215:531.36

INNOVATIVE SELF-OSCILLATING WORKING PROCESS OF FILLETING PARTS IN A DRUM

ІННОВАЦІЙНИЙ АВТОКОЛИВНИЙ РОБОЧИЙ ПРОЦЕС ГАЛТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ В БАРАБАНІ

Kateryna Deineka¹, Yurii Naumenko², Serhii Zhabchuk²

¹Rivne Technical Vocational College of the
National University of Water and Environmental Engineering
vul. Vyshyvanka, 35, Rivne, 33027

²National University of Water and Environmental Engineering
vul. Soborna, 11, Rivne, 33028

Створено новий автоколивний робочий процес галтування деталей в барабані. Показано, що застосування встановленого гідродинамічного ефекту самозбудження автоколивань зернистого завантаження камери обертового барабана дозволяє інтенсифікувати, підвищити продуктивність та знизити енергоємність процесу галтування шляхом посилення дилатансії та активізації пасивної частини завантаження.

The tumbling process of parts is used in the technology of final finishing and strengthening mechanical processing from grinding to final polishing of the surfaces of parts made of metals, polymers, glass, ceramics, minerals, wood and other materials and can be used in mechanical engineering, instrument making, mining, chemical, jewelry, woodworking and other industries.

Drum tumbling machines are widely used to perform the surface treatment process of parts (Fig. 1). The process of tumbling parts in a drum includes feeding parts and abrasive filler into the drum chamber, processing parts by surface plastic deformation during the pulse interaction of filler particles with the surfaces of parts and the surfaces of parts with each other, and removing the processed parts from the chamber.



Fig. 1. Drum tumbling machine: a – general view, b – machine elements

During the rolling of parts in a drum, the stage that significantly limits the process is surface plastic deformation during the pulse interaction of the filler with parts and parts with each other. The main disadvantage of the working process of drum rolling machines is the overall low efficiency of the rolling process due to the low intensity of relative motion during the circulation of the mixture of parts and filler in the rotating chamber, low circulation intensity and a steady state mode of motion. A significant proportion of the granular loading of the chamber is passive, does not undergo shear deformation and does not participate in surface plastic deformation. The active mobile fraction is only 30–45%.

In order to improve the tumbling process, the parameters of the manifestation of the hydrodynamic effect of self-excitation of self-oscillations of the granular loading of the rotating drum chamber were discovered and established (Fig. 2). This phenomenon allows to bring into periodic pulsating motion and activate the passive part of the loading, as well as significantly increase the intensity of interaction of particles of the processed medium with the working bodies and the environment.

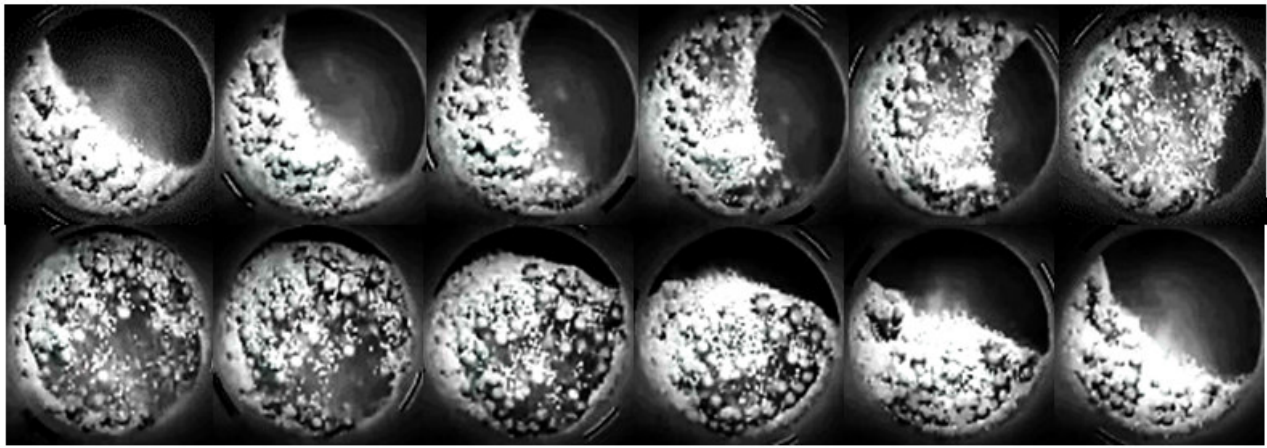


Fig. 2. Sequential pictures of the self-oscillating mode of motion of a polygranular loading chamber of a rotating drum for one oscillation period according to [1]

Equation of motion of a machine unit of a drum tumbling machine with variable inertial parameters in the form of moments

$$\left[\frac{\omega^2}{2} \frac{d^2 I(\omega)}{d\omega^2} + 2\omega \frac{dI(\omega)}{d\omega} + I(\omega) \right] \frac{d\omega}{dt} = M_e(\omega) - m(\omega), \quad (1)$$

$$M_e(\omega) = M_m(\omega) - M_a(\omega),$$

where M_m is the generalized moment of driving forces, M_a is the generalized moment of active resistance forces.

In general, such a machine unit (Fig. 3) includes an engine M , a transmission T , a shell C with a load F , which rotates in supports A and B .

Equation (1) for the engine shaft, taken as the driving body, takes the form

$$\left\{ \left[\frac{\omega^2}{2} \frac{d^2 I_f(\omega)}{d\omega^2} + 2\omega \frac{dI_f(\omega)}{d\omega} + I_f(\omega) + I_c \right] \frac{1}{i^2} + I_m \right\} \frac{d\omega}{dt} = M_m(\omega) - \frac{M_f(\omega) + M_{rb}}{i\eta}, \quad (2)$$

where $I_f = I_{z2} = \rho \int_w (r_{vx}^2 + r_{vy}^2) dw$ is the axial moment of inertia of the load, $I_c = I_{z1}$ is the axial moment of inertia of the shell, I_m is the axial moment of inertia of the rotating parts of the engine, M_m is the torque of the drive engine, $M_f = M_{az} + m_z$ is the moment of resistance of the filling to rotation of the shell, M_{az} is the moment of active mass forces of the load, $m_z = m_{kz} + m_{vz}$ is the moment of reactive forces of the load, m_{kz} is the moment of reactive Coriolis forces of the load, m_{vz} is the moment of reactive variation forces of the load, M_{rb} is the moment of resistance in the rotation supports of the shell, i is the gear ratio of the transmission, η is the efficiency of the transmission.

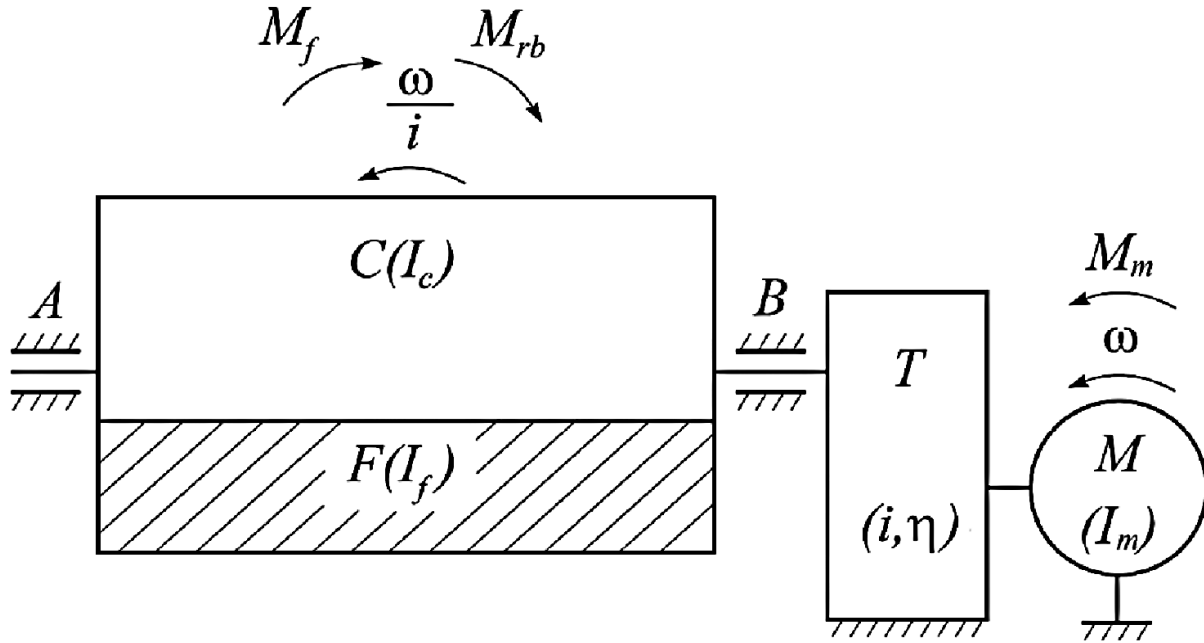


Fig. 3. Calculation scheme of the machine unit of the drum tumbling machine: M is the drive motor, I_m is the axial moment of inertia of the rotating parts of the motor, T is the drive transmission, i is the gear ratio, η is the efficiency of the transmission, C is the drum shell, A and B are the drum rotation supports, I_c is the axial moment of inertia of the drum shell, F is the drum chamber load, I_f is the axial moment of inertia of the load, ω is the angular velocity of rotation of the motor, ω/i is the angular velocity of rotation of the drum, M_m is the torque of the drive motor, M_f is the moment of resistance of the filling to rotation of the drum, M_{rb} is the moment of resistance in the drum supports

Based on the direct Lyapunov method, the condition of asymptotic stability of the steady-state motion of the machine unit of a drum tumbling machine has the form

$$\frac{\frac{dM_f(\omega_0)}{d\omega} \frac{1}{i\eta} - \frac{dM_m(\omega_0)}{d\omega}}{\left[\frac{\omega_0^2}{2} \frac{d^2 I_f(\omega_0)}{d\omega^2} + 2\omega_0 \frac{dI_f(\omega_0)}{d\omega} + I_f(\omega_0) + I_c \right] \frac{1}{i^2} + I_m} > 0. \quad (3)$$

Condition (3) differs from the similar condition for $I_f = \text{const}$ by the expression in the denominator.

An extreme negative value of the second derivative $d^2 I_f(\omega_0)/d\omega^2$ can cause a negative value of the entire denominator, and an extreme negative value of the derivative $dM_f(\omega_0)/d\omega$ can cause a negative value of the entire numerator (3). This can lead to failure to satisfy condition (3) and loss of stability of motion.

Based on the results obtained [2–7], scientists from the Rivne Technical Vocational College and the Department of Construction, Road and Reclamation Machinery, with the participation of participants of the scientific circle of higher education students "Engineering of working processes of drum mills" of the National University of Water and Environmental Engineering, developed an innovative working process of tumbling parts in a drum [8]. The process was patented as a utility model. The developed process involves tumbling during drum rotation with a bifurcation value of the self-excitation speed of auto-oscillations of the granular load in the cross section of the chamber.

The technical effect of self-excitation of auto-oscillations of the intra-chamber granular loading of a drum tumbling machine has been revealed:

- activation of the passive part of the loading,
- increase in the dispersion of the loading,
- significant increase in the contact surface of the pulsating granular loading suspended in the chamber,
- increase in the velocity gradient between individual layers of the medium,
- increase in the frequency of mutual collisions of the loading particles,
- prevention of the formation of a central core of particle size segregation,
- improvement of the interaction of filler particles with hard-to-reach curved sections of the surfaces of the processed parts,
- increase in the uniformity of surface treatment,
- activation of surface plastic deformation during the pulse interaction of the filler with parts and parts with each other,
- increase in the productivity of the tumbling process,
- increase in the quality of surface treatment of parts,
- reduction in filler consumption.

In the future, it is planned to determine the influence of different modes of self-excitation of auto-oscillations of the intra-chamber loading due to the loss of stability of motion on the efficiency of the process of tumbling parts in the drum.

1. Both H.-U. Mahlkörperbewegungen in der Kugelmühle [Motions of Grinding Elements in a Ball Mill]. 1966. IWF (Göttingen). [Video]. (06m:43s–07m:11s) YouTube. <https://doi.org/10.3203/IWF/C-921>
2. Deineka K., Naumenko Yu. Revealing the mechanism of stability loss of a two-fraction granular flow in a rotating drum. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 4. Issue 1(118). P. 34–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263097>
3. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. The tumbling mill rotation stability. *Naukovyi Visnyk Nationalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2018. Issue 1(163). P. 60–68. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/10>
4. Deineka K., Naumenko Yu. Revealing the effect of decreased energy intensity of grinding in a tumbling mill during self-excitation of auto-oscillating of the intrachamber fill. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 1. Issue 1(97). P. 6–15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155461>
5. Deineka K., Naumenko Yu. Establishing the effect of decrease in power intensity of self-oscillation grinding in a tumbling mill with decrease of intrachamber fill. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 6. Issue 7(102). P. 43–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.183291>
6. Deineka K., Naumenko Yu. Establishing the effect of decreased power intensity of self-oscillatory grinding in a tumbling mill when the crushed material content in the intra-chamber fill is reduced. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 4. Issue 1(106). P. 39–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209050>
7. Deineka K., Naumenko Yu. Establishing the effect of simultaneous reduction in the filling load inside a chamber and in the content of the crushed material on the energy intensity of self-oscillatory grinding in a tumbling mill. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 1. Issue 1(109). P. 77–87. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224948>
8. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V., Zhabchuk S. V. Pat. No. 157163 UA. Sposib haltuvannia detalei v barabani [A method for filleting parts in a drum]. MKP B24B 31/02. No. u202400950; declared: 25.02.2024; published: 11.08.2024, Bul. No. 37, 2024. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1817657/>.

УДК 539.4

STRESS STATE OF A CIRCULAR PLATE WITH HOLES OF DIFFERENT DIAMETERS UNDER COMPRESSION

НАПРУЖЕНИЙ СТАН КРУГЛОЇ ПЛАСТИНКИ З ОТВОРАМИ РІЗНИХ ДІАМЕТРІВ ПРИ СТИСКУ

Войтович Леонід, Ріжок Назарій

Національний університет водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028

In this work, we determined the stress concentration coefficients near holes of different diameters in a circular plate under compression.

Деякі елементи машин та конструкцій мають форму круглої пластинки. В силу конструктивних та технологічних міркувань в них є отвори, викружки і т.д., котрі викликають концентратори напружень. Такі конструктивні елементи як пластинки можуть працювати на стиск, згин.

В літературі [1] дано розв'язок для стиснутої вздовж діаметра круглої пластинки. Нами проведені дослідження напружено-деформованого стану круглої пластинки, що мала три отвори: центральний та два ексцентричні, центри яких лежать на діаметрі диска. Пластика стискалась двома силами, напрямленими вздовж діаметра. Схема навантаження приведена на рисунку.

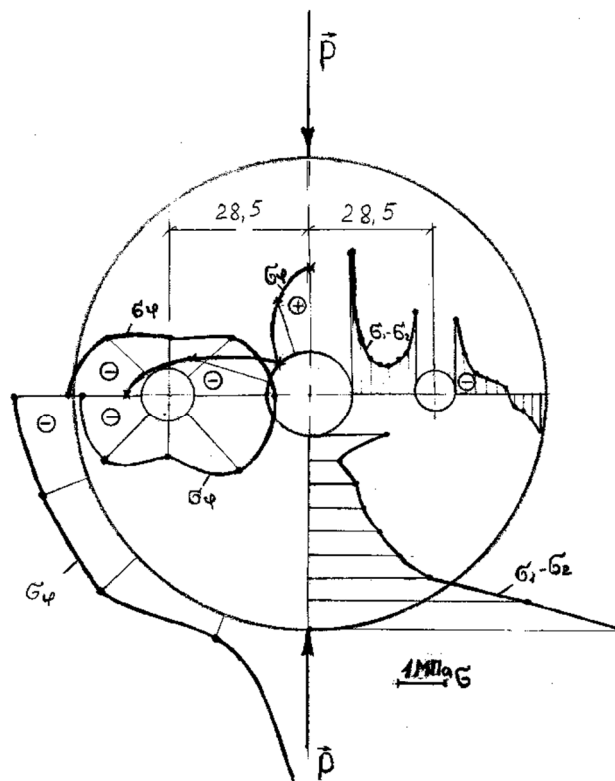


Рисунок. Схема навантаження пластини та графіки розподілення контурних напружень

Дослідження проведені поляризаційно-оптичним методом. Диск діаметром 100 мм та товщиною 1,65 мм виготовлявся з оптично-активного матеріалу Є-2, з модулем пружності

$E = 4100$ МПа і оптичною сталою $C = 39,6 \cdot 10^6$ МПа⁻¹. Навантаження здійснювалось за допомогою спеціального навантажувального пристрою з силою $P = 100$ Н. Вимірювання оптичної анізотропії проводились на координатно-синхронному поляриметрі КСП-5. Заміри проводилися вздовж вертикального та горизонтального діаметру диска, контуру пластинки та контурів отворів. За результатами замірів одержано різницю псевдоголовних напружень (1):

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{\delta}{Cd}. \quad (1)$$

На вільному контурі де нормальне напруження рівне 0, отримаємо значення контурного напруження σ_ϕ . Графіки розподілу напружень $\sigma_1 - \sigma_2$ та σ_ϕ приведені на рисунку.

Для оцінки концентрації напружень визначений коефіцієнт концентрації напружень (2)

$$K = \frac{\sigma_{\phi \max}}{\sigma_n}, \quad (2)$$

де $\sigma_{\phi \max}$ – найбільше напруження на контурі отвору, σ_n – значення напруження σ_y у відповідній точці такої ж круглої пластинки без отворів при стиску, визначене за формулою (3):

$$\sigma_y = -\frac{2P}{\pi} \left[\frac{(R-y)^3}{(x^2 + (R-y)^2)^2} + \frac{(R+y)^3}{(x^2 + (R+y)^2)^2} - \frac{1}{D} \right]. \quad (3)$$

Значення коефіцієнтів концентрації напружень приведені в таблиці.

Таблиця

Значення коефіцієнтів концентрації напружень

	Коефіцієнт концентрації напружень, К
Центральний отвір Ø 18мм	2,84
Ексцентричний отвір Ø 9мм	2,67
Ексцентричний отвір Ø 11мм	2,82

Як впливає з приведених результатів при визначенні коефіцієнтів концентрації напружень біля отворів різних діаметрів в круглій пластині при стиску отримали:

центральный отвір Ø 18 мм – $K=2,84$;
ексцентричний отвір Ø 9 мм – $K=2,67$;
ексцентричний отвір Ø 11 мм – $K=2,82$.

1. Тимошенко С. П. Курс теорії пружності. Київ : Наукова думка, 1972. 508 с.

УДК 621.9

**STUDY OF CHANGES IN THE MOLECULAR STATE OF THE SURFACE LAYER OF
PARTS DURING VIBRATION-CENTRIFUGAL TREATMENT WITH A BULK
ABRASIVE MEDIUM**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ МОЛЕКУЛЯРНОГО СТАНУ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ
ПРИ ВІБРАЦІЙНО-ВІДЦЕНТРОВІЙ ОБРОБЦІ СИПУЧИМ АБРАЗИВНИМ
СЕРЕДОВИЩЕМ**

Кондратюк Олександр, Верещако Олександр, Корнюша-Шварц Наталія

*Рівненський економіко-технологічний фаховий коледж, НУБГП
вул. Литовська, 53, м. Рівне, 33000*

Широке впровадження високопродуктивних методів фінішної обробки та підвищення вимог до якості і товарного вигляду виробів є важливим напрямком науково-технічного прогресу. Це приводить до рішення задач з ефективної механізації зачисної, шліфувальної і зміцнюючої операцій, один із яких є вібраційно-відцентровий метод обробки поверхневого шару деталей сипучим абразивним середовищем. Впровадження вібраційно-відцентрового оброблення з вільним завантаженням деталей в сипуче абразивне середовище, яке має велику різноманітність характеристик, являє собою процес мікрорізання мікронерівностей, пластичного деформування частинками робочого середовища. Цей процес фінішного оброблення деталей дозволяє керувати якістю поверхні і отримувати високі експлуатаційні характеристики оброблюваних деталей різної складності геометричної форми в результаті цілеспрямованого керування технологічним процесом в завершальній стадії. Тому широкі технологічні можливості процесу вібраційно-відцентрового оброблення при виконанні фінішних операцій ставить його в число найбільш актуальних і перспективних способів механічного оброблення різних деталей машин і викликає необхідність всебічних досліджень для створення нових, а також вдосконалення існуючих технологічних процесів для вібраційно-відцентрованих верстатів і установок, які сприяють широкому впровадженню процесу у виробництво.

Продуктивність і якість процесу вібраційно-відцентрового оброблення визначає характер циркуляційного руху сипучого робочого середовища і деталей, які обробляються. Одними з основних факторів, які формують цей процес, є режими коливань, конструкції робочих камер, об'єм і ступінь їх заповнення. Всі ці фактори значно впливають на сили мікроударів, контактний тиск, траєкторії руху, які виникають в зоні дії мікроударів, швидкість і прискорення частинок робочого середовища, що характеризують інтенсивність процесу вібраційно-відцентрового оброблення.

Основними параметрами продуктивності і якості технологічного процесу є зміна шорсткості і мікротвердості поверхневого шару оброблюваних деталей. Велика кількість аналітичних і експериментальних досліджень вібраційно-відцентрового процесу з використанням сипучого абразивного середовища виявили дискретність зміни мікронерівностей поверхневого шару оброблюваних деталей (рис. 1) [1]. Весь процес оброблення деталей можна розділити на наступні етапи. В початковий період оброблення удари гранул приходяться по вершинам мікронерівностей вихідної поверхні деталей. Проходить інтенсивне зминання гребенів мікрорельєфу, в результаті інтенсивно знижується шорсткість і підвищується поверхнева міцність оброблюваної поверхні. Цей етап закінчується формуванням поверхні, яка має більш високі значення показників якості поверхні. Умовно можна назвати таку частину технологічної операції вібраційним проходом. За цей час вся вихідна поверхня деталі покривається слідами взаємодії з гранулами робочого середовища.

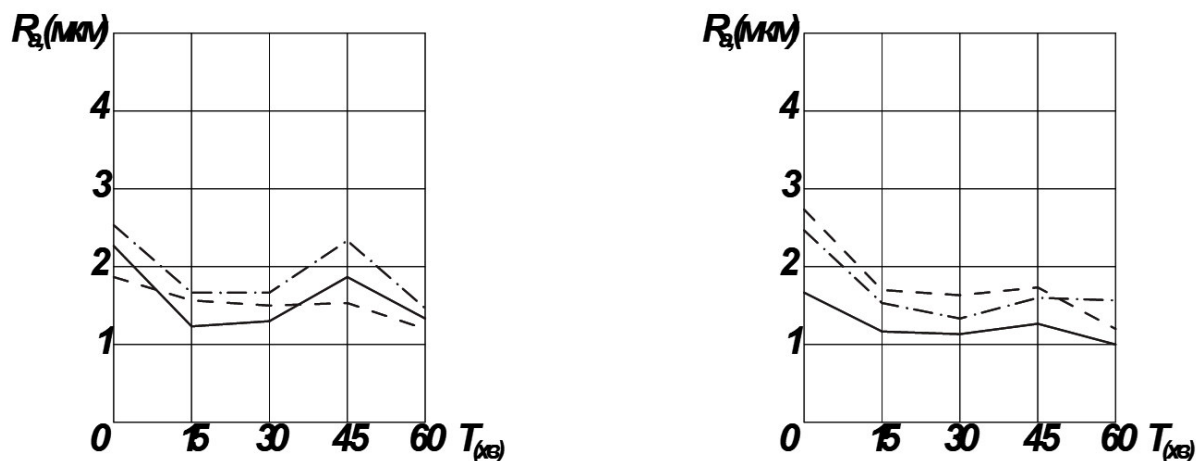


Рис. 1. Зміна середнього арифметичного відхилення профілю R_a в залежності від тривалості оброблення при різних вихідній шорсткості, мідних і сталевих сплавів, три зразки

В наступний період оброблюється поверхня, яка сформована першим вібраційним проходом. Режим оброблення не змінився, а стійкість робочого середовища забезпечує майже незмінну його оброблювану властивість.

Гранула робочого середовища, маючи ту ж енергію, що і в першому проході, залишає на поверхні повторний слід, глибина якого дещо більша, ніж висота мікронерівностей, сформованих першим проходом. Гранула деформує метал в основі виступів вихідного мікрорельєфу поверхні зразка. Збільшується степінь і глибина наклепу.

Другий вібраційний прохід характеризується підвищенням параметрів шорсткості, але числове значення R_a в кінці проходу менше вихідного (до оброблення). Наступний прохід відрізняється зниженням шорсткості. Це пояснюється двома факторами. По-перше, з кожним наступним проходом зона взаємодії гранули з поверхнею наближається до основ виступів мікрорельєфу, в результаті чого збільшується площа взаємодії гранули з поверхнею. По-друге, перших два проходи привели до підвищення поверхневої міцності матеріалу зразка. Це додатково приводить до збільшення реакції поверхні при силовій взаємодії з нею гранули робочого середовища. Від проходу до проходу пружна фаза удару гранули об поверхню буде збільшуватись.

Аналіз перших проходів ВВО свідчить, що формування шорсткості поверхні проходить дискретно з зменшенням степені дискретності при збільшенні часу оброблення. По мірі наближення до сталої шорсткості силова взаємодія гранули з поверхнею деталі набуває характер пружного удару.

Аналізуючи вібраційні проходи можна зробити висновки, що кристалічна будова поверхневого шару, тобто реальні кристали на відміну від ідеальних набувають багато різних дефектів, де порушено правильне розташування атомів. *Точкові дефекти* можна розглядати як центр стиснення або розширення у пружному середовищі, що зумовлює викривлення біля нього кристалічної ґратки і можуть взаємодіяти між собою, утворюючи пари або комплекси різних недосконалостей. Цей вид дефекту виникає при мінімальній силі взаємодії абразивної гранули з оброблюваною поверхнею деталі. При збільшенні сили взаємодії приводить до *лінійних дефектів*, що мають невеликі розміри у двох вимірах і значну протяжність у третьому. Це може бути низка вакансій або міжвузлових атомів. Особливим і найважливішим видом лінійної недосконалості є крайові і гвинтові дислокації (рис. 2). *Крайова дислокація* відображає локалізоване викривлення кристалічної ґратки внаслідок присутності в ній «зайвої» напівплощини (екстра-площини). Край цієї площини утворює дефект ґратки – лінійну (крайову) дислокацію, біля якої виникають пружні викривлення ґратки і відбувається зміщення атомів відносно їх нормальних положень при невеликому дотичному напруженні. У

цьому випадку екстраплощина шляхом незначного зміщення перейде у повну площину кристалу, а функції екстраплощини будуть передані сусідній площині.

Такий вид градки (може бути перевернутим) відповідає деформації абразивною гранулою металу.

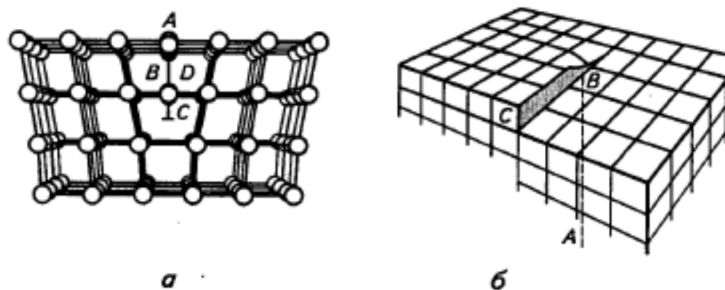


Рис. 2. Схеми крайової (а) та гвинтової (б) дислокацій у кристалічній ґратці металу

При збільшенні сили взаємодії проходить зрізання частинки металу. Це відповідає гвинтовій дислокації, що відображає порушення порядку розташування атомів. У цьому випадку кристал можна уявити як такий, що складається з однієї атомної площини, закрученої у вигляді гвинтової поверхні (рис. 2, б). На відміну від крайової гвинтова дислокація паралельна до вектору зсуву. Розрізняють: правосторонні (за рухом годинникової стрілки) і лівосторонні (проти руху годинника) гвинтові дислокації. Навколо дислокації утворюється викривлення кристалічної ґратки. Енергію викривлення ґратки характеризує так званий вектор Бюргера, з величиною якого пов'язують здатність дислокації до переміщення.

Враховуючи, що в площині ковзання реального металевого кристала є близько 10^{14} атомів на кожний сантиметр квадратний перерізу, потрібно дуже велике зусилля (для технічного заліза в десятки разів більше, ніж це реально спостерігається) (рис. 3, а).

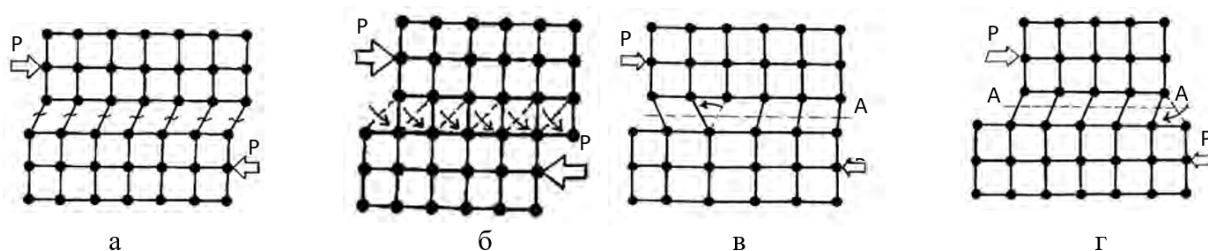


Рис. 3. Переміщення дислокацій вздовж площини ковзання

При досягненні необхідного зусилля відбувається пластичний зсув по всій площині ковзання (рис. 3, б). Пластичний зсув у металі потрібно сприймати як процес естафетного переміщення дислокацій. У результаті проходження цієї хвилі дислокації, як своєрідної естафети, дислокація послідовно передаватиметься сусіднім рядам атомів, поки не вийде на межі зерна (рис. 3, в). При передаванні руху від частого зміщення рядів атомів дислокація вийде на поверхню, де і зникне, як це показано на рисунку (рис. 3, г). Кінцевим результатом переміщення дислокації вздовж площини ковзання AA є зсув на одну міжатомну відстань, причому для виконання цього зсуву знадобилося значно менше зусилля, ніж при відсутності дислокації.

При повторному вібраційному проході при постійній величині сили Р характер зміни кристалічної ґратки подібний крайовій дислокації з меншою відстанню атомів, що приводить до пружного характеру взаємодії гранули з поверхнею. Отже, можна зробити висновок, що процес зсуву в кристалі відбувається тим легше, чим більше дислокацій існує в металі.

Навпаки, чим менше в металі таких дислокацій, тим менше можливостей для зсуву і тим він міцніший. У металі, в якому не утворюються дислокації, зсув можливий тільки за рахунок одночасного зміщення однієї частини кристала щодо іншої. У цьому випадку міцність бездислокаційного металу має дорівнювати теоретичній. Відомо, що міцність нитковидних кристалів металів, так званих вусів, виявилась ближчою до теоретичної, що зумовлено дуже малою кількістю дислокацій.

Виходячи з розглянутого матеріалу можна стверджувати, що збільшення реальної міцності зі збільшенням щільності дислокацій пояснюються тим, що при цьому виникають не тільки паралельні одна одній дислокації, а й дислокації у різних площинах і напрямках. Такі дислокації перешкоджатимуть одна одній переміщатися, і реальна міцність металу збільшується. Також цей процес залежить від вибраного металу, або сплавів оброблюваних деталей, що визначає силу взаємодії Р абразивної гранули з поверхнею і параметри технологічного процесу вібраційно-відцентрової обробки.

1. Кондратюк О. М., Серілко Л. С. Оптимізація технологічного процесу вібраційно-відцентрової обробки деталей. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2011. № 1(61). С. 87–93.
2. Кондратюк О. М., Ромейко І. В. Аналіз циркуляції робочого середовища при вібраційно-відцентровій обробці деталей. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. Рівне : НУВГП, 2006. Вип. 2(34). С. 253–271.
3. Кондратюк О. М. Теоретична модель процесу вібраційно-відцентрової обробки. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. Рівне : НУВГП, 2007. Вип. 2(38). С. 286–293.
4. Olexander Kondratiuk, Leonid Serilko, Oleg Lyashuk, Yuriy Galan. Investigation of abrasive granule movement relatively to the workpiece surface during vibration treatment (До слідження руху абразивної гранули відносно оброблюваної поверхні деталі при вібраційній обробці). *Вісник Тернопільського національного технічного університету*. Тернопіль : ТНТУ, 2020. Вип. 2(98). С. 59–68.
5. Власенко А. М., Співак О. Ю. Матеріалознавство для студентів теплоенергетичних спеціальностей : навч. посіб. Вінниця : ВДТУ, 2002. 101 с.

УДК 621.791

APPLICATION OF MODIFYING ADDITIVES OF NATURAL FULLERENE SHUNGITE FOR RESTORATION OF MACHINE PARTS

ЗАСТОСУВАННЯ МОДИФІКУЮЧИХ ПРИСАДОК ПРИРОДНОГО ФУЛЕРЕНУ ШУНГІТУ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Мельников Віталій, Рибалко Іван, Тіхонов Олександр

*Державний біотехнологічний університет
вул. Алчевських, 44, м. Харків, 61002*

Для підвищення експлуатаційної стійкості виробів у процесі відновлення використовують наплавочні матеріали з легуючими добавками. При реалізації технологічного процесу з урахуванням вимог експлуатації вводять різні компоненти. Для підвищення твердості та зносостійкості покриттів випробувати модифікування природним фулереном (шунгітом) для зміцнення відновлюваного шару наплавленням.

Що стосується інших типів модифікуючих присадок, то також є значний досвід їх використання [1–5] при відновлювальному наплавленні різними методами (лазерний, електродом, дротом зі спеціальною підготовкою до введення різних композицій).

Метою роботи було проведення аналізу для встановлення впливу модифікуючої присадки шунгіту для оцінки ефективності процесу відновлення та зміцнення деталей.

На першому етапі введення подрібненого шунгіту здійснювали шляхом нанесення шлікерного покриття на 20 мм вал. Зона проплавлення в середньому становила 5 мм. Одночасно вал наплавляли тим самим дротом Св-08Г2С без введення зміцнюючих домішок. Дослідження мікрошліфів до травлення показало, що в наплавленому шарі формується мінімальна кількість неметалевих включень, у той час як їхня частка в основному металі істотно вища. Для підвищення експлуатаційної стійкості виробів у процесі відновлення використовують наплавочні матеріали з легуючими добавками. При реалізації технологічного процесу з урахуванням вимог експлуатації вводять різні компоненти.

Для підвищення твердості та зносостійкості покриттів випробувати модифікування природним фулереном (шунгітом) для зміцнення відновлюваного шару наплавленням.

Що стосується інших типів модифікуючих присадок, то також є значний досвід їх використання [1–5] при відновлювальному наплавленні різними методами (лазерний, електродом, дротом зі спеціальною підготовкою до введення різних композицій).

Метою роботи було проведення порівняльного аналізу для встановлення впливу різних фракцій модифікуючих присадок для оцінки ефективності процесу відновлення та зміцнення деталей

На першому етапі введення подрібненого шунгіту здійснювали шляхом нанесення шлікерного покриття на 20 мм вал. Зона проплавлення в середньому становила 5 мм. Одночасно вал наплавляли тим самим дротом Св-08Г2С без введення додатків, що зміцнюють. Дослідження мікрошліфів до травлення показало, що в наплавленому шарі формується мінімальна кількість неметалевих включень, у той час як їхня частка в основному металі істотно вища.

Включення шунгіту характеризуються чорним кольором і великими розмірами, що пов'язано з недостатнім дробленням через дуже високу їх твердість.

При введенні шунгіту структура наплавленого шару характеризується помітною неоднорідністю – різними за розміром зернами (рис. 1). Шунгіт не розчиняється. Його включення більші і разом з феритом розташовуються по межах зерен. Структура зерен матриці – голковий бейніт.

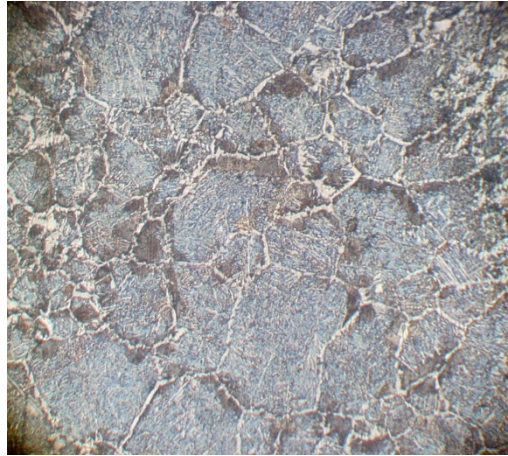


Рис. 1. Мікроструктура зони наплавленого шару, модифікованого шунгітом, $\times 1000$



Рис. 2. Мікроструктура зони наплавленого шару без введення модифікаторів, $\times 1000$

Без добавок порошків, що модифікують, структура істотно відрізняється. У такому покритті формуються дендрити, і вони спрямовані у бік тепловідведення при кристалізації (рис. 2), формуються витягнуті зерна. Ферит розташовується як у межах зерен, і їх тілу, і навіть смугами як окремих виділень і скупчень (див. рис. 2).

Зона сплавлення з добавками шунгіту (рис. 3) має хвилястий характер, у той час як при наплавленні тільки дротом вона різко виражена і, у ряді випадків, відрізняється прямолінійністю, наявністю тріщин і пористістю на межі розділу (рис. 4).

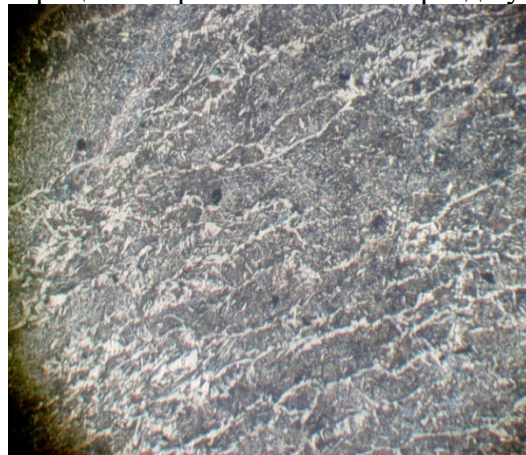
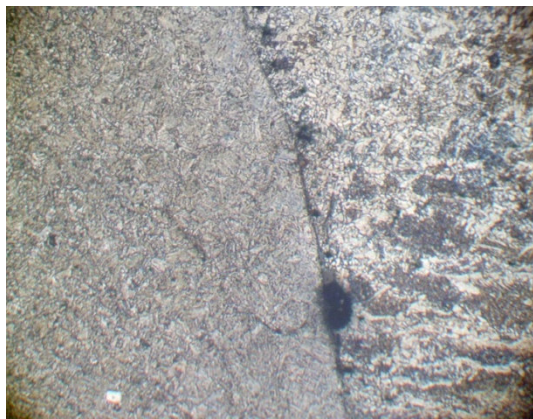


Рис. 3. Межа розділу при наплавленні з добавками шунгіту, $\times 100$



а



б

Рис. 4. Межа розділу при наплавленні без добавок, $\times 1000$:
а – тріщина на межі розділу; б – чітко виражена перехідна зона

При введенні шунгіту мікротвердість збільшується на 11%. Це свідчить про те, що вуглецевмісні включення цієї присадки мають більший розмір і їх менше, зерно більше. Можна припустити, що шунгіт, введений при наплавленні, був погано роздроблений, через що відзначалася велика структурна неоднорідність.

Мікротвердість у вихідному матеріалі становила в середньому Н-50-185.

Мікротвердість фериту під час введення шунгіту досягала Н-50-175-214, а – сорбіту Н-50-185-227, тобто. при його введенні мікротвердість змінювалась у ширших межах.

При введенні шунгіту рівень мікротвердості в зоні термічного впливу в середньому вище на 15% і становить Н-50-221-237.

В результаті проведених досліджень було виявлено, що оптимальною температурою наплавлення є $1550\text{--}1600^\circ\text{C}$ при введенні таких модифікуючих присадок.

Для модифікування відновлювальних покриттів наплавленням на першому етапі досліджень аналізували вплив вуглецевмісних присадок природного походження – шунгіту. В наплавленому шарі формується мінімальна кількість неметалевих включень. При введенні шунгіту структура наплавленого шару характеризується помітною неоднорідністю – різними за розміром зернами. Шунгіт не розчиняється. Його включення більші і разом з феритом розташовуються по межах зерен. Структура зерен матриці – голковий бейніт.

Мікротвердість збільшується на 11%. В результаті проведених досліджень було виявлено, що оптимальною температурою наплавлення є $1550\text{--}1600^\circ\text{C}$.

1. Спосіб відновлення та зміцнення деталей: пат. № 48353 Україна: МПК (2009) B24B39/00. № 200910791; заявл. 26.10.09; опубл. 10.03.10, Бюл. № 5 / Т. С. Скобло, І. М. Рибалко, О. І. Сідашенко, О. В. Тіхонов та ін.

2. Скобло Т. С., Сідашенко О. І., Рибалко І. М., Марков А. В. Застосування модифікуючих присадок для відновлення деталей машин. *Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. Кропивницький : ЦНТУ, 2017. Вип. 47, Ч. І. С. 229–240.

3. Рибалко І. М., Романюк С. П., Омельченко Л. В., Марков О. В. Підвищення властивостей та експлуатаційної стійкості зміцнення та відновлення деталей модифікуванням із нано та дисперсними діамантами. *Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii*. 2023. Т. 21, № 2. С. 363–378. <https://doi.org/10.15407/nnn.21.02.363>

4. Теоретичні основи та технологічні процеси відновлення деталей машин : навч. посіб. / М. І. Черновол, І. В. Шепеленко, І. Ф. Василенко, М. В. Красота, О. В. Тіхонов, О. А. Науменко, І. М. Рибалко. Харків : «Діса плюс», 2025. 347 с.

5. Мельников В. Є., Рибалко І. М. Оцінка мікроструктури наплавлених зон з різними добавками вуглецевмісних порошків. *Молодь і індустрія 4.0 В XXI столітті : XXI-й Міжнародний форум молоді*. Збірка матеріалів форуму. Харків : ДБТУ, 2025. С. 191–193.

УДК 621.77.04

USE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE MANUFACTURE OF SPARE PARTS FOR MECHANISMS AND MACHINES

ВИКОРИСТАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН МЕХАНІЗМІВ І МАШИН

Похильчук Ігор, Стрілець Олег

*Національний університет водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

Відмови у роботі сільськогосподарських і меліоративних машин пов'язані зі складними умовами експлуатації. В першу чергу це погодні-кліматичні фактори: температура, вологість, запиленість повітря, атмосферні опади, сонячна радіація та ін; властивості ґрунту: щільність, вологість, вміст абразивних частинок, кам'яність і ін.; фізичні характеристики рослин: щільність, вологість, опір різанню, здатність прилипати до поверхонь робочих органів та ін. Крім того, причиною відмов машин є тривалі терміни їх експлуатації. Наприклад, парк сільськогосподарських і меліоративних машин значною мірою складається з техніки виготовленої більше 30 років тому назад. Не менш важливим чинником є війна, що ускладнює постачання запасних частин для сучасної імпоротної техніки.

Таким чином виникають проблеми з ремонтом техніки через відсутність необхідних запасних частин, бо далеко не кожне підприємство, що здійснює ремонт, має можливості виготовляти запасні частини власними силами, особливо якщо вони мають складну конструкцію. Також часто вартість виготовлення запчастин за традиційними технологіями виявляється досить високою, а терміни виготовлення – тривалими. В таких випадках ефективним є виготовлення необхідних запасних частин за допомогою адитивних технологій (технологій 3D-друку), згідно з якими деталь створюється шляхом пошарового нанесення матеріалу на основі 3D моделі [1].

Застосування адитивних технологій дозволяє скоротити витрати на позапланові ремонти машин, пов'язані придбанням запчастин, виключити ймовірність наднормативного простою машин в ремонті через брак запчастин і прискорити випуск машин з непланових ремонтів, спростити інфраструктуру матеріально-технічного забезпечення ремонту.

Існує два основних напрямки застосування адитивних технологій при виготовленні деталей машин, [2]:

- виготовлення демонстраційних або експериментальних зразків з метою підвищення ефективності проектування механізмів і машин;
- виготовлення власне деталей з метою підвищення ефективності процесів виробництва або ремонту.

Виготовлення запчастин за допомогою адитивних технологій може здійснюватися як на підприємствах, що виробляють машини, так і на підприємствах, що виконують ремонт машин, за умови, що ці підприємства мають необхідне обладнання, тобто 3D-принтери. Крім того, запчастини можуть виготовлятися на спеціалізованих підприємствах, які займаються адитивним виробництвом і надають послуги іншим підприємствам з виготовлення різних деталей, у тому числі запчастин, за допомогою адитивних технологій.

Відомі різноманітні види адитивних технологій, що відрізняються принципами пошарової побудови деталей, і, відповідно, різноманітні типи 3D-принтерів, що відрізняються принципами конструктивного виконання.

Адитивні технології дозволяють друкувати деталі із різних матеріалів.

Термопластики, [3].

PLA (Полілактид) є одним з найпоширеніших матеріалів для 3D друку, особливо серед аматорів. Він виготовляється з відновлюваних ресурсів, таких як кукурудзяний крохмаль або цукрова тростина, що робить його екологічно чистим. PLA легко друкується при низьких температурах (близько 180–220° C) і не потребує нагрітої платформи. Однак він менш міцний та термостійкий порівняно з іншими матеріалами.

ABS (Акрилонітрил-бутадієн-стирол) є міцнішим і стійкішим до високих температур матеріалом, ніж PLA, що робить його ідеальним для створення функціональних прототипів та деталей. Він друкується при вищих температурах (близько 220–250° C) і потребує нагрітої платформи для запобігання деформації. Недоліком ABS є виділення неприємного запаху та шкідливих випарів під час друку, тому рекомендується використовувати його в добре вентильованих приміщеннях.

PETG (Поліетилентерефталат гліколь) поєднує в собі кращі властивості PLA та ABS, будучи легким у друкуванні, як PLA, і міцним, як ABS. Він має високу ударостійкість та хімічну стійкість, що робить його підходящим для створення функціональних виробів. Температура друку PETG зазвичай становить 220–250° C, і він має низьку схильність до деформації.

Резини, [4].

TPU (Термопластичний поліуретан) є гнучким матеріалом, який використовується для створення еластичних деталей, таких як ущільнювачі, чохли для телефонів та взуття. Він має високу зносостійкість та хімічну стійкість. Друк TPU вимагає деяких налаштувань, оскільки цей матеріал може бути складним у роботі через свою гнучкість.

Метали.

Нержавіюча сталь широко використовується в 3D друці для створення міцних і довговічних деталей. Вона має відмінну корозійну стійкість, що робить її ідеальною для медичних пристроїв, інструментів та автомобільних деталей. Друк з нержавіючої сталі зазвичай здійснюється методом лазерного спікання порошку.

Титан є легким та міцним матеріалом, який має високу корозійну стійкість та біосумісність. Він використовується для виготовлення медичних імплантатів, аерокосмічних деталей та високотехнологічних виробів. Друк з титану також здійснюється методом лазерного спікання порошку.

Композити, [5].

Карбонові волокна. Матеріали з додаванням карбонових волокон мають високу міцність та жорсткість при низькій вазі. Вони ідеально підходять для створення функціональних деталей, які вимагають високої стійкості до навантажень. Друк з карбоновими волокнами може бути складним, оскільки цей матеріал швидко зношує сопло 3D принтера.

Скляні волокна додають матеріалу жорсткість та зносостійкість. Вони використовуються для створення деталей, які повинні витримувати високі механічні навантаження. Як і карбонові волокна, скляні волокна можуть швидко зношувати сопло 3D принтера.

Практичний інтерес представляють такі адитивні технології, які дозволяють створювати деталі з металів, а також з полімерів.

Виготовлення деталей за допомогою адитивних технологій може бути прямим та непрямим. У першому випадку готові деталі отримують безпосередньо за допомогою адитивних технологій, у другому - спочатку за допомогою адитивних технологій створюють формоутворюючу оснастку, яку потім використовують для отримання деталей звичайними способами. Прямим шляхом можна отримувати як металеві, і полімерні деталі. Непрямий шлях застосовується для виготовлення металічних деталей, які технічно важко чи економічно невигідно отримувати прямим шляхом.

Пряме виготовлення деталей з металів [6] здійснюється за допомогою технологій Selective Laser Melting (SLM) та Electron Beam Melting (EBM), згідно з якими їх побудова йде шляхом пошарового нанесення металевих порошків на робочу платформу та його

селективного сплавлення лазерним або електронним променем. Також пряме виготовлення деталей з металів відбувається шляхом подачі металевого порошку або дроту безпосередньо до місця побудови, де пошарово проводиться лазерна наплавка – технології Laser Engineered Net Shape (LENS) (порошок) і Laser Metal Deposition (LMD) (порошок або дріт) або електрон-променева наварка - технолог (Дрот). Пряме виготовлення деталей з полімерів здійснюється за допомогою технології Fused Deposition Modeling (FDM) – шляхом пошарового укладання волокна з термопластичного полімеру, нагрітого до напіврідкого стану, з подальшим затвердінням покладених шарів. Крім того, для прямого виготовлення деталей і з металів, і з полімерів застосовується технологія Sheet Lamination (SL), згідно з якою побудова деталей відбувається шляхом пакетування і з'єднання між собою контурних листових викрійок з металевих або полімерних матеріалів.

Непряме виготовлення деталей пов'язане із застосуванням адитивних технологій для створення формуютьовуючого ливарного оснащення, зокрема, випалюваних і виплавлюваних моделей, а також ливарних форм. Випалювані моделі одержують з полістиролу за технологією Selective Laser Sintering (SLS) – шляхом пошарового нанесення полімерного порошку на робочу платформу та його селективного спікання лазерним променем, з поліметилметакрілату за технологією Multi-Jet Modeling (MJM) – шляхом побудови. затвердіває, або з фотополімерів за технологією Stereolithography Apparatus (SLA) – шляхом послідовного формування шарів рідкого фотополімеру та їх селективного затвердіння під дією променя ультрафіолетового лазера. Виплавлювані моделі отримують з ливарного воску з фотополімерним сполучним MJM-технології, а також з ПБХ-плівок за SL-технології. Ливарні форми отримують за допомогою SLS-технології з ливарного піску з полімерним зв'язуючим або за допомогою Ink-Jet-технології, коли сполучна подається краплями на послідовно формуються шари піску або гіпсу.

Вибір матеріалу та технології для 3D друку залежить від багатьох факторів, таких як цільове застосування, механічні властивості та вартість. Розуміння властивостей різних матеріалів дозволяє вибрати найбільш підходящий варіант для кожного конкретного проекту. Технології 3D друку продовжують розвиватися, і майбутнє обіцяє ще більше інновацій у сфері матеріалів для адитивного виробництва.

1. Perez M., Carou D., Rubio E. M., Teti R. Current advances in additive manufacturing. *13th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering*. 2019. 17–19 July.
2. Colosimo B. M., Qiang H., Tirthankar D., Tsung, Fugue Opportunities and challenges of quality engineering for additive manufacturing. *Quality Engineering for Advanced Manufacturing*. 2018. Vol. 50, Is. 3. DOI: <https://doi.org/10.1080/00224065.2018.1487726>.
3. Singh S., Ramakrishna S., Berto F. 3D Printing of polymer composites: A short review. *MDPS*. 2020. Vol. 2, Is. 2, April. DOI: <https://doi.org/10.1002/mdp2.97>.
4. Rafiquzzaman Md., Maksudul Md. I., Rahman Md. H., Talukdar Md. S., Hasan Md. N. Mechanical property evaluation of glass–jute fiber reinforced polymer composites. *Polymers for advanced technologies*. 2016. Vol. 27, Is. 10, October. P. 1308–1316. DOI: <https://doi.org/10.1002/pat.3798>.
5. Beth E. Carroll, Todd A. Palmer, Allison M. Beese Anisotropic tensile behavior of Ti–6Al–4V components fabricated with directed energy deposition additive manufacturing. *Acta Materialia*. 2015. Vol. 87, 1, April P. 309–320. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2014.12.054>.
6. Svetlizky D., Das M., Zheng B., Vyatskikh A. L., Bose S., Bandyopadhyay A., Schoenung J. M., Lavernia E. J., Eliaz N. Directed energy deposition (DED) additive manufacturing: Physical characteristics, defects, challenges and applications. *Materials Today*. 2021. Vol. 49, October P. 271–295. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2021.03.020>.

УДК 378.147

MODERN APPROACHES TO THE MODELING OF TECHNICAL OBJECTS IN THE GRAPHICAL TRAINING OF FUTURE ENGINEERS

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ У ГРАФІЧНІЙ ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ

Сасюк Зоя, Павлюк Олександр, Батейко Максим

*Національний університет водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

Моделювання технічних об'єктів стало ключовим елементом підготовки майбутніх інженерів. У сучасному освітньому середовищі особлива увага приділяється впровадженню цифрових інструментів проектування, які значно підвищують ефективність навчання, розвивають просторову уяву, формують навички інженерного мислення. Центральне місце в цьому процесі займає графічна підготовка, яка забезпечує основу для опанування спеціальних дисциплін і технічного моделювання.

Сучасні дослідження підтверджують важливість використання САПР у графічній підготовці інженерів. Зокрема, Козяр М.М. [1] обґрунтовує доцільність інтеграції САПР у навчальний процес. Пропонується поетапна система підготовки: від 2D-креслення до 3D-моделювання. У посібнику [2] представлено чотиривимірне моделювання технічних об'єктів, що поєднує просторові й часові параметри. Кок і Вауага [3] доводять ефективність 3D-моделювання для розвитку просторової уяви у студентів. Зазначено позитивний вплив таких практик на якість підготовки майбутніх фахівців технічного профілю. Мламбо Р.В. [4] аналізує методи викладання ізометричного креслення та встановлює, що активне використання САПР сприяє кращому розумінню графічного матеріалу студентами.

Ці підходи формують методичну базу, яка забезпечує ефективне впровадження в освітній процес моделювання та візуалізації як невід'ємних складових інженерної освіти.

У підготовці студентів машинобудівного напрямку особливу роль відіграє поетапне впровадження ключових систем автоматизованого проектування:

- AutoCAD використовується на першому курсі навчання як базовий інструмент для вивчення креслення, оформлення технічної документації, побудови простих проєкцій, розрізів, вузлів. Завдяки цьому студенти оволодівають основами геометричного моделювання та розвивати здатність аналізувати інженерні об'єкти, процеси та методи.

- SolidWorks впроваджується на другому-п'ятому курсах, де вже відбувається повноцінне об'ємне 3D-моделювання деталей, складання вузлів, проведення симуляцій та анімацій технічних систем. Програмне забезпечення дозволяє розвиток умінь розробляти деталі та вузли машин із застосуванням САПР, а також розуміти та застосовувати методи конструювання типових механізмів згідно з поставленим завданням.

Для поглибленого вивчення моделювання впроваджено освітній блок майджорів, першою дисципліною якого є «Візуалізація технічних об'єктів». У межах курсу студенти опановують методи графічного представлення об'єктів, вивчають основи інтеграції моделі в технічне середовище, що сприяє формуванню навичок використання систем автоматизованого керування об'єктами та процесами галузевого машинобудування.

Крім того, активно функціонує студентський гурток «Комп'ютерне моделювання деталей машин», де учасники: поглиблено вивчають SolidWorks, виконують мініпроєкти, що імітують реальні виробничі завдання, беруть участь у конкурсах і виставках технічної творчості. Такі практики забезпечують індивідуальну траєкторію професійного розвитку

студентів, а також формують навички командної роботи, самостійного пошуку технічних рішень.

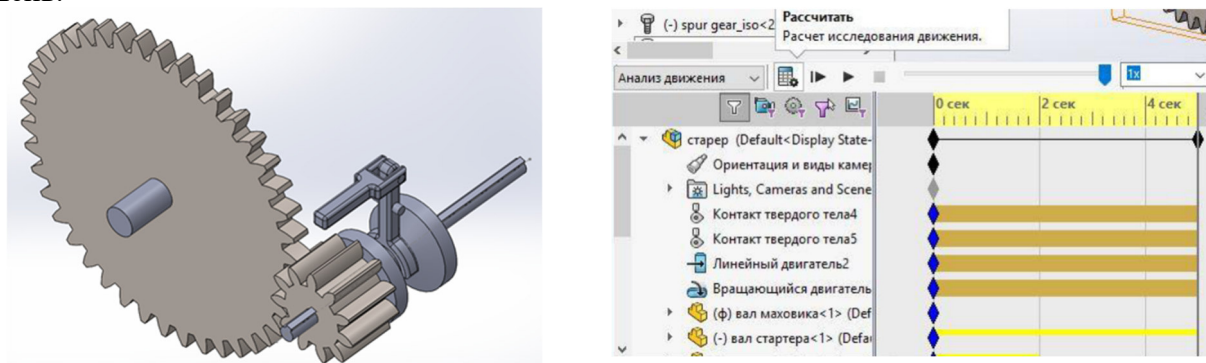


Рисунок. Візуалізація та анімація збірки спрощеної моделі приводу стартера в середовищі Solidworks

Візуалізація та анімація (рисунок) в навчальному процесі має великі переваги, тому що дозволяє:

- прискорити засвоєння складної інформації завдяки наочному поданню;
- розвивати просторову уяву, що є критично важливою для майбутніх інженерів;
- виявляти конструкторські помилки ще на етапі моделювання;
- стимулювати творче та проєктне мислення.

Отже, комплексне впровадження AutoCAD і SolidWorks у графічну підготовку студентів, а також поєднання навчальних дисциплін із практичною роботою в гуртках і проєктних завданнях, сприяє формуванню високого рівня професійних компетентностей. Моделювання та візуалізація вже не є допоміжними інструментами, а стають ядром інженерної освіти, що поєднує теорію, практику та творчість. Такий підхід підвищує конкурентоспроможність випускників на ринку праці й дозволяє гнучко адаптуватися до сучасних викликів машинобудівної галузі.

1. Козяр М. М. Інтеграція графічних пакетів САПР у графічну підготовку здобувачів вищої освіти механічної інженерії. *Інноваційна педагогіка : науковий журнал*. Одеса : Причорноморський науково-дослідний інститут економіки та інновацій, 2024. Вип. 74. Том 1. С. 143–146.

2. Козяр М. М., Парфенюк О. В. Чотиривимірне моделювання технічних об'єктів засобами САПР : електронний навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2018. 313 с.

3. Kok P. J., Bayaga A. Enhancing Graphic Communication and Design Student Teachers' Spatial Visualisation Skills through 3D Solid Computer Modelling. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*. 2019. Vol. 23(1). P. 52–63. <https://doi.org/10.1080/18117295.2019.1587249>.

4. Mlambo P. B. Instructional Practices by Engineering Graphics and Design Teachers: A Focus on Teaching and Learning of Isometric Drawing. *Research in Social Sciences and Technology*. 2024. Vol. 9, № 2. P. 359–376. <https://doi.org/10.46303/ressat.2024.41>.

УДК 621.891

INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF THE PISTON-CYLINDER FRICTION PAIR OF PUMPS FOR AUTOMOTIVE EQUIPMENT

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПАРИ ТЕРТЯ ПОРШЕНЬ-ЦИЛІНДР НАСОСІВ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Свідерський Владислав, Медведчук Олександр, Олятівський Олексій

*Хмельницький національний університет
вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29016*

The analysis of the operation of the high-pressure car wash and the axial piston pump included in its composition was performed. The choice of material for replacing the base material of the axial pump piston is justified. Increasing the wear resistance of composite polymer materials based on aromatic polyimide PM-69 was carried out as a result of their modification with graphite and non-woven powders.

У автомобільній галузі широко використовується насосне обладнання. Автомийки стали невід'ємною частиною кожної станції технічного обслуговування, проте витрати на миття транспортних засобів є значними. Цю проблему можна вирішити шляхом придбання мийки високого тиску – компактного спеціалізованого пристрою, що забезпечує потужний водяний струмінь [1].

Конструкція мийки високого тиску включає електродвигун, насос, автоматичний вимикач двигуна, шланг для подачі води, шланг високого тиску з рукояткою-пістолетом, різні насадки, кабель для підключення до мережі та захисний корпус. Вихідний вал двигуна через редуктор приводить в дію аксіальний поршневий насос, який може створювати тиск до 20 МПа [1]. Насос, зазвичай забезпечує тиск у межах 10–16 МПа, що є оптимальним для побутових автомийок.

Найчастіше застосовують аксіальний поршневий насос із похилим диском. У литому корпусі розміщений блок циліндрів, у яких рухаються поршні. Вони спираються на похилий диск, що обертається електродвигуном. Перемикання виходу циліндрів здійснюється гідророзподільвачем. Під час обертання диска він по черзі натискає та відпускає поршні, створюючи високий тиск на виході насоса. У деяких конструкціях осьових аксіальних насосів нерухомим залишається диск, а обертається блок циліндрів, проте принцип роботи залишається незмінним.

Корпус насоса може виготовлятися з різних металів або сплавів, зокрема з алюмінію чи нержавіючої сталі, а поршні – зі спеціально загартованої сталі. У професійних моделях перспективним є використання поршнів із металокераміки та термостійких композиційних полімерних матеріалів [2–4].

Аналізуючи роботу мийок високого тиску, потенційні покупці часто цікавляться їхнім моторесурсом. Важливо розуміти, що такі агрегати мають обмежений термін експлуатації: поршневі блоки швидко зношуються, а двигуни можуть перегріватися. Побутові моделі мийок високого тиску зазвичай розраховані на 30–60 годин роботи.

Мета даної роботи полягала в обґрунтуванні вибору та підвищенні зносостійкості пари тертя поршень – циліндр насоса автомийки високого тиску за рахунок застосування поршнів, виготовлених з термостійких композиційних матеріалів на основі ароматичного полііміду ПМ-69.

Області використання ароматичного полііміду ПМ-69 визначають, перш за все, комплекс їх фізико-механічних властивостей [5; 6].

Завдяки своїм в'язкопружним та міцнісним характеристикам ці матеріали є незамінними для виготовлення ущільнень, що працюють під високим тиском та зазнають ударних

навантажень. Деталі з ароматичного полііміду ПМ-69 здатні витримувати навантаження, наближені до допустимих для кольорових металів і сплавів, при цьому їх зносостійкість перевищує показники металів. Це стало підставою для рекомендації використання їх в якості поршнів насосів автомийок високого тиску.

За комплексом фізико-механічних показників ароматичний поліамід Фенілон-С2 і ароматичний поліімід ПМ-69 переважають більшість промислових пластмас. Фенілон С-2 через наявність в макромолекулах полімеру амідних зв'язків здатний сорбувати вологу з повітря і поглинати воду при знаходженні у воді та водних розчинах. Швидкість сорбції значно зростає при підвищенні температури (коефіцієнт дифузії змінюється від 10^{-11} за 20°C до 10^{-8} за 100°C), однак рівноважна кількість води, що поглинається не залежить від температури і складає для Фенілону С-2 9–10 мас. %. Поглинання води Фенілоном С-2 супроводжується збільшенням розмірів виробів, однак приріст їх об'єму завжди менший від об'єму води, що поглинається.

Значно менше водопоглинання має ароматичний поліімід ПМ-69 – 0,2–0,3 мас. % і в цьому його суттєва перевага перед ароматичним поліамідом Фенілон С-2.

Підвищення зносостійкості композиційних полімерних матеріалів на основі ароматичного полііміду ПМ-69 здійснено в результаті модифікації їх порошками графітів та політетрафторетилену.

Випробування на зносостійкість проведені на установці ХТІ-72 [5]. Антифрикційні дослідження виконувались за схемою контакту – «сфера–площина». Режим змінних граничних питомих навантажень при постійному нормальному навантаженні, зразки висотою $(10\pm 0,1)$ мм і діаметром $(10\pm 0,1)$ мм з кінцевою сферою радіусу 6,35 міліметра контактували сферою по площині металевого контртіла діаметром $(60\pm 0,15)$ мм і висотою $(10\pm 0,15)$ мм. Металева контртіла було виготовлено із сталі 10Х17Н13М3Т та оброблено до початкового середнього арифметичного відхилення профілю поверхні $Ra = 0,2\pm 0,03$ мкм.

Встановлено, що ароматичний поліамід Фенілон С-2 і ароматичний поліімід ПМ-69 доцільно модифікувати графітом, вуглецевими волокнами, нітридом бору, фторопластом-4 і іншими наповнювачами [5; 6]. Так, виявлено, що ароматичний поліамід Фенілон С-2, модифікований графітом С-1 значно краще, ніж не модифікований, витримує дію високих температур.

При нагріванні у цього матеріалу в меншій мірі знижується міцність і особливо жорсткість. Модуль пружності не модифікованого матеріалу за 260°C складає тільки 40% від значення за 23°C , в той час як модифікованого – більше 70%. При введенні наповнювача спостерігається підвищення модуля пружності за кімнатної температури наближено на 20%. Але при підвищенні температури цей ефект значно підсилюється: за 260°C модуль пружності модифікованого матеріалу виявляється вищим, ніж не модифікованого, вже на 120%.

Однак, міцність при стискуванні композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду Фенілон С-2 при їх наповненні графітом С-1 або фторопластом-4 в кількості, що перевищує 30 мас. % суттєво зменшується. Тому для того, щоб зберегти достатньо високу твердість і міцність матеріалу, а також найбільшу зносостійкість пропонується вводити до складу композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду Фенілон С-2 і ароматичного полііміду ПМ-69 20–30 мас. % наповнювача [5; 6].

За результатами експериментів розраховували чинник зношування (інтенсивність об'ємного зношування) для шляху тертя ΔS_i км:

$$I_i = \frac{\Delta V_i}{N_i \cdot \Delta S_i}; \quad (1)$$

де ΔV_i – зміна об'єму i -зразка на проміжку шляху тертя від 0 до 1 км (нелінійна залежність зношування від шляху тертя) і на проміжку шляху тертя від 1 до 5 км (лінійна залежність зношування від шляху тертя).

Нормальне навантаження на один зразок складало $N_i = 100$ Н, швидкість ковзання $V = 0,3$ м/с, температура, заміряна на відстані 0,5–1 мм від поверхні контртіла, $T = (313 \pm 2)$ К при випробуванні в середовищі дистильованої води. Дослідження здійснювали на шляху тертя Si. На рисунку представлені результати дослідження другого етапу для шляху тертя $S_2 = 5$ км.

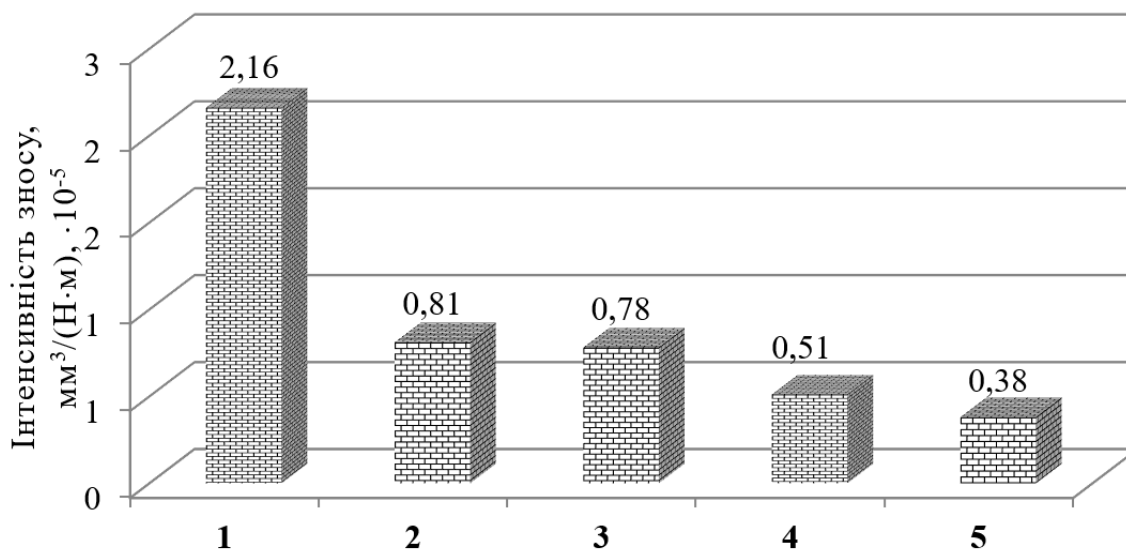


Рисунок. Гістограма інтенсивності зносу ароматичного полііміду ПМ-69 та композиційних матеріалів на його основі: 1 – ароматичний поліімід ПМ-69; 2 – ароматичний поліімід ПМ-69 (80 мас. %) + вуглецеве волокно з тканини ТГН-2М (20 мас. %); 3 – ароматичний поліімід ПМ-69 (80 мас. %) + політетрафторетилен (20 мас. %); 4 – ароматичний поліімід ПМ-69 (80 мас. %) + графіт С-1 (20 мас. %); 5 – ароматичний поліімід ПМ-69 (80 мас. %) + політетрафторетилен (40 мас. %)

Встановлено, що з композиційних матеріалів на основі ароматичного полііміду ПМ-69 високу зносостійкість мають композити, наповнені 20 мас. % графіту або фторопласту-4. Найкращим за зносостійкістю з досліджених матеріалів є матеріал на основі ароматичного полііміду ПМ-69 (60 мас. %) та фторопласту-4 (40 мас. %).

Таким чином, для виготовлення поршнів або вкладишів циліндрів аксіального насосу автомийки високого тиску доцільно застосування композиційних матеріалів на основі ароматичного полііміду ПМ-69, модифікованих графітом С-1 або політетрафторетиленом.

1. Аксіальний поршневий насос – конструкція. URL: <https://studfile.net/preview/3104329/page:3>. (дата звернення: 10.03.2025).

2. Гетьманчук Ю. П., Братичак М. М. Хімія та технологія полімерів. Львів : Бескид Біт, 2006. 496 с.

3. Yong-Ji Song, Shuang-He Meng, Fu-Dong Wang, Cai-Xia Sun, Zhi-Cheng Tan. Thermochemical study on the properties of polyimide BPADA-m-PDA. *Thermochimica Acta*. 2002. Vol. 389. № 1–2. P. 19–24.

4. Буря О. І. Полімерні композити: одержання, властивості, застосування. Дніпропетровськ : Федорченко А. А., 2010. 383 с.

5. Сіренко Г. О. Створення антифрикційних композитних матеріалів на основі порошків термостійких полімерів та вуглецевих волокон : дис. ... д-ра техн. наук / Ін-т матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАНУ. Київ, 1997. 431 с.

6. Синтез, властивості і застосування полімерів та композитів на їх основі / за ред. Бурі О. І. Вибрані праці. Дніпропетровськ : Пороги, 2005. 308 с.

УДК 621.867.4.6

DEFINITION OF THE LAW OF MOTION OF A STEPPER MOTOR FOR DRIVING AN INERTIAL CONVEYOR

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНУ РУХУ КРОКОВОГО ДВИГУНА ДЛЯ ПРИВОДУ ІНЕРЦІЙНОГО КОНВЕЄРА

Серілко Дмитро, Сиротинський Олександр, Хондока Назарій

*Національний університет водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

Переміщення вантажів інерційними конвеєрами відбувається під дією сили інерції. При цьому розрізняють два типи таких конвеєрів: з постійним і змінним тиском вантажу на дно жолоба конвеєра. У конвеєрах з постійним тиском вантажу на дно жолоба конвеєра, жолоб опирається на опорні котки і здійснює прямолінійний зворотно-поступальний рух в горизонтальній площині. При цьому швидкість і прискорення жолоба змінюється в залежності від прямого (в напрямку транспортування), чи зворотного ходу жолоба. Спочатку швидкість жолоба плавно збільшується і потім швидко зменшується до нуля. Прискорення жолоба також плавно збільшується, після цього зменшується і змінює свій напрямок і надалі знову збільшується. Вантаж при цьому утримується на поверхні жолоба за рахунок сили тертя і рухається разом із жолобом. При зміні величини швидкості жолоба вантаж по інерції ковзає по його поверхні вперед допоки не зупиниться. Жолоб за цей час закінчує рух вперед і починає рухатися у зворотному напрямку. Режим руху жолоба обирають з умови мінімального переміщення вантажа при зворотному русі жолоба. Амплітуда коливань жолоба інерційного конвеєра приймається рівною 0,05–0,15 м., частота коливань 0,75–1,25 Гц. Середня швидкість руху вантажа при цьому досягає 0,2 м.

Для забезпечення необхідного закону руху жолоба інерційного конвеєра його оснащують двокривошипним механізмом, що приводить до ускладнення конструкції, а також збільшення маси і динамічних навантажень на елементи конструкції конвеєра. Крім того, ця конструкція дозволяє здійснювати рух жолоба конвеєра тільки з певною амплітудою, величина якої залежить як від радіуса кривошипа так і інших геометричних параметрів привода.

Для забезпечення зміни амплітуди коливань жолоба інерційного конвеєра, без зміни параметрів привода, авторами запропоновано конструкція привода, рушієм якого є кроковий двигун. Припустимо, що на осі крокового двигуна закріплений кривошип 1, який може обертатися по певному закону і приводити, з допомогою шатуна 2 повзун 3. Який зв'язаний із жолобом інерційного конвеєра (рис. 1).

Визначимо залежність переміщення повзуна від кута повороту кривошипа, якщо довжина кривошипа $OA = r$, а довжина шатуна $AB = l$.

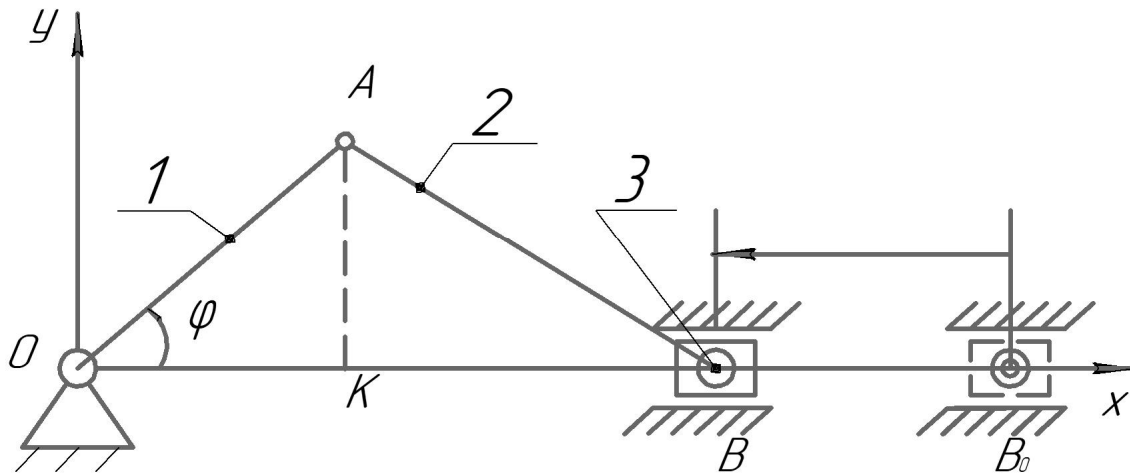


Рис. 1. Схема приводу інерційного конвеєра

З рис.1 будемо мати:

$$OK = OA \cos \varphi = r \cos \varphi; AK = r \sin \varphi \quad (1)$$

$$KB = \sqrt{AB^2 - AK^2} = \sqrt{l^2 - (r \sin \varphi)^2} \quad (2)$$

Тоді

$$OB = r \cos \varphi + \sqrt{l^2 - (r \sin \varphi)^2} \quad (3)$$

Оскільки $OB_0 = r + l$, то

$$BB_0 = \xi = r + l - r \cos \varphi - \sqrt{l^2 - (r \cos \varphi)^2} \quad (4)$$

З рівняння 4 отримаємо:

$$\cos\varphi = \frac{(r+l-\xi)^2-l^2+r^2}{2r(r+l-\xi)} \quad (5)$$

або

$$\varphi = \arccos \frac{(r+l-\xi)^2 - l^2 + r^2}{2r(r+l-\xi)}. \quad (6)$$

Знаючи необхідний закон руху жолоба інерційного конвеєра можна отримати залежність кута повороту крокового двигуна від часу t або безрозмірного часу $\tau = \omega t$.

Припустимо, що рух жолоба інерційного конвеєра відбувається за гармонічним законом

$$\xi = A \sin \omega t, \quad (7)$$

де A – амплітуда коливань жолоба;

ω – частота коливань жолоба інерційного конвеєра.

На рис. 2 наведені залежності кута повороту вала крокового двигуна від безрозмірного часу τ .

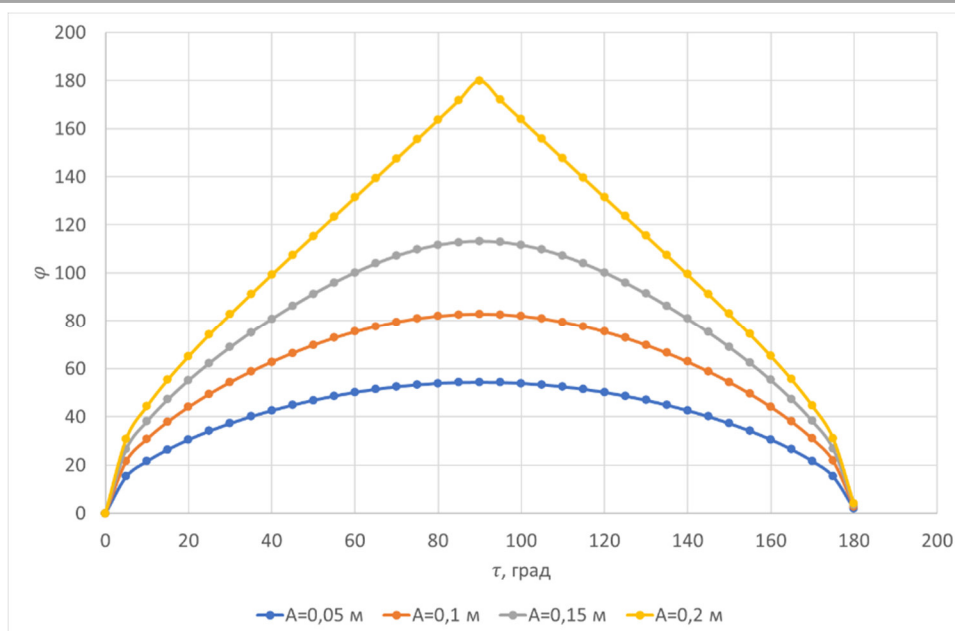


Рис. 2. Залежності кута повороту валу крокового двигуна від безрозмірного часу τ та амплітуди коливань ($r=0,1$ м, $l=0,4$ м, $\omega=10$ рад/с)

Керування роботою крокового двигуна забезпечується програмою Arduino IDE. Змінюючи параметри скетчу (коду, який керує роботою мікроконтролера) можна досягнути необхідної частоти і амплітуди коливань жолоба інерційного конвесра.

Запропонована конструкція може бути використана також для приводу інших механізмів, ланки яких здійснюють поступальний рух по заданому закону.

УДК 626.6.9

MACHINE FOR HYDRAULIC TESTING OF PRESSURE PIPES MWT-10

МАШИНА ДЛЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ВИПРОБУВАННЯ НАПІРНИХ ТРУБОПРОВОДІВ MBT-10

Сиротинський Олександр, Онищук Володимир, Баранецький Володимир

*Національний університет водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

Проведення гідравлічних випробувань напірних трубопроводів – один із важливих і відповідальних етапів прийомки в експлуатацію збудованих чи реконструйованих трубопроводів водо-, тепло- і газопостачання.

Гідравлічні випробування – це перевірка трубопроводів на міцність та щільність за допомогою подачі води під підвищеним тиском, що допомагає виявити невідповідності труб і їх елементів стандартам якості. Для визначення якості труб методом гідравлічного випробування штучно створюються екстремальні умови експлуатації з метою максимально точного визначення надійності трубопроводу [1–3].

Для гідравлічного випробування магістральних трубопроводів застосовуються спеціальні машини: наповнюючі та опресовуючі агрегати. Наповнюючі агрегати служать для швидкого закачування води в ділянку трубопроводу, яка випробовується, опресовуючі – для підйому тиску в заповненому водою трубопроводі до величини, що забезпечує випробування на міцність. Існують також наповнюючо-опресувальні агрегати, які проводять обидві операції. Принципова конструктивна схема наповнюючих і опресовуючих агрегатів однакова. Основними їх вузлами є двигун внутрішнього згорання і насос, які разом з іншим додатковим обладнанням монтуються на загальній рамі. Загальна рама, в свою чергу, встановлюється і закріплюється на причіпному візку, тракторі або шасі автомобіля. Істотним недоліком агрегатів, є їх низька мобільність. На великі віддалі такі агрегати можна перевозити тільки на трейлерах або залізничних платформах. Застосування автомобільної бази наповнюючих і опресовувальних агрегатів, підвищуючи мобільність, одночасно погіршує їх техніко-експлуатаційні та економічні показники.

При розміщенні агрегатів на берегах водоймищ необхідно додатково виконати значний об'єм земляних робіт для підготовки під'їздів площадок, щоб автомобіль міг близько підійти до води. Тому базою автомобілів рекомендується застосовувати жорстку раму на санному ходу або причіпний візок на пневмоході, обладнану дишлом з поворотним механізмом передніх коліс і гальмами стояночними і ходовими.

Двигун, насос і все додаткове обладнання монтуються на додатковій рамі, встановленій на візку, завдяки чому при необхідності можна зняти раму та обладнання з візка і перевозити її в кузові автомобіля чи трактора, а також залізничною дорогою на платформах [4].

На кафедрі будівельних, дорожніх та меліоративних машин ННМІ НУВГП на базі машини для промивки дренажних трубопроводів МПД-10 була розроблена конструкція машини для гідравлічного випробування напірних трубопроводів MBT-10, оснащена обладнанням, яке дозволяє подавати пристрій для випробування напірних трубопроводів безпосередньо до напірного трубопроводу не залежно від глибини його залягання без застосування ручної праці [5].

Машина (рис. 1) складається з: валу відбору потужності 1; дишла 2; опори 3; контрприводу 4; насоса 5; гальмівної системи 6; гідравлічної заслінки 7; вакуум-компресора 8; вакуумної системи 9; цистерни 14; робочого обладнання 15, яке орієнтують за допомогою

гідроциліндру 13; кришки люка 10, що керується гідроциліндром 11 закріпленим у кронштейні 12; барабану 16, на який намотується напірний шланг.

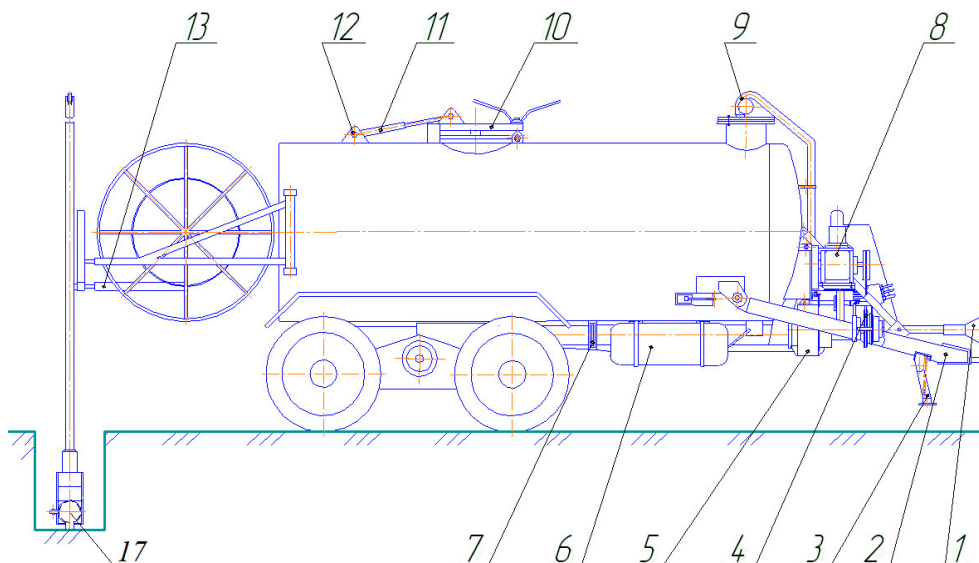


Рис. 1, а. Машина для гідравлічного випробування напірних трубопроводів МВТ-10 (вид з боку):
1 – вал відбору потужності; 2 – дішло; 3 – опора; 4 – контрпривід; 5 – напірний насос;
6 – гальмівна система; 7 – гідравлічна засувка; 8 – вакуум-компресор; 9 – вакуумна система;
10 – кришка люка; 11 – гідроциліндр кришки люка; 12 – кронштейн гідроциліндра кришки люка;
13 – гідроциліндр механізму орієнтування робочого обладнання 17 – насадка із змінним периметром (робочий орган)

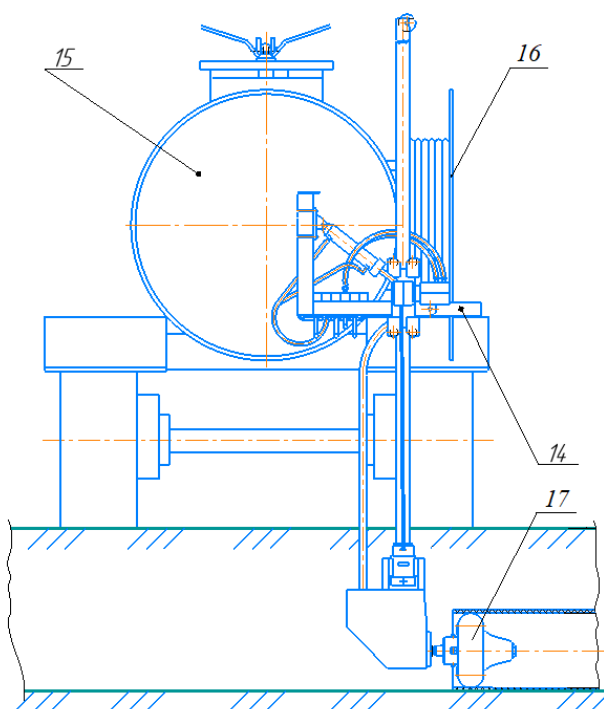


Рис. 1, б. Машина для гідравлічного випробування напірних трубопроводів МВТ-10 (вид ззаду):
14 – робоче обладнання; 15 – цистерна; 16 – барабан; 17 – насадка із змінним периметром (робочий орган)

Робоче обладнання машини (рис. 2) складається з: насадки зі змінним периметром, в залежності від діаметру магістрального трубопроводу 1; гідромотору механізму подачі напірного шлангу 2; тросу механізму підйому-опускання штанги 3; шарніру повороту штанги 4;

гідромотору механізму підйому-опускання штанги 5; масляних трубопроводів 6; колеса 7; штанги 8; направляючих роликів 9; гідроциліндру механізму повороту штанги 10; гідророзподільника 11; важелів керування гідророзподільником 12; рами 13; гідроциліндру запірного механізму 15, що кріпиться до кронштейнів 14, 16; роликів 17, напірного шлангу 18.

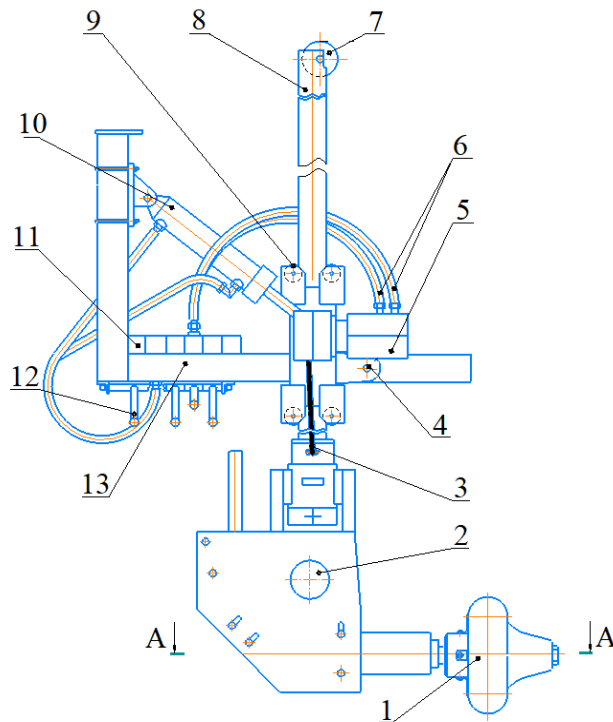


Рис. 2, а. Робоче обладнання машини для гідравлічного випробування напірних трубопроводів МВТ-10: 1 – насадка із змінним периметром; 2 – гідромотор подачі шлангу; 3 – трос механізму підйому-опускання штанги; 4 – шарнір повороту штанги; 5 – гідромотор механізму підйому-опускання штанги; 6 – масляні трубопроводи; 7 – колесо; 8 – штанга; 9 – направляючий ролик; 10 – гідроциліндр механізму повороту штанги; 11 – гідророзподільник; 12 – важіль керування гідророзподільником; 13 – рама

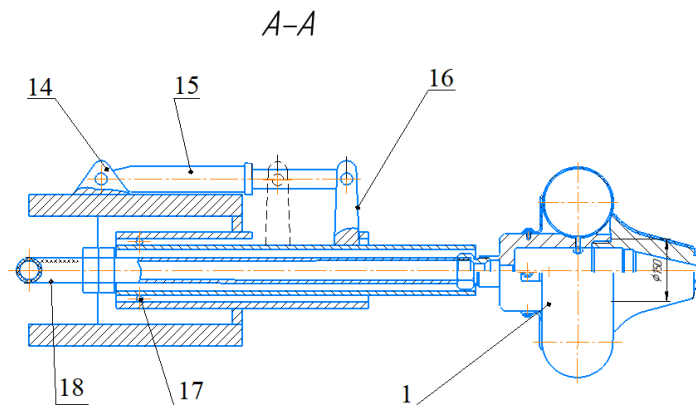


Рис. 2, б. Робоче обладнання машини для гідравлічного випробування напірних трубопроводів МВТ-10 (переріз А-А): 1 – насадка з змінним периметром; 2 – гідромотор подачі шлангу; 3 – трос механізму підйому-опускання штанги; 4 – шарнір повороту штанги; 5 – гідромотор механізму підйому-опускання штанги; 6 – масляні трубопроводи; 7 – колесо; 8 – штанга; 9 – направляючий ролик; 10 – гідроциліндр механізму повороту штанги; 11 – гідророзподільник; 12 – важіль керування гідророзподільником; 13 – рама; 14, 16 – кронштейни кріплення гідроциліндру; 15 – гідроциліндр запірного механізму; 17 – гумове ущільнення; 18 – гумовий конус; 19 – ролик; 20 – напірний шланг

Описане обладнання працює наступним чином: при перпендикулярному розміщенні осі руху машини до осі траншеї один із операторів вручну переводить барабан 16 в робоче положення (рис. 1, б). Після цього за допомогою гідророзподільника 11, керуючи гідроциліндрами механізму повороту штанги 10 (рис. 2, а) механізму орієнтації робочого обладнання 13 (рис. 1, а) штанга переводиться у вертикальне положення. Далі за допомогою гідромотора механізму підйому-опускання штанги 5 (рис. 2, а) штанга опускається на необхідну глибину. За допомогою гідроциліндру запірнього механізму 15 (рис. 2, б) насадка 1 з змінним периметром (рис. 2, а) направляється у трубопровід, що випробовується. Коли всі ці операції виконано вмикають нагнітальний насос та проводять гідравлічні випробування напірних трубопроводів.

Технологія основних робіт при проведенні гідравлічного випробування напірних трубопроводів полягає в наступному:

- наповнення водою трубопроводу в поєднанні з його промивкою;
- видалення залишків повітря з ділянки трубопроводу, який випробовується, через повітряні крани;
- установка пробного тиску, рівного робочому, і витримка протягом часу, необхідного для огляду трубопроводу, але не менше 10 хв;
- підйом тиску до випробувального;
- витримка під випробувальним тиском не менше 15 хвилин;
- перевірка на герметичність;
- скидання тиску до 1–2 кгс/см² і підготовка до видалення води;
- видалення води з трубопроводу;
- осушення трубопроводу;
- відновлення нитки трубопроводу [6–7].

1. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 172 с.

2. ДСТУ-Н Б В.2.5-68:2012. Настанова з будівництва, монтажу та контролю якості трубопроводів зовнішніх мереж водопостачання та каналізації. 2012. 68 с.

3. Ткачук О. А. Міські інженерні мережі : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2015. 412 с.

4. Тороп В. М. Проведення гідравлічних випробувань трубопроводів теплових мереж з метою досягнення заданої надійності їх експлуатації. *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*. 2022. № 3. С. 35–41. URL : http://nbuv.gov.ua/UJRN/TDNK_2022_3_7. (дата звернення: 10.03.2025).

5. Машина для гідравлічного випробування напірних трубопроводів: пат. на корисну модель України № 78912. Заявл. 10.04.13; опубл. 10.04.13. Бюл. № 7 / Сиротинський О. А., Форсюк С. Л., Заєць В. В., Гуменюк С. В., Сиротинська А. П., Дейнега О. В.

6. ДСТУ-Н Б А.3.1-27:2014. Настанова щодо виготовлення, монтажу та випробування технологічних трубопроводів, що працюють під тиском до 10 МПа.

7. Визначення впливу підвищеного тиску на властивості металу трубопроводів теплових мереж під час проведення гідравлічних випробувань з наданням рекомендацій щодо величини рівнів пробного тиску у залежності від умов експлуатації. Технічний звіт. Київ, ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ, 2018.

УДК 656.1

IMPACT OF CUSTOMS PROCEDURES ON THE EFFICIENCY OF INTERNATIONAL FREIGHT TRANSPORTATION

ВПЛИВ МИТНИХ ПРОЦЕДУР НА ЕФЕКТИВНІСТЬ МІЖНАРОДНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Бережняк Іванна, Сліпенький Євгеній, Дорошук Вікторія

*Національний університет водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

In today's globalised world, transport efficiency determines the competitiveness of countries and businesses. Customs procedures are an integral part of international logistics. They have a direct affect the speed, cost and reliability of cargo delivery.

У сучасних умовах глобалізації міжнародна торгівля відіграє ключову роль у розвитку національних економік. Ефективність міжнародних вантажних перевезень значною мірою залежить від митного регулювання. Митні процедури мають подвійне значення: з одного боку – це інструмент контролю та безпеки, з іншого – важливий елемент логістичного ланцюга, що впливає на час і вартість перевезень. Метою цієї наукової роботи є дослідження впливу митних процедур на ефективність міжнародних вантажних перевезень та визначення напрямів їх удосконалення.

Митні процедури охоплюють комплекс дій, пов'язаних із декларуванням, оформленням, контролем та пропуском товарів через митний кордон. Основні функції митних процедур – фіскальна (стягнення податків і зборів), контрольна (перевірка законності переміщення товарів), статистична (збір даних про товарообіг) та сервісна (забезпечення логістичних процесів) [3].

Ефективне проходження митних процедур є необхідною умовою для своєчасного та економічно доцільного переміщення товарів. Затримки на митниці призводять до збільшення витрат, зриву контрактів, втрати клієнтів, а в довгостроковій перспективі – до зниження конкурентоспроможності національних експортерів (рисунок).

Митне оформлення – одна з критичних точок у логістичному ланцюзі міжнародних вантажоперевезень. Час, витрачений на митні формальності, безпосередньо впливає на загальну тривалість доставки вантажу. Також, вартість митного супроводу, оплата зборів та можливі штрафи формують значну частину логістичних витрат.

Недосконалість або непрозорість процедур часто спричиняє додаткові витрати, пов'язані з простоем транспорту, необхідністю залучення митних брокерів, дублюванням документів тощо. Крім того, складність митних процедур знижує інвестиційну привабливість країни та створює умови для корупційних зловживань.

На сьогодні в Україні митне регулювання зазнає постійних змін у рамках адаптації до норм Європейського Союзу. Проте залишається ряд проблем, що негативно впливають на ефективність перевезень:

- недостатній рівень автоматизації митного оформлення;
- часті технічні збої в роботі електронної митниці;
- складність та тривалість процедур перевірки;
- дублювання функцій митних та суміжних контролюючих органів;
- брак кваліфікованих кадрів.

Ці фактори знижують швидкість проходження митних формальностей, створюють бюрократичні бар'єри для бізнесу та перешкоджають інтеграції України в європейський логістичний простір.

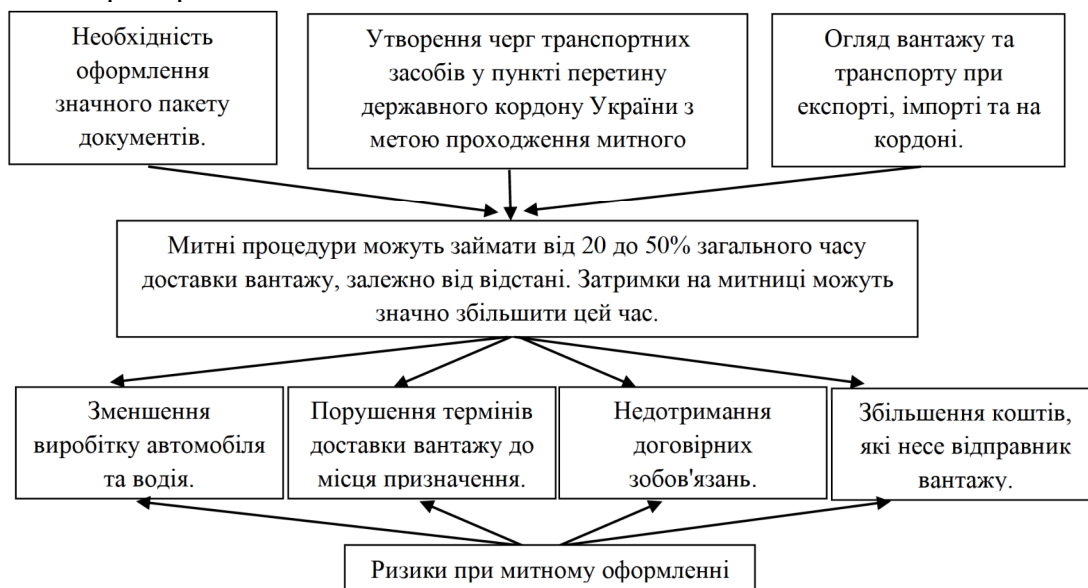


Рисунок. Графічна інтерпретація моделі взаємозв'язків проблемних факторів, що детермінують процес митного оформлення

Підвищення ефективності митного регулювання потребує комплексного підходу:

- впровадження єдиної електронної платформи обміну інформацією між усіма учасниками процесу;
- використання системи попереднього декларування та ризик-орієнтованого контролю;
- спрощення процедур для доброчесних учасників зовнішньоекономічної діяльності;
- розширення практики застосування програм авторизованого економічного оператора (АЕО);
- підвищення прозорості та зниження впливу людського чинника.

Також варто розглядати міжнародні ініціативи, такі як «єдине вікно», інтеграція в електронні транскордонні платформи, розвиток цифрових логістичних коридорів.

Успішний приклад митної реформи демонструє Грузія, де було суттєво спрощено процедури, автоматизовано обробку декларацій та зменшено контакт із митниками. В результаті, середній час митного оформлення скоротився в кілька разів

Європейський Союз активно впроваджує єдину митну політику через системи NCTS, eCustoms, що дозволяє забезпечити прозорий обмін інформацією, швидке прийняття рішень та високу ефективність перевезень [2].

Митні процедури є невід'ємною частиною системи міжнародних вантажоперевезень і мають безпосередній вплив на їх ефективність. Своєчасне та якісне митне оформлення сприяє зниженню логістичних витрат, підвищенню конкурентоспроможності, а також поліпшенню інвестиційного клімату. Для України актуальним є подальше реформування митного регулювання з акцентом на цифровізацію, прозорість та міжнародну інтеграцію.

Перспективним є впровадження комплексного підходу до вдосконалення митних процедур, що дозволить забезпечити стабільність, передбачуваність і ефективність міжнародних перевезень, зміцнюючи позиції країни на глобальному ринку.

1. Світова митна організація (WCO) : офіційний сайт. URL: <https://www.wcoomd.org/>. (дата звернення: 10.03.2025).

2. International Road Transport Union (IRU). CMR Convention Guidelines.

3. Державна митна служба України. Аналітичні матеріали та статистика. URL: <https://customs.gov.ua/>. (дата звернення: 10.03.2025).

УДК 629.4.083:629.463

RELIABILITY ASSURANCE IN MANUFACTURING PROCESSES OF WAGONS REPAIR

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ РЕМОНТУ ВАГОНІВ

Волошин Дмитро, Волошина Людмила

*Український державний університет залізничного транспорту
майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050*

Надійність основних виробничих процесів при ремонті вагонів прямо залежить від функціонування допоміжного виробництва. При цьому важлива роль належить ремонтному господарству, основною метою якого є підтримання в працездатному стані технологічного обладнання [1].

Складні економічні умови на протязі останніх років привели до зниження експлуатаційної надійності виробничих систем. Застарілість технологічної бази, деградаційні процеси внаслідок відсутності достатніх оборотних коштів та інвестицій на підтримання виробничих систем значно знижують стійкість підприємств з ремонту вагонів у часі. Тому актуальною науково-технічною задачею є вибір оптимальної стратегії технічної експлуатації ремонтного обладнання та механізмів управління та організації процесами їх ремонту.

Система планово-попереджувальних ремонтів обладнання (ППР), яка застосовується на більшості промислових підприємств базується на наступних принципах:

- вік обладнання прямо впливає на імовірність його відмови;
- статистичні дані по відмовам обладнання є основою для розробки норм періодичності проведення профілактичних та ремонтних робіт;
- планування системи базується на превентивному впливі на технологічне обладнання.

При цьому системі притаманні значні недоліки: застарілі нормативи обслуговування, велика трудомісткість ремонтних та профілактичних робіт, значна кількість ремонтного персоналу, відсутність гарантії безвідмовної роботи технологічного обладнання та ін. Неможливість забезпечення відсутності відмов обладнання в межах традиційної системи ППР привели до появи різних підходів та методів організації ремонту обладнання (таблиця).

Враховуючи загальносвітові тенденції до модернізації промислових виробничих систем, можна зазначити наступне:

- традиційна система ППР не задовольняє складним умовам функціонування виробничих систем і потребує суттєвого перегляду;
- в якості альтернативи можливе комплексне застосування систем ППР та ремонту за фактичним станом;
- для найбільш критичного за впливом на надійність виробничих процесів обладнання використовується ППР, для допоміжного – система ремонту за фактичним станом;
- підходи RCM та RBM дають можливість побудови системи оцінювання ризиків відмов виробничих процесів, що значно підвищить їх надійність та стійкість у часі;
- використання механізмів АВНKB (аналіз видів, наслідків та критичності відмов) дає можливість прогнозування різних сценаріїв поведінки виробничої системи з метою запобігання аварійних ситуацій;
- впровадження системи TPM (Total Productive Maintenance) забезпечить базове удосконалення системи ремонту обладнання з метою зменшення матеріальних втрат [2].

Таблиця

Аналіз найбільш відомих сучасних підходів до організації ремонту технологічного обладнання

Найменування методу	Особливості застосування	Очікувані результати
Ремонт за технічним станом	- на виникнення відмов обладнання впливають дефекти, а не терміни експлуатації; - більшість дефектів мають свої діагностичні параметри; - контроль і прогноз зміни параметрів дозволяє прогнозувати можливі технічні несправності; - для кожного контрольованого параметра можливо розрахувати критичну дату виникнення відмови.	- збільшення міжремонтного ресурсу; - скорочення обсягу ремонтних робіт; - загальне зниження витрат на обслуговування системи.
Обслуговування за надійністю (RCM)	- забезпечення надійності виробничої системи в цілому, а не окремих одиниць обладнання; - диференціація обладнання в залежності від критичності його впливу на виробничу систему; - можливість аналізу та прогнозування можливих ризиків у виробничій системі; - розробка різних концепцій обслуговування обладнання по отриманим групам.	- оптимізація витрат в залежності від рівня значення обладнання; - забезпечення надійності критичних видів обладнання; - загальне зниження витрат на обслуговування системи.
Планування на основі оцінювання ризиків (RBM)	- визначення імовірності відмови обладнання; - оцінювання наслідків відмов і розрахунок величини ризиків; - розрахунок сукупного ризику у часі; - аналіз пропорційності ризиків та витрат на їх усунення.	- мінімізація витрат на систему ремонту обладнання.

Для запобігання аварійним ситуаціям, які можуть спричинити зупинку основного виробництва та порушення термінів випуску продукції належної якості, доцільно провести модернізацію системи ремонтного господарства з одночасним впровадженням сучасних методів моніторингу процесів ремонту технологічного обладнання.

Суть запропонованого підходу полягає у комплексному використанні логіко-імовірнісних моделей аналізу, зокрема:

- дерева відмов (для діагностики потенційних причин виникнення аварійних ситуацій);
- дерева подій (для оцінки можливих наслідків та їх впливу на надійність системи).

Дерево відмов – це графічна модель, яка системно відображає причинно-наслідкові зв'язки між відмовами окремих компонентів виробничої системи та їх впливом на виникнення критичних подій (рис. 1). Ключова перевага методу полягає у його логічній структурі, яка дозволяє:

- послідовно виявляти всі можливі комбінації відмов елементів системи;
- встановлювати чіткі залежності між відмовами та їх наслідками;
- формалізувати аналіз надійності за допомогою булевої алгебри.

Дерево наслідків є аналітичним інструментом прогнозування, що моделює можливі сценарії розвитку подій після ініціюючої відмови (рис. 2). Його ключові функції:

- наочна візуалізація ланцюгів подій (включаючи аварійні та штатні реакції системи);

- кількісна та якісна оцінка ризиків для кожного сценарію;
- обґрунтування превентивних заходів на основі «слабких ланок» системи.

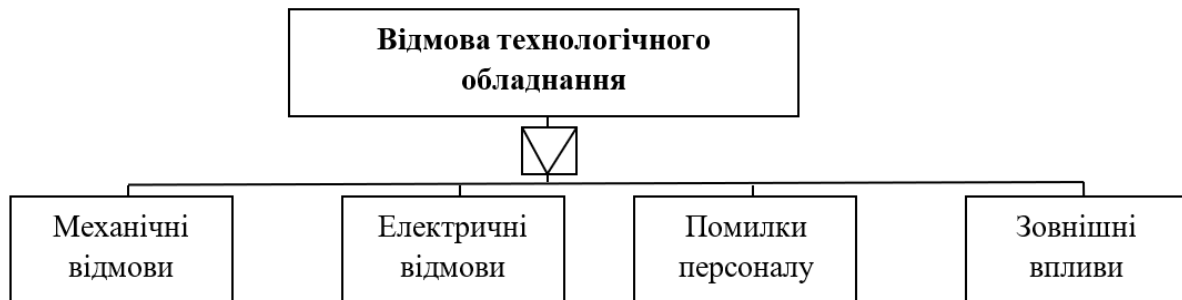


Рис. 1. Приклад фрагменту дерева відмов технологічного обладнання



Рис. 2. Приклад фрагменту дерева наслідків відмови технологічного обладнання

Поєднання методів аналізу надійності складних систем формує комплексну оцінку надійності, яка дозволяє діагностувати стан виробничої системи як на рівні окремих елементів, так і каскадних ефектів [3]. Кожен з методів сприяє вирішенню окремих аспектів забезпечення надійності, від виявлення первинних причин відмов обладнання до прогнозування операційних наслідків.

1. Волошин Д. І., Волошина Л. В. Логістичне управління технологічним обладнанням в умовах вагоноремонтних підприємств. *V Міжнародна науково-практична морська конференція кафедри СЕУ і ТЕ Одеського національного морського університету. МРР&О-2024* (Одеса, 5 березня 2024 р.). Одеса : ОНМУ, 2024. URL: <https://2024.depas.od.ua/>; <https://drive.google.com/file/d/1zzhJSRV4tGX-BOq15CvYzZgKdW9Oo0D/view>. (дата звернення: 10.03.2025).

2. Волошин Д. І. Застосування принципів виробничої логістики для удосконалення системи ремонту обладнання в умовах ВРП. *Проблеми розвитку транспорту і логістики* : зб. наук. праць VII-ї міжнародної науково-практичної конференції Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 28 квітня 2017. С. 67–69.

3. ДСТУ ISO/IEC 31010:2013, IDT. Керуванням ризиком. Методи загального оцінювання ризиків. [Чинний від 2014-07-01]. Київ : Мінекономрозвитку України, 2015. 73 с.

УДК 656.13

FORMATION OF A SYSTEM FOR ASSESSING THE LEVEL OF QUALITY OF PASSENGER SERVICE IN CITIES

ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПАСАЖИРСЬКОГО СЕРВІСУ У МІСТАХ

Давідіч Юрій¹, Куш Євген¹, Понтапльов Іван¹, Пашкевич Світлана²

¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Чорноглазівська, 17, м. Харків, 61002

²Національний університет водного господарства та природокористування
вул. Соборна 11, м. Рівне, 33028

Формування економічних відносин між транспортними підприємствами та мешканцями міст при перевезенні пасажирів вимагає урахування балансу інтересів перевізників, пасажирів та муніципальної влади. Пасажирські перевезення суттєвим чином впливають на виробничу, екологічну та соціальну сфери життєзабезпечення міст, що впливає на конкуренцію перевізників. Для функціонування та розвитку міст важливе значення має розробка системи управління якістю пасажирського сервісу у містах при урахуванні транспортних витрат [1].

Впровадження системи управління якістю пасажирського сервісу повинно базуватися єдиній методології. З соціальної точки зору особливе значення при оцінці якості мають задоволення потреб пасажирів. Це вимагає створення методики для оцінки якості відповідно до вимог стандартів [2]. При формуванні цієї методики одним з основних завдань є визначення показників оцінки якості.

Існуючі підходи до оцінки якості використовують у як критерії параметри пересування пасажирів. Основними параметрами пересувань є витрати часу на пересування, рівень його комфорту та безпеки. Ці параметри визначають труднощі сполучення та формують показники зручності для пасажирів.

Однак, для оцінки якості пасажирського сервісу доцільно враховувати показники, які використовуються для планування транспортного процесу – техніко-експлуатаційні показники. Це дозволить планувати рівень якості пасажирського сервісу на етапі проектування транспортного процесу. При цьому, підвищення рівня якості відповідно до вимог муніципальної влади може вимагати додаткових витрат. Це теж доцільно враховувати під час формування системи управління якістю пасажирського сервісу у містах. Для цього виникає необхідність у формалізації інтегрованого показника рівня якості з урахуванням вагомості кожного задіяного техніко-експлуатаційного показника. Рівень вагомості техніко-експлуатаційних показників, як показників рівня якості пасажирського сервісу, можна визначити на підставі результатів обстежень співробітників транспортних підприємств, які займаються організацією транспортного процесу. Задіяння цих фахівців дозволить врахувати їх думки як фахівців з одного боку, так і пасажирів з іншого.

Таким чином, формування системи управління якістю пасажирського сервісу у містах потребує додаткових досліджень у напрямку оцінки вагомості техніко-експлуатаційних показників, як показників якості.

1. Kush Y., Davidich Y., Galkin A., Tkachenko I., Davidich N. Improving of urban public transportation quality via operator schedule optimization. *Journal of Urban and Environmental Engineering*. 2019. V. 13. № 1. P. 23–33.

2. Davidich Yu., Faletska H., Galkin A., Melenchuck T., Davidich N. Rationale of complex indicator of quality of public transport. *Romanian Journal of Transport Infrastructure*. 2018. T. 7. №. 1. P. 18–33.

УДК 656.13

SWOT ANALYSIS OF URBAN DELIVERY LOGISTICS IN THE CITY OF RIVNE

SWOT-АНАЛІЗ МІСЬКОЇ ЛОГІСТИКИ ДОСТАВКИ В МІСТІ РІВНЕ

Никончук Вікторія, Бровчук Максим

*Національний університет водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

Міська логістика доставки є важливим компонентом розвитку урбаністичних територій. Вона охоплює всі аспекти переміщення товарів у межах міста, включаючи доставку товарів до кінцевих споживачів, та оптимізацію маршрутів для зменшення витрат і екологічного впливу. Враховуючи постійно зростаючу потребу у швидких та ефективних послугах доставки, логістика останньої милі стає особливо важливою для забезпечення високої якості обслуговування в урбанізованих зонах.

Метою дослідження є проведення SWOT-аналізу логістики доставки в місті Рівне та виявлення основних чинників, що впливають на подальший розвиток.

У науковій літературі відсутнє єдине загальне визначення поняття «міський вантажний транспорт» (Urban Freight Transport), оскільки воно охоплює широкий спектр діяльності, яка пов'язана з переміщенням вантажів у межах міського середовища. Термін «міська логістика» зазвичай використовують для позначення всіх політичних ініціатив, стратегій та дій приватного сектору, спрямованих на зменшення негативного впливу вантажного транспорту на міське середовище [1].

Відповідно до визначення Європейської комісії в дослідженні «Дослідження міського вантажного транспорту» (European Commission, 2009), міським вантажним транспортом є «пересування вантажних транспортних засобів, основною метою яких є перевезення вантажів у міські райони, за їх межами та в межах міста». Це визначення чітко відокремлює міський вантажний транспорт від пасажирського транспорту, що не має відношення до перевезення товарів (наприклад, поїздки за покупками чи особисті поїздки мікроавтобусами) [1; 2]. Під час функціонування міського вантажного транспорту важливо враховувати його вплив на міське середовище та особливості, пов'язані з інфраструктурою і міським плануванням.

Місто Рівне, як адміністративний центр з високою щільністю забудови та значною економічною активністю, є чудовим прикладом для дослідження організації міської логістики. Центр міста, з його численними торговими точками, адміністративними будівлями та історичними пам'ятками, вимагає особливого підходу до транспортування товарів, що створює унікальні виклики для роздрібних підприємств та сфери послуг.

Міська логістика в Рівному, зокрема у центральних районах міста, має кілька специфічних аспектів, які визначають організацію вантажних перевезень. Зокрема, у центрі міста через високу щільність забудови та наявність туристичних та культурних об'єктів, є значні проблеми з рухом транспорту. Вузькі вулиці та високий трафік можуть ускладнювати процес доставки вантажів, що веде до заторів та підвищеного рівня забруднення повітря. З урахуванням цих складнощів, багато вулиць у центральній частині Рівного мають статус історичної спадщини, що накладає обмеження на використання певних видів транспорту. Це створює необхідність у застосуванні спеціальних вантажних транспортних засобів, здатних забезпечити доставку товарів в зони з обмеженим доступом. Крім того, зростаючі потреби роздрібною торгівлі, підприємств громадського харчування та офісних будівель у регулярних поставках товарів, таких як продукти харчування, напої, побутова хімія та обладнання, додають навантаження на міську транспортну систему, що ще більше ускладнює ситуацію.

Нижче наведено схему основних логістичних маршрутів доставки в місті Рівне, з урахуванням розташування ключових логістичних центрів та відділень служб доставки (рис. 1).



Рис. 1. Ключові логістичні центри

Карта логістичних маршрутів доставки в Рівному охоплює основні логістичні хаби та ключові точки видачі, а також визначені напрями руху кур'єрського транспорту.

В місті діють великі логістичні центри, зокрема Нова Пошта № 1 на вулиці Князя Володимира, яка обслуговує великогабаритні вантажі, і є центральним вузлом доставки. У мікрорайоні Північний функціонує Нова Пошта № 9 на вулиці Євгена Коновальця, що спеціалізується на відправленнях до 30 кг. Сервіс Rozetka має дві важливі точки: на вулиці Богоявленській, зручно розташовану для мешканців Північного району, та на проспекті Миру, яка охоплює центральну частину міста.

Основні маршрути доставки включають три напрямки. Перший маршрут з'єднує вантажний хаб Нової Пошти № 1 з Північним районом через вулицю Київську до вулиці Євгена Коновальця. Другий маршрут пролягає з центру міста до Південного району: від Rozetka на проспекті Миру через вулицю Соборну та Чорновола до Нової Пошти № 20. Третій маршрут веде з Північного району до центру, з точки Rozetka на Богоявленській через вулиці Млинівську та до центральної точки Rozetka на проспекті Миру. Така структура маршрутів забезпечує ефективну доставку у ключові житлові зони міста.

Після детального вивчення основних аспектів міської логістики доставки в місті Рівне та її значення для урбаністичних територій, можна зосередитися на більш глибокому аналізі існуючих проблем і можливостей, які впливають на розвиток цього сектору.

Для цього проведемо SWOT-аналіз, який дозволить оцінити сильні та слабкі сторони, а також виявити можливості та загрози, що супроводжують розвиток міської логістики доставки в Рівному. У результаті аналізу ми зможемо більш точно визначити ключові фактори, що потребують уваги та подальших дій для удосконалення цього процесу (рис. 2, 3).

Сильні сторони (Strengths)	Слабкі сторони (Weaknesses)
Географічне положення. Рівне розташоване на перехресті транспортних коридорів Західної України, що сприяє формуванню регіонального логістичного вузла. Розвинена мережа логістичних компаній. У місті функціонують національні та міжнародні оператори: Нова Пошта, Укрпошта, Meest Express, Rozetka доставка, Glovo. Цифрова доступність послуг. Використання мобільних застосунків, автоматизованих поштоматів, систем трекінгу.	Недостатня розгалуженість муніципальної інфраструктури. Вузькі дороги в центрі міста (вул. Соборна, вул. Чорновола) створюють перешкоди для ефективного руху доставних засобів. Відсутність інтеграції з міським транспортом. Кур'єрська доставка здійснюється ізольовано, що знижує ефективність «останньої милі». Обмеженість паркових зон для логістичного транспорту. Кур'єри змушені зупинятися у невідведених місцях.

Рис. 2. Сильні та слабкі сторони міської логістики у м. Рівне

Можливості (Opportunities)	Загрози (Threats)
Розвиток екологічної доставки. Застосування електровелосипедів, самокатів, малогабаритного електротранспорту для доставки у центральних районах. Формування локальних логістичних хабів. Зокрема у зоні об'їзної дороги (район вул. Захисників Маріуполя–Князя Володимира). Цифровізація міського управління трафіком. Запровадження систем Smart City для регулювання логістичних потоків	Транспортне перевантаження. Регулярні затори на вулицях Дубенська, Київська, Степана Бандери обмежують швидкість доставки. Зростання вартості доставки. Зумовлено підвищенням цін на паливо та сервісне обслуговування транспорту. Конкуренція з боку міжнародних сервісів. Глобальні платформи можуть витіснити локальних гравців

Рис. 3. Можливості та загрози для міської логістики у м. Рівне

Таким чином, Рівне має переваги завдяки стратегічному географічному положенню, розвиненій мережі логістичних компаній та цифровій доступності послуг. Однак місто стикається з проблемами, такими як вузькі дороги, відсутність інтеграції з міським транспортом та обмеженість паркових зон для логістичного транспорту. Перспективними напрямками розвитку є створення логістичних мікрохабів, впровадження екологічних способів доставки та цифровізація управління міським простором. Надалі доцільно розширити дослідження в напрямі оцінювання сталості міської логістики, зокрема впливу доставки на викиди CO₂ та якість міського життя. Врахування цих факторів дозволить створити умови для сталого розвитку міської логістики в Рівному.

1. European Commission. Directorate-General for Mobility and Transport. *Study on Urban Freight Transport*. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2012. 102 с.
2. European Commission. Action Plan and Directive / Mobility and Transport. 2021. URL: https://ec.europa.eu/transport/themes/its/road/action_plan_en (дата звернення: 17.04.2025).
3. Багнюк А., Кіба В., Никончук В. Транспортно-логістична діяльність та її вплив на розвиток бізнес-середовища. *Universum*. 2024. Вип. 9. С. 371–376. URL: <https://archive.liga.science/index.php/universum/article/view/1127> (дата звернення: 02.05.2025).

УДК 656.2: 711.4

ADAPTIVE DEVELOPMENT OF THE TRANSPORT SYSTEM IN URBAN AGGLOMERATIONS

АДАПТИВНИЙ РОЗВИТОК ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ В МІСЬКИХ АГЛОМЕРАЦІЯХ

Никончук Вікторія, Піліпака Людмила

*Національний університет водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

Формування адаптивної транспортної системи є ключовим елементом сталого урбаністичного розвитку, оскільки вона забезпечує ефективне управління транспортними потоками, знижує навантаження на екологію і сприяє підвищенню якості життя міських мешканців. Адаптивні транспортні системи визначаються своєю здатністю гнучко реагувати на зміни в міській мобільності, такі як коливання попиту на перевезення, нові технології транспорту, зміни в демографії та екологічні виклики. Оскільки міські агломерації стикаються з численними проблемами, такими як зростання транспортного навантаження, забруднення навколишнього середовища, високий рівень шуму та трафік, важливо створювати ефективні стратегії для розвитку сталих транспортних систем.

Основою для адаптивності транспортної системи є принципи інтегрованого планування, що поєднують елементи просторового планування, розвитку інфраструктури, соціальних і екологічних аспектів. Врахування цих принципів дозволяє сформувати транспортні системи, здатні до оптимізації в реальному часі та адаптації до змін у попиті на перевезення, технологічних інноваціях та зовнішніх факторах, таких як зміни клімату чи нові економічні умови.

Одним із важливих аспектів адаптивних транспортних систем є розвиток сталої мобільності, що включає у себе низьковуглецеві, екологічно чисті способи пересування – громадський транспорт, велосипедний і пішохідний рух. Стале управління транспортними потоками дозволяє знижувати кількість приватних автомобілів, що безпосередньо впливає на зменшення рівня забруднення, зниження трафіку та поліпшення якості повітря в містах [1].

У контексті України, міста, активно впроваджують концепції сталого транспорту і кліматичної нейтральності, що відповідає міжнародним тенденціям адаптації міських агломерацій до нових викликів урбанізації. Ось чому важливо детально аналізувати транспортно-логістичні стратегії міст, спрямовані на поліпшення екологічної ситуації, зниження витрат на енергію і зменшення викидів шкідливих газів.

Формування адаптивної транспортної системи в міських агломераціях потребує поєднання просторового планування, екологічних технологій, розвитку сталої мобільності та активного залучення громадськості. У цьому контексті місто Рівне демонструє приклад, де навіть за умов обмеженого бюджету та зношеної інфраструктури закладаються підвалини для кліматичної нейтральності через цілісну політику мобільності, оновлення транспорту та інвестиції в якість міського середовища. Проблеми, пов'язані з екологічним навантаженням, можуть бути розв'язані завдяки підтримці ініціатив щодо розширення «зелених» зон, покращення пішохідної інфраструктури та популяризації альтернативних видів транспорту.

Зростання урбанізаційного навантаження та екологічних викликів змушує міста шукати шляхи трансформації своїх транспортно-логістичних систем у напрямку адаптивності, екологічності та стійкості. На прикладі Рівного, яке реалізує концепцію NetZero, розглядається формування адаптивної транспортної системи, що орієнтується на сталий розвиток і зменшення вуглецевого сліду. Це включає не лише технічну модернізацію транспорту, але й комплексну перебудову простору, пріоритет людині в мобільності, цифровізацію управління

потоками та зменшення викидів шкідливих речовин. Важливим елементом цього процесу є інтеграція концепцій сталого розвитку, таких як «зелені» транспортні технології, що відповідають стандартам низьковуглецевих економік.

Аналіз транспортної ситуації в Рівному вказує на складну багатофакторну проблему. Кількість приватних автовок у місті збільшилася на третину, що пов'язано з низькою якістю громадського транспорту, слабкою доступністю маршрутів і зростаючою потребою в мобільності, зокрема, в умовах воєнного стану. Вживані автомобілі з-за кордону стали доступнішими, а відсутність відчуття безпеки спонукає мешканців до володіння власним транспортом як засобом евакуації. Як результат, зростає навантаження на вулично-дорожню мережу, особливо на центральну магістраль — вулицю Соборну. Важливо зазначити, що приватний транспорт продукує у 5–6 разів більше викидів вуглекислого газу, ніж громадський, навіть за меншої кількості поїздок. Тому пріоритет у розвитку транспортної системи має бути відданий альтернативним методам пересування, таким як громадський транспорт, пішохідні маршрути і велосипедна інфраструктура.

Щоб змінити ситуацію, необхідно активно розвивати сталу міську мобільність. Наприклад, у Рівному лише 9% щоденних переміщень здійснюється пішки, що є значно нижчим порівняно з іншими містами України. У Житомирі цей показник становить 38%, а в Ужгороді — 24%. Для збільшення частки пересувань пішки і на велосипеді в Рівному вже розроблено план розвитку велосипедної інфраструктури. Зокрема, у мікрорайонах Північний та Ювілейний визначено напрямки для будівництва велодоріжок, які мають з'єднати існуючі маршрути в єдину мережу. Важливим кроком є також створення громадських просторів, що стимулюють пішоходів і велосипедистів до використання екологічних способів пересування.

Крім того, важливим є оновлення громадського транспорту. Тролейбусний парк у Рівному налічує 71 одиницю рухомого складу, середній вік яких становить 25,9 років, що значно перевищує нормативний вік для такого транспорту — 10 років. Оновлення рухомого складу з пріоритетом на електричні тролейбуси з автономним ходом дозволить зменшити викиди вуглекислого газу та знизити витрати на пальне, що також сприятиме покращенню комфорту для пасажирів. Важливою складовою є інтеграція електричних автобусів, що забезпечать безпечне і екологічне перевезення по місту, особливо в умовах зростання чисельності населення [2].

Ще одним важливим кроком є перепланування міського простору з урахуванням принципів транзитно-орієнтованого розвитку (TOD). Вулично-дорожня мережа Рівного має одну з найнижчих щільностей в Європі — 2,2 км/км², що значно поступається містам, таким як Зальцбург (8,5 км/км²) або Орхус (6,2 км/км²). Це спричиняє концентрацію транспортних потоків на кількох вулицях, що веде до заторів і підвищеного рівня забруднення. Важливо впроваджувати принципи TOD, формуючи поліцентричну структуру міста, де житлові, робочі та розважальні зони розташовані в межах пішохідної доступності, що зменшить потребу в великій кількості приватних автомобілів.

Не менш важливим є використання інноваційних технологій для управління транспортними потоками. В Рівному рекомендовано розширити систему збору інформації про пересування транспорту, інтенсивність потоків і рівень забруднення за допомогою камер, сенсорів та супутникових даних. Це дозволить створити ефективну транспортну модель, яка адаптуватиме мережу до потреб мешканців. Інтелектуальні транспортні системи (ITS) дозволять зменшити затори, оптимізувати маршрути та підвищити ефективність перевезень.

У центрі сталої міської мобільності знаходиться людина. Зміна транспортної системи міста орієнтується на потреби мешканців, і тому важливо залучати місцевих жителів до розробки рішень [3]. Створення відкритих міських платформ допомагає залучити містян до впровадження новітніх технологій у транспортні системи. Прикладом є проєкт «Відкрите місто», який дозволяє мешканцям повідомляти про проблеми міста, зокрема безпеку дорожнього руху, благоустрій та інші питання [4]. Однак для розвитку сталої мобільності важливо створити міську інформаційно-інноваційну платформу, яка охоплюватиме не тільки

такі питання, але й навчальні кампанії з дорожнього руху, пропаганду екологічно відповідальної поведінки та тестування рішень у сфері міської мобільності. Модель такої платформи в м. Рівне повинна сприяти розвитку адаптивних транспортних стратегій і технологій для сталого розвитку міського транспорту (рисунок).

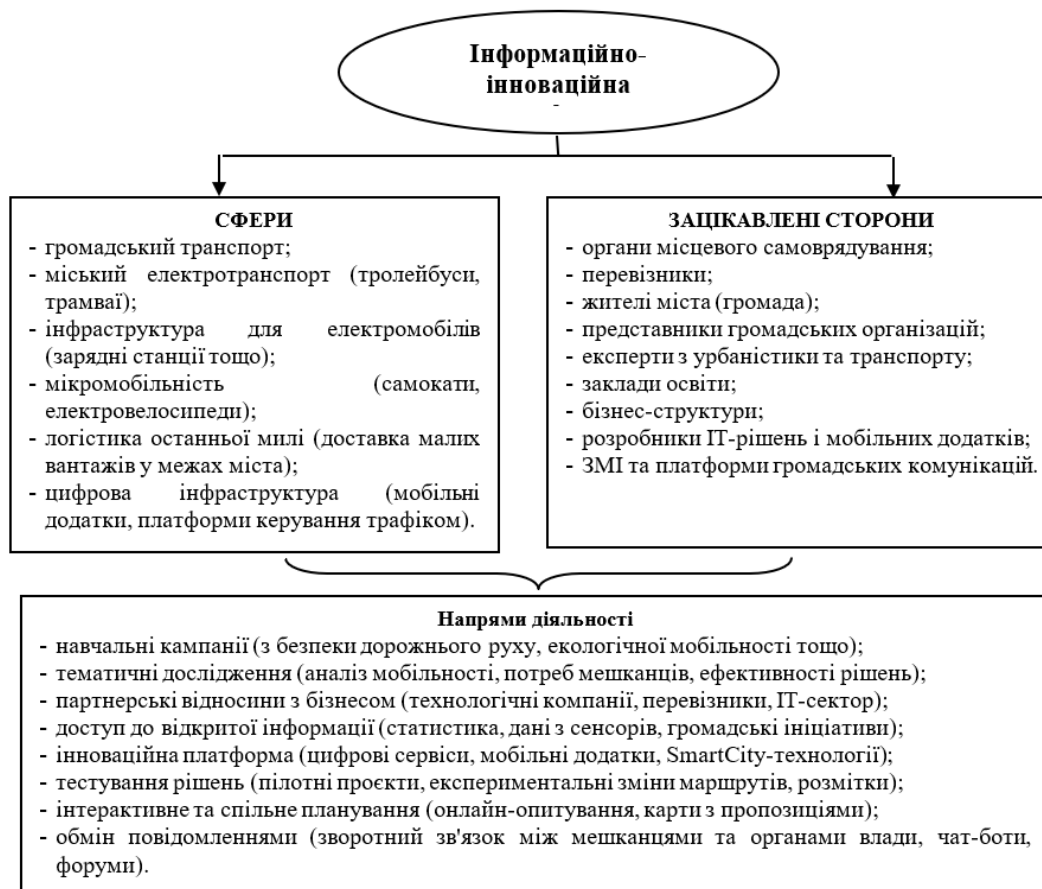


Рисунок. Платформа взаємодії учасників транспортної системи для сталого розвитку міської мобільності

Таким чином, адаптивна транспортно-логістична система в умовах міських агломерацій повинна базуватись на багатокомпонентній основі: модернізація громадського транспорту, розвиток сталої мобільності, інтеграція просторового планування, цифровізація управління та залучення громади. Рівне, попри обмежені ресурси та застарілу інфраструктуру, має всі підстави стати прикладом міста, що впевнено рухається до кліматичної нейтральності. Стратегічні рішення, підтримані аналітичними даними, співпраця з донорами і науковою спільнотою здатні перетворити локальні транспортні виклики на інструменти сталого урбаністичного розвитку.

1. Кристопчук М. Є. Аналіз індикаторів сталого розвитку міської пасажирської транспортної системи. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Кропивницький, 2021. № 4(35). С. 208–221. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2021.4\(35\).208-221](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2021.4(35).208-221).

2. Никончук В. М., Хітров І. О., Пашкевич С. М., Кристопчук М. Є. Теорія та практика розвитку транспортної системи та об'єктів транспортної інфраструктури : монографія. Луцьк : Вежа-Друк, 2024. 172 с.

3. Стратегія розвитку Рівного на період до 2040 року. Офіційний сайт інвестиційного порталу міста Рівного. URL: <https://invest.rivne.ua/storage/web/source/1/1qW5AFOEdx0fdCRFWGH2bewRuFvlyK8x.pdf> (дата звернення: 01.05.2025).

4. Як це працює? URL: <https://opencity.e-dem.ua/about> (дата звернення: 01.05.2025).

УДК 656.13

ON THE ISSUE OF ASSESSING THE QUALITY OF SERVICE IN URBAN ROUTINE PASSENGER TRANSPORT

ДО ПИТАННЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ НА МІСЬКОМУ МАРШРУТНОМУ ПАСАЖИРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ

Понкратов Денис

*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
м. Харків, вул. Чорноглазівська, 17*

In order to provide an objective assessment of the quality of public transport service, a well-known methodology for modeling passenger fatigue during travel was adapted to solve this problem. Taking into account changes in the functional state of passengers after a trip to work and the impact of fatigue on reducing their working productivity, a rating system for assessing the levels of public transport service quality was developed.

Головне завдання маршрутного пасажирського транспорту – повне та своєчасне задоволення потреб пасажирів у пересуваннях, з високим рівнем якості транспортного обслуговування та мінімальними експлуатаційними витратами. Незадовільний рівень транспортного обслуговування негативно сприймається користувачами громадського транспорту та впливає на різні сфери життєдіяльності міського населення.

Якість обслуговування визначається різноманітними факторами, до яких відносять такі: зручність посадки та висадки; чистота у салоні транспортного засобу; рівень заповнення; наявність системи кондиціонування повітря; зручність системи оплати проїзду; наявність систем інформаційного забезпечення пасажирів; регулярність руху тощо. Слід зазначити, що якість обслуговування є одним з найважливіших чинників, що впливає на формування транспортної поведінки користувачів транспортної системи.

Незважаючи на комплексність категорії комфорту, одним з найважливіших її показників є рівень заповнення салону транспортного засобу. Найкомфортніші умови поїздки забезпечуються у тому випадку, коли пасажир має можливість здійснювати поїздку сидячи. Прийнятні умови забезпечуються, коли транспортний засіб не є переповненим, а поїздка не займає багато часу. Надмірний рівень заповнення є однією з основних причин відчуття дискомфорту пасажирами під час користування послугами громадського транспорту.

Під час проведення оцінки якості обслуговування громадським транспортом переважно використовується суб'єктивний підхід (оцінка з позиції пасажирів). Його застосування потребує проведення опитувань пасажирів, під час яких респондентів просять висловити своє ставлення до певних параметрів пересування. Застосування суб'єктивного підходу дає змогу на підставі обробки даних опитувань встановити пріоритетність окремих показників якості транспортного обслуговування за їхньою значущістю. Натомість, з позиції забезпечення точності та надійності результатів оцінки більш доцільним є застосування об'єктивного підходу.

Об'єктивний підхід до оцінки якості обслуговування пасажирів громадським транспортом має бути заснований на вивченні сприйняття дискомфорту пасажирів на підставі застосування психологічних та фізіологічних методів. Відповідно, незадовільні умови пересування спричиняють зміну функціонального стану організму пасажирів, що може бути встановлено із застосуванням різних психофізіологічних методів. Одним з наслідків незадовільної якості транспортного обслуговування пасажирів є розвиток транспортної

стомлюваності. Під час здійснення трудових пересувань транспортна стомлюваність позначається на продуктивності праці, особливо на початковому етапі трудового процесу.

Практичне застосування об'єктивного підходу потребує встановлення та формалізації причинно-наслідкових зв'язків між параметрами, що характеризують умови пересування та сприйняттям дискомфорту пасажирів.

Для застосування об'єктивного підходу до оцінки якості обслуговування громадським транспортом було адаптовано відому методикою [1, 2] моделювання транспортної стомлюваності пасажирів. Зазначена методика передбачає послідовне визначення показника функціонального стану організму пасажирів, який змінюється залежно від параметрів пересування на його окремих складниках, таких як рух пішки, очікування на зупинці, поїздка у транспортному засобі тощо.

На основі характеристик функціонального стану пасажирів після пересування та впливу транспортної стомлюваності на зниження продуктивності праці пасажирів було запропоновано градацію рівнів якості обслуговування громадським транспортом (табл. 1).

Таблиця

Градація рівнів транспортного обслуговування пасажирів

Оцінка рівнів якості транспортного обслуговування	Якісна характеристика рівня обслуговування	Значення показника функціонального стану пасажирів (показник активності регуляторних систем організму людини), бали	Характеристика функціонального стану пасажирів	Зниження продуктивності праці пасажирів, %
Відмінно	Бажаний	до 3 балів	Нормальний стан або стан задовільної адаптації	0 %
Добре	Допустимий	від 3 до 4 балів	Стан функціональної напруги	від 0 до 0,474 %
Задовільно	Гранично допустимий	від 4 до 5 балів		від 0,475 до 2,109 %
Незадовільно	Недопустимий	більш ніж 5 балів	Стан перенапруження або стан незадовільної адаптації	більш ніж 2,110 %

Апробація запропонованого підходу показала, що оцінка якості обслуговування громадським транспортом на основі моделювання транспортної стомлюваності забезпечує прийнятні результати та може бути застосована для вирішення практичних завдань.

1. Доля В. К. Пасажирські перевезення : підручник. Харків : Форт, 2010. 504 с.
2. Доля В. К. Методи організації перевезень пасажирів у містах. Харків : Основа, 1992. 144 с.

УДК 656.073

FEATURES OF MODERN TECHNOLOGIES FOR CARGO WORK AT TRANSPORT NODES

ОСОБЛИВОСТІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИКОНАННЯ ВАНТАЖНИХ РОБІТ У ТРАНСПОРТНИХ ВУЗЛАХ

Швець Микола

*Національний університет водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

Оптимізаційні заходи з перевантаження вантажів у транспортних вузлах є важливим завданням сучасної логістики. Транспортні вузли є основою для забезпечення ефективного переміщення вантажів між різними видами транспорту. Глобалізація та розвитком міжнародної торгівлі призводить до зростання обсягів вантажоперевезень та створює значний тиск на інфраструктуру транспортних вузлів, що вимагає постійної розробки та впровадження інноваційних технологій. Як правило, застарілі методи управління процесом виконання навантажувально-розвантажувальних робіт призводять до зниження їх продуктивності, зростання витрат, затримок і збільшення ризиків вчасної доставки вантажів до споживача.

Суть даної проблеми полягає в необхідності вдосконалення або розробки нових моделей і алгоритмів, які дозволяють інтегрувати сучасні технології, такі як штучний інтелект, інтернет речей (IoT), робототехніка та автоматизовані системи, для підвищення ефективності роботи навантажувально-розвантажувальних засобів в транспортних вузлах.

Використання сучасних транспортних технологій у транспортних вузлах залишається одним з основних напрямків наукових досліджень, що направлені на підвищення ефективності логістичних операцій. Зокрема, в дослідженні О. М. Мельник основна увага акцентується на технологічних умовах перевезення негабаритних вантажів, зокрема вказується на значимість автоматизації для зростання точності та зменшення ризиків [1]. У роботі розкрито питання необхідності інтеграції інноваційних рішень для розв'язку специфічних транспортних логістичних задач.

Аналіз механізації навантажувально-розвантажувальних робіт, проведений М. Швецем, демонструє значне скорочення часу операцій завдяки впровадженню автоматизації [2]. Результати роботи підкреслюють важливість вдосконалення технологічного обладнання для забезпечення швидкості виконання логістичних процесів.

Робота Р. Ісковича-Лотоцького присвячена дослідженню використання робототехнічних систем у мобільних видах транспорту. Автор акцентує увагу на їх внеску в підвищення безпечних умов експлуатації та зниження фізичного навантаження [3], розкриваючи при цьому переваги робототехніки в складних умовах експлуатації.

Проблему використання інформаційних технологій та проведення моделювання для синхронізації перевантажувальних операцій у контейнерних терміналах детально розглянуто в дослідженні О. Кічкіної [4]. Використання таких методів сприяє забезпеченню точності й узгодженості між різними видами транспортних засобів.

Впровадження алгоритмів для автоматизації робіт на вантажних станціях, розроблені Г. Вангом, дозволяють значно скоротити загальні витрати та час виконання вантажних робіт. Дане рішення сприяє стабільності логістичних процесів в транспортних вузлах [5].

Питання перспективності автоматизації контейнерних терміналів, що проведене Дж. Моніосом, демонструє підвищення ефективності перевантажувальних операцій [6].

Дані дослідження демонструють значний вплив сучасних транспортних технологій на оптимізацію навантажувально-розвантажувальних робіт у транспортних вузлах.

Впровадження інтеграції штучного інтелекту, IoT, робототехніки та автоматизованих систем надає можливість підвищити ефективність, стабільність й точність логістичних процесів в транспортних вузлах. Також зроблено акцент на необхідності проведення адаптації цих рішень до локальних умов для максимального результату.

Але незважаючи на значні досягнення у впровадженні сучасних технологічних розробок у транспортних вузлах, ще існують нерозв'язаними питання стосовно інтеграції інновацій у транспортні процеси виконання операцій з вантажами. Зокрема, недостатньо досліджено проведення комплексного порівняння традиційних та сучасних підходів до специфіки роботи різних видів транспорту (залізничного, морського, автомобільного, авіаційного).

Традиційні підходи до виконання вантажних операцій, що базуються на механічних процесах і значно залежать від ручної праці, сьогодні не можуть повною мірою відповідати сучасним вимогам. Водночас використання інноваційних технологій дає можливість інтегрувати автоматизовані системи, що мінімізує дані недоліки. Впровадження автоматизації та цифрових технологій відкриває можливості для точнішого прогнозування, оптимізації ресурсів і підвищення безпеки перевантажувальних процесів. Порівняння характеристик традиційних і сучасних підходів наведено в таблиці.

Таблиця

Порівняння традиційних та сучасних підходів до перевантаження вантажів у транспортних вузлах

Критерії	Традиційні методи	Сучасні методи
Обладнання та пристрої	Механічні крани, навантажувачі різних типів, обладнання малої механізації	Роботизовані крани та конвеєри, автоматизовані транспортні системи, використання дронів для контролю
Технологічні рішення	Відсутність автоматизації, мінімальне використання програмного забезпечення	Використання штучного інтелекту, інтернету речей (IoT), цифрових двійників, систем прогнозування навантаження
Вплив людського фактору	Багато фізичної праці, недостатня кваліфікація персоналу, висока ймовірність помилок через втому	Мінімізація впливу людського фактору, автоматизація рутинних завдань, підвищення якості робіт завдяки впровадженню сучасних інформаційних систем
Ефективність роботи	Низька, технологічні процеси повільні, значний час простою техніки та персоналу	Висока, обробка вантажів відбувається швидше, зменшення часу простою, зростання пропускної здатності вузлів
Економічні аспекти	Високі витрати на оплату фізичної праці та обмежена можливість її зменшення	Зменшення витрат через впровадження автоматизації, можливість прогнозування та оптимізації витрат у реальному часі
Екологічні аспекти	Застаріла техніка із високим рівнем викидів CO ₂ , недостатньо екологічних ініціатив	Енергоефективні технології, використання електрифікованого транспорту, зменшення негативного впливу на екологію
Моніторинг технологічних процесів	Візуальний контроль операторів, ризик допуску критичних помилок	Інтеграція IoT для відстеження руху вантажів у реальному часі, аналітика великих баз даних для виявлення проблем
Безпека	Велика кількість нещасних випадків через ручну роботу та недостатній контроль техніки	Підвищена безпека завдяки впровадженню автоматизованих систем, що знижують рівень ризику для працівників
Гнучкість та адаптація	Низька гнучкість та адаптація при зростанні обсягів вантажної роботи або зміни умов роботи	Висока гнучкість, швидка адаптація до зростання обсягів вантажопотоків завдяки впровадженню програмованих алгоритмів та масштабованих систем

Проведений аналіз дозволяє встановити, що сучасні методи та технології досить суттєво впливають на технологічний процес виконання вантажних робіт та організацію взаємодії різних видів транспорту в транспортних вузлах. Це сприяє підвищенню

продуктивності та ефективності роботи транспортних вузлів, швидкості та надійності логістичних процесів. Інтеграція елементів штучного інтелекту, інтернету речей (IoT), робототехніки та автоматизованих вантажних систем дозволяє зробити оптимізацію використання наявних ресурсів, забезпечувати узгодженість між транспортними системами різних видів транспорту знижувати при цьому витрати та мінімізувати людський фактор.

1. Мельник О. М. Технологічні аспекти перевезення негабаритних вантажів. Транспортно-технологічне забезпечення процесів доставки та обробки негабаритних вантажів. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Сер. Технічні науки*. 2020. Т. 2, № 2. С. 168–174.
2. Швець М. Д., Кірічок О. Г., Познаховський В. А. Механізація та організація виробничого процесу при виконанні навантажувально-розвантажувальних робіт. *Наукові нотатки*. 2018. Вип. 62. С. 226–229.
3. Сучасні технології у вантажно-розвантажувальних роботах на мобільному автомобільному транспорті / Р. Д. Іскович-Лотоцький та ін. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. № 4 (99). С. 59–66.
4. Кічкіна О. І., Кічкін О. В. Управління процесами взаємодії видів транспорту у контейнерному терміналі на підставі імітаційного моделювання та інформаційних технологій. *Наукові вісті Дніпровського університету*. 2022. № 23.
5. Improved multi-dimensional bee colony algorithm for airport freight station scheduling / H. Wang et al. arXiv preprint. arXiv:2207.11651. 2022.
6. Electric vehicle routing problem with single or multiple recharges / T. Erdelić et al. *Transportation Research Procedia*. 2019. Vol. 40. P. 217–224.

UDK 656

MODELING THE INTERACTION OF DIFFERENT TYPES OF TRANSPORT AT MULTIMODAL HUBS

МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ РІЗНИХ ВИДІВ ТРАНСПОРТУ НА МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ВУЗЛАХ

Khitrov Ihor

*National University of Water and Environmental Engineering
33028, Rivne, 11, vul. Soborna*

Multimodal hubs are transportation interchange points where two or more types of transport (e.g., metro, tram, bus, railway, bike-sharing) are integrated. They are designed so that passengers can transfer between different modes of transport with minimal time and physical effort, ensuring continuity of the journey. Key components of such hubs include coordinated timetables, optimized pedestrian routes between platforms, user-friendly navigation systems, and a unified ticketing system — all of which enhance transportation efficiency and passenger comfort [1].

The interaction of different types of transport at multimodal hubs is manifested in the following aspects:

- timetable coordination, achieved by synchronizing arrival and departure times of various transport modes (metro, commuter trains, buses, trams) to minimize passengers' waiting times during transfers;
- spatial planning, which involves arranging platforms and stops in the most convenient sequence and connecting them with pedestrian corridors, escalators, and elevators to minimize distance and transfer time;
- a unified payment system, which allows passengers to use a single ticket or electronic pass across all transport modes, eliminating the need for additional operations and queues during transfers;
- information integration, in the form of shared digital displays and mobile apps that provide real-time updates on all transport modes, notify users of delays, and suggest optimal transfer routes;
- passenger flow management, involving the analysis of flows from different directions and redirection through space zoning, temporary barriers, and dynamic door regulation to prevent crowding;
- logistical coordination at freight multimodal terminals, including the transshipment of cargo between rail platforms, truck depots, and storage facilities using cranes and conveyor systems.

Modeling the interaction of different transport types at multimodal hubs includes the following steps [1–3]:

1. Formalizing the hub structure:
 - Creating a digital scheme of the platform/terminal, considering the layout of stops, passageways, entrances/exits, and pedestrian corridors;
 - Identifying the transport infrastructure (tracks, traffic lanes, parking spaces, bicycle parking).
2. Collecting and processing transport flow data:
 - Gathering information on the intensity and schedules of each transport mode (intervals, delays, capacity);
 - Analyzing passenger flow characteristics (arrival times, transfer volumes, demand spikes).
3. Choosing a modeling methodology:
 - Discrete-event simulation to track events over time;
 - Agent-based modeling to simulate passenger behavior and interaction with the environment;

- Network analysis to assess the capacity of corridors and connections.
- 4. Building and calibrating the model:
 - Implementing logic for arrivals/departures and transfers in environments like PTV Vissim, SimPy, etc.;
 - Validating the model based on real-world observations or statistical data.
- 5. Forecasting optimization scenarios:
 - Testing different timetable and route options;
 - Analyzing infrastructure parameter changes (corridor width, number of entrances, platform layout);
 - Evaluating the effect of implementing a unified ticketing system or information displays.
- 6. Evaluating results and generating recommendations:
 - Identifying bottlenecks (congestion zones, long transfers);
 - Calculating performance indicators (average transfer time, zone load, passenger comfort);
 - Producing recommendations for schedule adjustments, infrastructure planning, and information improvements.

Thus, the modeling process combines data collection and analysis, algorithm and software selection, scenario testing, and result interpretation to enhance the efficiency of multimodal hub operations. The effectiveness of simulation modeling allows for an accurate reproduction of passenger and vehicle flow dynamics at the hub, as confirmed by the similarity between model results and real-world observations. The model clearly identifies critical areas. Optimizing arrival/departure intervals increases hub throughput without additional infrastructure. Expanding key corridors, improving wayfinding, and adding fast access points can reduce delays. Implementing a unified payment system, together with real-time displays and mobile applications, helps reduce passenger uncertainty and minimizes the «search time» for optimal routes.

1. Bolkovskaa A., Petuhova J. Simulation-based Public Transport Multi-modal Hub Analysis and Planning. *Procedia Computer Science*. 2017. Vol. 104. P. 530–538. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.169>.
2. Ezzedine H, Bonte T, Kolski C, Tahon C. Intermodal transportation system management: towards integration of traffic management system and users information system. *IMACS Multiconference on Computational Engineering in Systems Application (CESA)*. IEEE Xplore Digital Library; 2006. P. 972–979. <http://dx.doi.org/10.1109/CESA.2006.4281790>.
3. Harris I., Wang Y., Wang H. ICT in multimodal transport and technological trends: Unleashing potential for the future. *International Journal of Production Economics*. 2014. Vol. 159(1). P. 88–103. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.005>.

УДК 656.1

FORMALIZATION AND EFFICIENCY ASSESSMENT OF LOADING AND UNLOADING PROCESSES IN MODERN LOGISTICS SYSTEMS

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ НАВАНТАЖУВАЛЬНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ У СУЧАСНИХ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМАХ

Птиця Наталія, Кочерга Богдан

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет
вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002*

Навантажувально-розвантажувальні роботи (НРР) на автомобільному транспорті виступають однією з найресурсоємніших і критично важливих складових транспортного процесу, що істотно впливає на його загальну ефективність. Значні витрати часу на виконання або очікування НРР зумовлюють тривалі простої транспортних засобів, що призводить до підвищення експлуатаційних витрат та зниження оборотності рухомого складу.

Основними причинами таких втрат часу виступають: недостатній рівень механізації робіт, застарілі технічні засоби, відсутність єдиної логістичної координації між учасниками транспортного процесу в точках перевантаження, а також нераціональна організація підготовчих і супровідних операцій [1; 2].

У межах сучасного логістичного підходу оптимізація НРР передбачає комплексний перегляд і впорядкування операцій у місцях відправлення та отримання вантажів, зокрема на складах, логістичних терміналах та пунктах консолідації. Основою підвищення ефективності є забезпечення попередньої готовності вантажу до відправлення: формування відправницьких партій з урахуванням технічних параметрів транспортних засобів (вантажопідйомності, об'ємних обмежень), упакування вантажів у транспортну тару, чітка ідентифікація місцезнаходження вантажу в складських зонах, а також завчасна підготовка засобів механізації (навантажувачів, конвеєрів, кранів тощо) до роботи. Особливої актуальності набуває пакетування дрібнопартійних і штучних вантажів, що дозволяє мінімізувати кількість операцій і зменшити вплив людського фактора [2; 3].

Нормування часу простою транспортних засобів під НРР регламентується нормативними документами, зокрема «Єдиними нормами часу», які встановлюють базові значення для вантажів першого класу у розрахунку на одну тону. Для вантажів другого, третього і четвертого класів застосовуються коригувальні коефіцієнти, що враховують фактичний коефіцієнт використання вантажопідйомності транспортних засобів з урахуванням повного завантаження за допустимими габаритами (у тому числі об'ємними) [3–5].

Однак існуючі нормативи були розроблені в умовах централізованого управління економікою й орієнтовані переважно на типові процеси, що вже не повною мірою відповідають реаліям сучасної ринкової логістики.

У зв'язку з переходом до децентралізованої системи управління в економіці, підвищенням ролі приватних перевізників і запровадженням гнучких логістичних стратегій, виникає необхідність оновлення та адаптації нормативно-методичної бази.

Сучасне планування логістичних операцій вимагає перегляду регламентів щодо тривалості окремих етапів НРР, з урахуванням змін у характеристиках транспортних засобів (типів кузовів, рівня автоматизації, параметрів платформи), нових видів тари та упаковки, а також специфіки оброблюваних вантажів.

Час на навантаження-розвантаження визначається за нормами чи за залежністю (1), яка має вид:

$$t_{н/р} = 2 \cdot (t_d + q_n \cdot \gamma_{ст} \cdot \tau_{н-р}), \quad (1)$$

де t_d – додатковий час на оформлення документів, год, q_n – номінальна вантажність автомобіля, т, $\tau_{н-р}$ – норма витрат часу на навантаження або розвантаження 1 тонни вантажу, год/т, $\gamma_{ст}$ – коефіцієнт статичного використання вантажності.

Згідно з чинними нормативами, середня тривалість процедур, пов'язаних із документальним оформленням вантажних операцій, становить 15–20 хвилин [1–3]. Нормативні витрати часу на виконання навантажувально-розвантажувальних робіт у розрахунку на одну тонну вантажу, як правило, становлять близько 3 хвилин. Однак результати сучасних емпіричних досліджень свідчать про значну варіативність цих показників залежно від конкретних умов виконання логістичних операцій, що обумовлено низкою чинників, зокрема: фізико-механічними властивостями вантажу (об'єм, вага, форма, крихкість), типом використовуваного транспорту, рівнем механізації робіт, організаційною структурою логістичної операції, а також рівнем кваліфікації персоналу.

Враховуючи суттєву дисперсію фактичних значень тривалості НРР, виникає об'єктивна потреба у поглибленому аналізі функціональних залежностей між витратами часу та параметрами, що їх зумовлюють. Такий підхід дає змогу не лише адаптувати наявні нормативи до сучасних умов, а й сформулювати рекомендації щодо підвищення ефективності логістичних операцій шляхом раціонального планування ресурсів і часу.

Особливої актуальності це питання набуває в контексті організації етапу «last mile» в системах роздрібної логістики [5]. Доставка дрібнопартійних вантажів до кінцевого споживача, як правило, здійснюється транспортними засобами малої та середньої вантажності, що зумовлює більшу частотність НРР при зменшенні обсягів одиничних відправлень.

Водночас, навіть за умови використання однакового способу виконання вантажних операцій (наприклад, за допомогою ручного гідравлічного візка), рівень ефективності значно залежить від таких чинників, як інфраструктурні особливості місця доставки (наявність пандусів, ліфтів, під'їзних шляхів), час доби, щільність дорожнього руху та логістична завантаженість персоналу.

Для уточнення рекомендаційних даних необхідне дослідження функціональних залежностей відповідних результативних величин від різних факторів. Особливість функціонування етапу last mile в роздрібних логістичних системах передбачає, що процес доставки дрібнопартійних вантажів відбувається автомобілями різної вантажності, за умови використання однакового способу та організації навантажувально-розвантажувальних робіт. Дані залежності переважно мають лінійний характер [6], тому витрати часу на їх виконання можна представити відповідною лінійною моделлю:

$$Y = a_x + b_x x, \quad (2)$$

де $Y = t_{н-р}$ – час навантаження-розвантаження вантажу, год., $a_x = 2t_d$ – додатковий час на оформлення документів, год., $b_x = 2\tau_{н-р}$ – норма витрат часу на навантаження, або розвантаження 1 тонни вантажу, год/т, $x = q_n \cdot \gamma_{ст}$ – добуток відповідно номінальної вантажності автомобіля та коефіцієнту статичного використання вантажності, т.

Для проведення розрахунків та апроксимації залежності тривалості НРР від складових застосовується регресійний аналіз. Для отримання значень коефіцієнтів, використовуються дані натурних спостережень часу перебування транспортних засобів у пункті навантаження та розвантаження при доставці вантажів автомобілями різної вантажності [5–6].

Отримані в ході розрахунків коефіцієнти регресійних моделей та перевірка їх значущості представлені в табл. 6.

Таблиця

Результати розрахунків та перевірка коефіцієнтів регресійних моделей

Показник	Значення	Стандартна помилка	t -критерій для коефіцієнтів рівнянь регресії	p – значення ймовірності нульової гіпотези для коефіцієнтів рівняння регресії
$a_x = 2t_d$	0,483289	0,0228	21,1181	$2,23 \cdot 10^{-9}$
$b_x = 2\tau_{н-р}$	0,13466	0,0232	15,789	$2,19 \cdot 10^{-10}$

Значення коефіцієнта кореляції при розрахунку тривалості НРР становить 0,91, стандартна похибка апроксимації склала – 0,6, скорегований коефіцієнт множинної кореляції – 0,87, значення ймовірності нульової гіпотези (F-критерій) – 0,000001.

У результаті проведених розрахунків встановлено, що додаткові витрати часу, пов'язані з оформленням супровідної документації, становлять $t_0 = 0,24$ год, тривалість НРР 1 тонни вантажу $\tau_{н-р} = 0,07$ год.

Отримані кількісні значення доцільно враховувати під час формалізації математичної моделі, яка описує структуру та динаміку логістичних витрат, пов'язаних із виконанням доставки дрібнопартійних вантажів на заключному етапі логістичного ланцюга. Їх включення до моделі дозволяє адекватно враховувати часові затрати, що супроводжують логістичне обслуговування, зокрема в частині простоїв транспортних засобів, що виникають через адміністративні та технологічні процедури. Це, у свою чергу, забезпечує підвищення точності прогнозування загальних витрат і сприяє прийняттю обґрунтованих управлінських рішень при плануванні маршрутів і ресурсного забезпечення логістичних операцій.

1. Єдині тарифи на перевозку вантажів. Прейскурант № 13-01-02. Держкомцін УСССР. Київ, 1989. 60 с.

2. Заборський Л. О. Методичні основи організації транспортно-технологічних процесів у системах доставки вантажів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Одеськ. нац. морськ. ун-т: Одеса, 2008. 20 с.

3. Горяїнов О. М. Особливості виконання навантажувально-розвантажувальних робіт на об'єктах транспорту з позиції транспортної. *Збірник наукових праць. Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля*. Луганськ, 2013. С. 39–41.

4. Калініченко О. П., Россолов О. В. Організація перевезень вантажів : навч. посіб. Харків : ХНАДУ, 2005. 123 с.

5. Kovtsur K., Ptytsia N., Liubyi Y., Fedorov V. An approach to determine vehicle idle time at unloading points. *AIP Conference Proceedings* 2439. 2021. 020012-1–020012-11. <https://doi.org/10.1063/5.0068437>.

6. Лашених О. А., Кузькін О. Ф., Грицай С. В. Імовірнісні і статистико-експериментальні методи аналізу транспортних систем : навч. посіб. Запоріжжя : ЗНТУ, 2011. 420 с.

УДК 656.078

MODELING OF TRANSPORT SYSTEMS IN CARGO TRANSPORTATION

МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ПРИ ЗДІЙСНЕННІ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Цимбал Сергій, Мельник Руслана

*Вінницький національний технічний університет
вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21000*

Аналізуються методи моделювання транспортних систем при перевезенні вантажів та їх обробці на вантажних терміналах. Представлений процес складається із сукупності локальних взаємопов'язаних операцій. Системні методи розрахунку з елементами дискретної математики (теорія графів) дають змогу описати стан системи в динаміці та знайти раціональні управлінські рішення.

Ключові слова: логістика, вантажоперевезення, моделювання.

Логістичні моделі, які використовують під час вивчення процесів у транспортних системах належать до класу статичних і не дають змоги в явному вигляді оцінити динамічні властивості систем та їхні способи адаптуватися до змін зовнішнього середовища.

Логістичні системи транспортування вантажів під час мультимодальних перевезень включають перевалку, а іноді й переробку вантажів на шляху проходження в транспортних вузлах (станціях і терміналах). Особливість моделювання таких систем полягає в побудові послідовності транспортних операцій, сукупність яких задовольняє критерії безпеки та допустимого ризику виникнення відмови системи як у цілому, так і в окремих її елементах.

Особливий інтерес становлять розрахунково-експериментальні ймовірнісні методи аналізу, основним інструментом яких є ймовірнісне моделювання локальних станів динамічної системи з оцінкою функцій безпеки та ризику відмови за відповідними заданими критеріями. Теоретична та методична база цього напрямку тільки починає формуватися.

Процес функціонування системи можна представити як сукупність деякої множини окремих елементарних процесів або локальних станів, тривалість кожного з яких визначена деяким заданим законом. Моменти закінчення локальних процесів є початковими моментами настання тих основних подій, які змінюють стани транспортної системи для переходу в наступний локальний стан.

До локальних процесів належать процеси транспортування, надходження на термінал чергових вантажів, процеси очікування вантажу, його переміщення, що відображають безперервну послідовність станів системи.

Обслуговування вантажу на терміналі є локальним процесом, оскільки тривалість обслуговування визначається відповідним законом, заданим під час опису системи. Локальний процес обслуговування вантажів на терміналі є сукупністю підсистем (автотранспорт, термінал, судно, причал тощо). Процес у підсистемі починається не раніше, ніж закінчиться попередній, якщо тільки підсистема одночасно обслуговує не більше однієї заявки.

Водночас елементарні процеси очікування підсистемою надходження вантажу, очікування вантажем початку обслуговування є другорядними, оскільки їхня тривалість не визначається конкретними законами, а залежить від законів надходження та обслуговування вантажів і має перехідний характер.

Таким чином, процес функціонування системи можна розглядати як сукупність деякої кількості K послідовностей локальних процесів. Моменти закінчення локальних процесів у

кожній послідовності утворюють свій потік тих основних подій, які змінюють стан системи. Природно, одночасно з основними подіями у системі можуть відбуватися і другорядні події – як наслідки основних подій [1].

Модель транспортного вузла (ТВ) можна представити як систему зі входом і виходом, що має характерні параметри, які описують її стан: де $X_1, X_2, \dots, X_n$ – входні змінні (вантажопотоки надходження); $Y_1, Y_2, \dots, Y_m$ – вихідні змінні (вантажопотоки відправлення); $Z_1, Z_2, \dots, Z_l$ – характеристики стану системи (якісні показники системи); $a_1, a_2, \dots, a_k$ – параметри системи (базові характеристики системи); A, B, C, D – підсистеми (рис. 1).

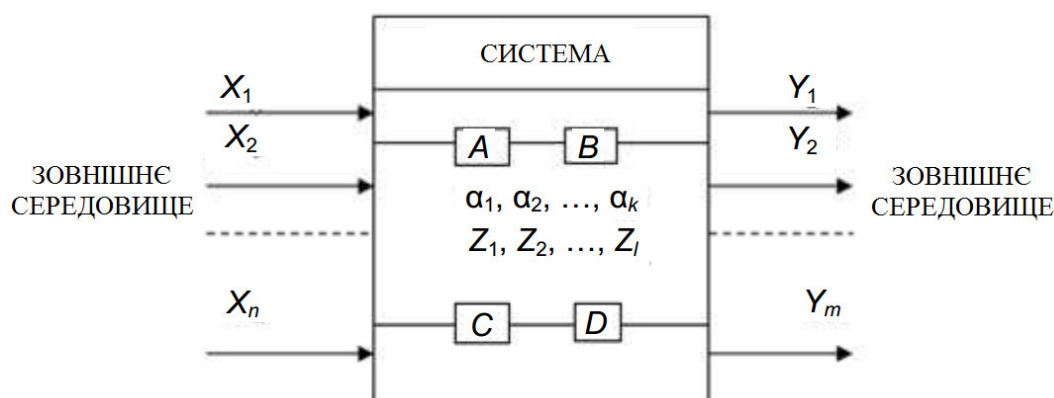


Рис. 1. Загальна схема побудови моделі транспортного вузла

Для чіткішого визначення об'єктів, що беруть участь у роботі транспортного вузла, складається граф, що формалізує роботу системи (рис. 2).

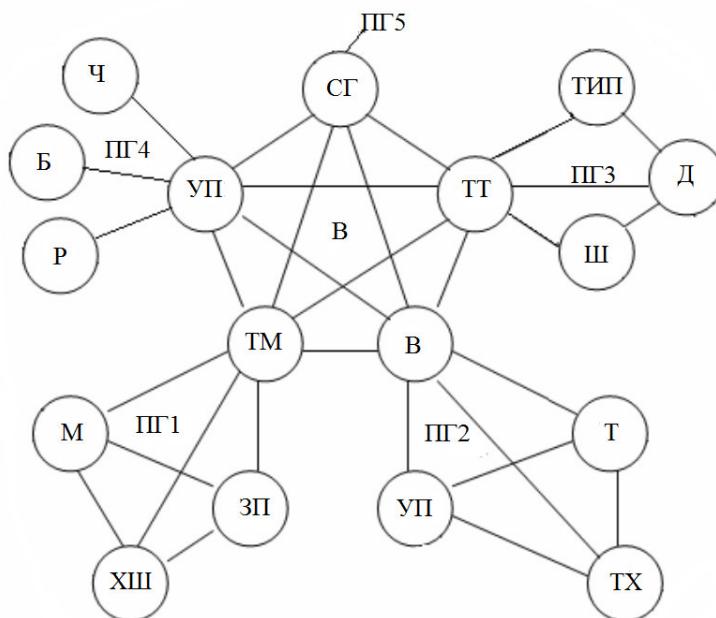


Рис. 2. Формалізація динамічної системи транспортного вузла у вигляді графа

Вершини графа визначають стан об'єктів та є взаємопов'язаними, підграфи кожного з графів описуються характеристиками, що також являють собою локальні процеси у системі. Ребра графа виконують функцію опису зв'язків між об'єктами.

За сформованого вхідного вектора вантажного потоку відбувається побудова під графа транспортної мережі, з подальшою її оптимізацією і розрахунком вектора небезпек [2].

Для забезпечення працездатності системи необхідно утримувати її в множині стійких станів на заданому терміні експлуатації системи. Належність до цієї множини визначається ймовірнісними характеристиками: функцією безпеки $S \Sigma(t)$ і функцією ризику $R \Sigma(t)$.

Функцію безпеки можна представити як імовірність стійкості системи при збуреннях її елементів:

$$S \Sigma(t) = P(t: \text{var}[G_{ij}] \in Q_s).$$

Функцію ризику $R \Sigma(t)$ можна уявити як імовірність появи відмови в роботі елементів системи в разі порушення їхньої стійкості в системі:

$$R \Sigma(t) = P(t: H | \text{var}[G_{ij}] \in Q_s),$$

де $\text{var}[G_{ij}]$ – варіації станів елементів системи;

Q_s – множина стійких станів системи;

H – вектор небезпек;

$P(\)$ – імовірність події.

Функціональна модель транспортного вузла містить у собі статичні та динамічні стани системи просування вантажопотоку.

Під статичним станом системи мається на увазі стан об'єкта, що змінюється (термінал, порт, автодорога тощо), коливання основних параметрів якого в часовому інтервалі не чинять достатнього впливу на систему в цілому.

Динамічні стани елементів моделей характеризуються низкою параметрів, що змінюються в часі, при цьому основні їхні властивості залишаються незмінними (автомобіль, судно, вантаж, кран тощо). Необхідно зазначити, що різні підсистеми можуть перебувати як у статичному, проміжному, так і в динамічному стані. Перехід з одного стану в інший здійснюється з використанням перехідної функції [3].

Подібна модель дає змогу описувати ймовірнісні стани транспортної системи, ґрунтуючись на статистичних даних, використовуючи розрахунково-експериментальні ймовірнісні методи аналізу (рис. 2).

На рис. 2 прийнято такі позначення: Γ – граф системи «Транспортний вузол (ТВ)», ПГ1, ПГ2, ПГ3, ПГ4, ПГ5 – підграфи системи: «Транспортна мережа (ТМ)», «Вантажопотік (В)», «Транспортний термінал (ТТ)», «Умови перевезення (УП)», «Складське господарство (СГ)».

Кожен підграф системи, у свою чергу, має свої характеристики: маршрут (М), зупинкові пункти (ЗП), характеристика шляху (ХШ) – параметри підграфа «Транспортна мережа»; довжина (Д), ширина (Ш), тип (ТИП) – підграфа «Транспортний термінал»; час (Ч),

безпека (Б), ризику (Р) – підграфа «Умови перевезення»; тип (Т), транспортні характеристики (ТХ), умови перевезення (УП) – підграфа «Вантажопотік».

Усі підграфи і граф цілком зазнають впливу зовнішнього середовища і пов'язані з ним певними відносинами. Опис зв'язків між підсистемами та їхньої взаємодії під час здійснення логістичних функцій перевезення і переробки вантажопотоків дасть змогу формалізувати процес і визначити найкращі з точки зору якості перевізних послуг параметри системи.

1. Payne H. J. Models of freeway traffic and control. Simulation Council Proc. 28. *Mathematical models of public systems* / edited by G. A. Bekey. 1971. V. 1. P. 51 – 61.

2. Lighthill M. J., Whitham G. B. On kinematic waves: II. Theory of traffic flow on long crowded road. *Proc. R. Soc. London*, 1955. Ser. A. Vol. 229. P. 281–345.

3. Шевчук Я. В. Імітаційне моделювання транспортних систем. *Економіка та управління*. 2011. № 5. С. 68–73.

LOGISTICS MODELING OF INTERACTION PROCESSES

ЛОГІСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВЗАЄМОДІЇ

Швець Микола

*Національний університет водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

В сучасних умовах глобалізаційних ризиків та зростаючої конкурентної боротьби на ринку транспортних послуг, заходи забезпечення ефективної взаємодії різних видів транспорту є ключовим завданням для вдосконалення оптимізаційних підходів до логістичних систем та ланцюгів. На сьогоднішній день транспортні системи стикаються з низкою проблем, які мають суттєвий на ефективність та надійність логістичних процесів, особливо в транспортних вузлах.

Одна з основних проблем вантажних перевезень – це утворення «вузьких місць» у логістичних ланцюгах. Ці місця призводять до затримок транспортування та відповідно і до зростання витрат. Дані звіту Світового банку показують, що більше 30% часу доставки вантажів у Європейському Союзі витрачається на простій в портах та перевантажувальних хабах. Відповідно, це призводить до зростання операційних витрат та зменшення прибутків європейських перевізників [1].

Також існує суттєва проблема з низьким рівнем інтеграції різних видів транспорту. Наприклад, використовуючи статистичні дані Європейської комісії, лише близько 40% вантажів, які перевозить залізниця, можуть ефективно інтегруватися з автомобільним транспортом. Це є наслідком недостатньої координації між транспортними підприємствами, а також недостатньою кількістю сучасної інфраструктури для виконання навантажувально-розвантажувальних робіт [2].

Відсутність сучасної кількості впровадження сучасних транспортних технологій також виступає значним бар'єром для оптимізації логістичних процесів. Відповідно до проведених досліджень компанії McKinsey, лише 15% компаній підприємств транспортного сектору використовують сучасні технології, до яких відносяться інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI) та великі дані (Big Data) для управління технологічними та організаційними процесами в логістичних ланцюгах. Все це призводить до обмеження можливостей для підвищення ефективності ланцюгів та зниження витрат [3].

Отже, для подолання зазначених проблем необхідно змодельовати взаємодію різних видів транспорту, яка дала б можливість враховувати всі аспекти процесів в логістичного ланцюгу, враховуючи час доставки, вартість перевезення, дотримання екологічних норм та доступність інфраструктурних об'єктів. Використання сучасних технологій та інтеграція інноваційних рішень у логістичні процеси виступає критично важливим фактором для досягнення високої ефективності транспортних підприємств та конкурентоспроможності на глобальному ринку.

Розробка та впровадження такої моделі вимагає активної співпраці між транспортними підприємствами, державними органами та науково-дослідними установами, а також значних інвестиційних впливів у розвиток інфраструктурних проектів та технологічних заходів.

Моделювання процесів взаємодії різних видів транспорту для вдосконалення оптимізації логістичних ланцюгів та систем є одним з ключових напрямків сучасних досліджень у сфері транспортної логістики. Аналіз літературних джерел дає можливість розглянути та визначити основні тенденції та підходи до вирішення цієї проблеми.

Одним з основних аспектів вирішення даної проблеми є інтеграція різних видів транспорту для створення системи ефективних мультимодальних логістичних ланцюгів. У роботі Юркович М. та ін. [4] детально розглянуто концепцію мультимодальних транспортних систем та їх значення для глобальних логістичних ланцюгів. Автор наголошує на важливості дотримання координації між різними видами транспорту для забезпечення безперешкодного руху транспортних засобів з вантажами та зменшення витрат.

Впровадження сучасних технологій є однією з невід'ємних частин оптимізації логістичних ланцюгів та систем. У роботі Асіма Р. та ін. [5] розкрито роль технологій, таких як Інтернет речей (IoT), блокчейн та автоматизація, у покращенні прозорості та ефективності логістичних процесів. Автори зазначають, що використання цих технологій дозволяє в реальному часі відстежувати рух вантажів, зменшувати ризики та покращувати управління запасами.

Аналізуючи літературні джерела ми бачимо, що застосування моделей у процесах взаємодії різних видів транспорту є досить складною і важливою задачею проведення оптимізаційних операцій в логістичних ланцюгах. Впровадження ефективної конкурентоспроможності транспортних підприємств в сфері інтеграції різних видів транспорту та впровадження сучасних технологій для ефективного управління логістичними процесами в ланцюгах можуть забезпечити сталий розвиток логістичних систем.

Застосування моделювання у процесах взаємодії різних видів транспорту – це комплексний процес вирішення транспортних задач за рахунок застосування різних моделей для аналізу та проведення оптимізаційних заходів взаємодіючих видів транспорту у логістичних системах. Основною метою моделювання транспортних процесів взаємодії видів транспорту є покращення забезпечення координації між різними транспорту (автомобільним, залізничним, морським та повітряним транспортом), щоб забезпечити безперебійність та підвищити ефективність транспортування вантажів. Його основними завдання є: 1) Вдосконалення ефективності існуючих маршрутів і побудова оптимальних графіків, що зменшуватимуть загальний час і витрати на перевезення; 2) Забезпечення стабільності роботи транспорту та безпечності доставки вантажів, мінімізація ризиків пошкодження або втрат; 3) Виявлення найбільш економічних підходів до транспортування вантажів; 4) Зменшення викидів забруднюючих речовин та парникових газів за рахунок вдосконалення маршрутної мережі і використання екологічно чистих сучасних транспортних засобів.

У процесі нашого дослідження була розглянута кілька оптимізаційна мультимодальна модель логістичних ланцюгів шляхом інтеграції різних видів транспорту. Характеристика даної моделі наведена нижче.

Застосування мультимодальної моделі передбачає використання декілька видів транспорту для доставки вантажів, та враховує їх взаємодію на різних етапах логістичного процесу. Основними параметрами, що враховуються в даній моделі є:

1) розрахунок загального часу, який необхідний для перевезення вантажів від відправника вантажу до отримувача, з врахуванням часу на виконання перевантажувальних робіт в пунктах взаємодії. Згідно з даними Європейської комісії, середній час простою вантажів у портах Європи становить 30 годин, але його можна зменшити застосовуючи кращу координацію видів транспорту на 20% [3];

2) врахування всіх витрат, пов'язаних з перевезеннями вантажів різними видами транспорту, зокрема витрат на паливо-мастильні матеріали, обслуговування транспортних засобів в пунктах взаємодії та плату за використання інфраструктури. Наприклад, дослідження проведені McKinsey показали, що впровадження мультимодальних рішень може призвести до 15–20% зниження витрат на перевезення [3];

3) оцінювання наявності та стану інфраструктури для кожного виду транспорту, включаючи порти, залізничні станції, аеропорти та автодороги. Виходячи з даних звіту Світового банку, більш ніж 40% інфраструктури транспортних коридорів потребує проведення заходів модернізації для підтримки ефективної мультимодальної логістики [1];

4) аналіз рівня викидів CO₂ та інших забруднюючих речовин для кожного виду транспорту. За даними Міжнародного енергетичного агентства, транспортний сектор є відповідальним за 24% глобальних викидів CO₂, з яких впровадження екологічних заходів в сектор мультимодальних перевезень може знизити цей показник на 10–15% [2].

Проведений аналіз літературних джерел дозволив ідентифікувати основні «вузькі» місця в логістичних системах і ланцюгах, що призводять до затримки вантажів та підвищення витрат на транспортування. Серед них особливо виділяються причини: 1) недостатня координація між різними видами транспорту; 2) обмежена пропускна здатність інфраструктурних об'єктів (доріг, портів, залізничних вузлів); 3) затримка процедур митного оформлення та адміністративні бар'єри.

Результати дослідження показали, що інтеграція різних видів транспорту, використання сучасних технологій та оптимізація логістичних ланцюгів дозволяють значно підвищити ефективність логістичних процесів. Нові моделі демонструють суттєві переваги над традиційними підходами, включаючи зниження витрат, скорочення часу доставки та покращення екологічних показників. Ці висновки підкреслюють важливість впровадження інноваційних рішень для забезпечення конкурентоспроможності логістичних систем у сучасних умовах.

Для підвищення рівня інтеграції та оптимізації логістичних процесів пропонується: впровадити єдину інформаційну платформу, яка дозволить забезпечити координацію між всіма учасниками логістичного ланцюга, інвестувати в модернізацію та розширення транспортної інфраструктури, встановити єдині стандарти для різних видів тари.

1. *Світовий банк* : офіційний сайт. URL: <https://www.worldbank.org/en/homen> (дата звернення: 10.03.2025).

2. *Європейська комісія* : офіційний сайт. URL: https://commission.europa.eu/index_en. (дата звернення: 10.03.2025).

3. *McKinsey & Company* : офіційний сайт. URL: <https://www.mckinsey.com/> (дата звернення: 10.03.2025).

4. Jurkovic M., Kalina T., Morvay K., Hudcovsky M., Luptak V., Gorzelanczyk P. Assessment of the logistics solutions in the automotive using operational research. Reliability and Statistics in Transportation and Communication. Springer, 2021.

5. Ashima R., Haleem A., Bahl S., Nandan D., Javaid M. Automation of AM via IoT towards implementation of e-logistics in supply chain for industry 4.0. Recent Advances in Mechanical Engineering. Springer, 2022.

UDK 629.113.012.4:656.073

INFLUENCE OF STRUCTURAL DESIGN FEATURES OF FREIGHT VEHICLE BODIES ON THE SAFETY OF CARGO TRANSPORTATION

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ КУЗОВА ВАНТАЖНОГО
ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ НА БЕЗПЕКУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ

Khitrov Ihor

*National University of Water and Environmental Engineering
33028, Rivne, 11, vul. Soborna*

In the context of ensuring cargo transportation safety, structural design features of a freight vehicle body refer to a set of engineering solutions, structural elements, and technical characteristics that ensure the preservation of the cargo, vehicle stability during motion, secure load fixation, and protection against adverse environmental effects. These features directly affect both the safety of the cargo (its integrity and preservation) and the safety of road users.

The safety level is influenced by the body's shape and type (flatbed, curtain-sided, box, isothermal, etc.), frame strength and rigidity, body materials, cargo securing systems, floor coating, shock-absorbing and damping elements to reduce the impact of vibrations and shocks, body airtightness, aerodynamics, fast and safe loading/unloading capabilities, and integration with monitoring and control systems. Each structural decision has a direct impact on the level of protection against external influences.

Different body types offer varying levels of protection and functionality. Flatbed bodies provide easy loading/unloading access but require additional cargo securing mechanisms. Curtain-sided bodies offer protection from precipitation and UV exposure but may let moisture through at tarp junctions. Box bodies ensure full sealing and temperature insulation, though they have higher weight and manufacturing cost. Isothermal bodies maintain optimal temperature regimes, ideal for transporting food or pharmaceuticals, requiring complex insulation and refrigeration systems. Tipper bodies experience high stress during unloading operations, thus needing reinforced materials and joints. Each type is best suited for specific cargo characteristics and transport routes.

Steel remains the traditional material for body construction due to its strength and relatively low cost, although its high weight reduces payload capacity. Aluminum offers a lightweight and corrosion-resistant alternative but requires reinforced connections and protection against impact deformations. Composite materials (e.g., fiberglass, carbon fiber) strike a balance between stiffness and weight but are expensive and difficult to repair. The choice of material affects operational costs: steel requires periodic painting and anti-corrosion treatment, aluminum needs special bonding or welding, and composites demand crack prevention and lamination. Additional polymer coatings can improve durability and sealing, helping reduce the risk of cargo damage during impact or vibrations.

Cargo securing systems (rail guides, hook-sling fasteners, tension belts) prevent load displacement during sudden maneuvers or emergency braking. Anti-slip floor coatings with ribbed surfaces or rubber inserts reduce the chance of sliding bags, boxes, or pallets. Shock-absorbing elements between the chassis and body minimize vibration, especially on uneven roads and long routes. Dampers and hydraulic buffers on doors and rear walls soften impacts during closing, reducing the risk of damage or injury to personnel. Together, these elements form a multi-layered cargo protection system and improve vehicle operational safety. Integration of smart sensors into fastening points enables real-time monitoring of load stability.

An aerodynamic front profile reduces air drag, improving fuel efficiency and reducing lateral wind effects. Additional cab roof deflectors and side spoilers promote laminar airflow, reducing turbulence between tractor and trailer. Proper adjustment of deflector angles and dimensions should

be made depending on route types (urban roads vs. highways). Computational fluid dynamics (CFD) modeling allows for precise aerodynamic behavior analysis before physical prototype manufacturing, minimizing wind load risks and improving safety.

The body transfers vertical and horizontal forces to the chassis through mounting points that must withstand cyclic loads without losing rigidity. The suspension type (leaf, pneumatic, hydropneumatic) determines the level of vibration isolation. Air suspension provides better shock absorption and automatic clearance adjustment based on cargo weight. Excessively rigid mounting may lead to stress concentration and cracking. To ensure longevity, energy-absorbing pads and flexible joints are used to reduce vibration transfer. Regular inspections of suspension and mounting points are crucial, as wear can lead to critical failures during operation.

The international ADR agreement regulates the transport of dangerous goods, especially in terms of sealing, ventilation, and fire resistance [1]. ISO standards (e.g., ISO 1496 for containers) define dimensions, payload capacities, and handling requirements [2]. UNECE regulations establish test procedures for body sealing and structural strength under static and dynamic loads [3]. Compliance with these regulations is mandatory for international transport operations and ensures a consistent safety standard across countries. Ukrainian legislation has adopted key EU recommendations, promoting harmonized standards.

The integration of telematics systems enables real-time tracking of temperature, humidity, and body inclination. Load sensors monitor the tension of belts or slings and alert operators in case of loosening. Smart truck bodies are equipped with GPS modules, accelerometers, and gyroscopes to analyze dynamic behavior and potential risks during transport. IoT platforms allow centralized data collection from multiple vehicles, optimizing operational regimes. Promising technologies include augmented reality for body inspection and detection of microcracks without coating removal. Machine learning algorithms are increasingly used for predicting technical condition and planning preventive maintenance [4].

1. Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road. UNECE. URL : <https://unece.org/transportdangerous-goods/adr-2021-files>. (дата звернення: 10.03.2025).

2. ISO 1496-1:2013. Series 1 freight containers – Specification and testing – Part 1: General cargo containers for general purposes. URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/59672/4280c082068b46fb8e6296cb3b6b7212/ISO-1496-1-2013.pdf>. (дата звернення: 10.03.2025).

3. ADR 2025 - Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road. UNECE. URL: <https://unece.org/adr-2025-files>. (дата звернення: 10.03.2025).

4. Innovations In Heavy Vehicle Design And Efficiency. Faster Capital. URL: <https://fastercapital.com/topics/innovations-in-heavy-vehicle-design-and-efficiency.html> (дата звернення: 10.03.2025).

УДК 656.13

EFFICIENCY AND SAFETY OF ROAD TRAFFIC IN UKRAINE DURING MARTIAL STATE

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ І БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В УКРАЇНІ ПІД ЧАС ВОЄННОГО СТАНУ

Бажинов Анатолій

*Харківський автомобільно- дорожній фаховий коледж
вул. Котельниківська, 3, м. Харків, 61201*

Від початку воєнної агресії РФ проти України стан дорожнього руху в нашій державі зазнав значних змін, що пов'язано як із самим фактом введення на території держави воєнного стану, так і з масштабними пошкодженнями, які спричинені й досі продовжують спричинятися інфраструктурі українських автошляхів.

На дорогах України кількість транспортних засобів постійно збільшується, навіть в теперішній час.

Разом з економічними благами автомобілізація приносить багаточисленні витрати та проблеми негативного характеру, найбільш серйозною з них є проблема дорожньо-транспортних подій, це злочинні порушення правил безпеки дорожнього руху, які широко розповсюджені і мають підвищену суспільну небезпеку.

Звісно ж, ці обставини не могли не вплинути на поведінку учасників дорожнього руху та характер останнього. При цьому зміни у характері руху автотранспорту особливо помітними стають у регіонах країни, що знаходяться у безпосередній близькості до лінії зіткнення з ворогом. Водночас зараз складно сказати, що відбувається в аналізованій сфері в зонах ведення бойових дій. Тому подібне завдання ми і не ставимо перед собою.

У межах цієї публікації спробуємо окреслити ситуацію стосовно дорожнього руху з урахуваннями власного досвіду знаходження на прифронтовій території у м. Харків.

Однак, обстановка, в якій військовим і правоохоронним органам необхідно було вирішувати чимало невідкладних важливих завдань із забезпечення ефективної оборони держави і правопорядку на підконтрольних Україні територіях, стала серйозним викликом для безпеки дорожнього руху. Адже деякі недобросовісні водії з огляду на «відволікання» уваги правоохоронців на розв'язання інших проблем відчували безкарність. Тому візуально на вулицях Харкова дорожньо-транспортних пригод стало набагато більше.

Забезпечення ефективності і безпеки дорожнього руху під час військового стану впливає на економіку країни – ВВП, екологію, здоров'я нації.

Влада України – як центральна, так і місцева – має забезпечити організацію і фінансування всіх складових дорожнього руху, особливо зараз, під час військового стану.

Вкрай необхідним є також розуміння представниками владних структур незалежно від територіальності та відомчої належності, що людські втрати від ДТП неспіввісні ні з якими іншими видами людської діяльності. Це у свою чергу викликає необхідність не тільки розуміння проблеми у сфері забезпечення безпеки дорожнього руху, а й організацію і фінансування усіх складових дорожнього руху [1].

Причин та факторів, що впливають на вчинення дорожньо-транспортних подій немало, особливо в теперішній час.

Причини можуть бути пов'язані як з водієм і транспортним засобом, так і з людиною та дорогою. Однак їх переважна більшість пов'язана з діями особи, яка керує транспортним засобом, тобто водія. Для більш детального розуміння, яким чином зазначені складові впливають на безпеку дорожнього руху, проаналізуємо їхні загальні характеристики.

Перш за все, такий непересічний фактор, як конструкція транспортних засобів, що забезпечує активну, пасивну, після аварійну та екологічну безпеку. Адже саме від конструкції транспортних засобів у багатьох випадках залежить стан постраждалих від ДТП, здоров'я, а іноді й життя [2].

Активна безпека автомобіля спрямована на запобігання дорожньо-транспортним пригодам. На активну безпеку автотранспорту впливають такі його характеристики: тягово-швидкісні; гальмівні; стійкість; керованість; інформативність; масові і габаритні параметри; робоче місце водія (ергономічні параметри, шум, вібрації, загазованість). Тобто активна безпека – це фактор, який впливає на безпеку керування, умови безпечного руху, безпеку при сприйнятті, експлуатаційну безпеку.

Пасивна безпека транспортного засобу спрямована на зниження наслідків ДТП, та, у свою чергу, поділяється на зовнішню і внутрішню безпеку. Внутрішня пасивна безпека – це безпека водія та пасажирів. При сертифікації автомобіля на внутрішню пасивну безпеку висувають декілька правил: захист водія від удару об систему рульового управління автомобіля; пасивна безпека при фронтальному ударі при певній швидкості; пасивна безпека нерухомого автомобіля при боковому ударі. Пред'являються вимоги до компонентів автомобіля і місць їх кріплення: вимоги до місць кріплення ременів безпеки, до міцності сидінь та їхніх кріплень [3].

Основною вимогою зовнішньої пасивної безпеки є забезпечення такого конструктивного виконання зовнішніх поверхонь і елементів автомобіля, при якому можливість пошкоджень людини цими елементами у випадку дорожньо-транспортних пригод була б мінімальною. Згідно з цією вимогою фари, дзеркала, ручки дверей й інші елементи автомобіля не повинні утворювати гостро виступаючі поверхні, які могли б нанести людям тілесні пошкодження. Ще однією вимогою до зовнішньої пасивної безпеки є убезпечення безпосередньо автомобіля від пошкоджень за допомогою зовнішніх елементів конструкції.

Пасивна безпека транспортного засобу, перш за все, спрямована на зниження негативних наслідків для водія та пасажирів під час дорожньо-транспортної пригоди за рахунок спеціально розроблених систем захисту від травмування та поранення людини.

Під після аварійною безпекою розуміють властивість транспортного засобу у випадку аварії не перешкоджати евакуації людей і не завдавати їм травм при евакуації.

При конструюванні автомобіля враховують такі принципи: бак розташовують далі від двигуна; установлюють бак ззаду; установлюють систему автоматичного відключення електроенергії при ДТП; забезпечують пожежну безпеку паливних баків, заливних горловин і паливопроводів; передбачають пристрої для аварійної евакуації людей; забезпечують салон необхідною кількістю вогнегасників [3].

Екологічна безпека – це властивість транспортного засобу знижувати ступінь його негативного впливу на довкілля (загазованість, шум і вібрації, електромагнітні випромінювання, використання енергоресурсів). Вищезазначені фактори впливають на безпеку дорожнього руху та визначені як вимоги до безпеки автомобіля, які регламентовані в спеціальних державних, галузевих та інших нормативно-технічних стандартах, включаючи правила обов'язкової сертифікації транспортних засобів, із метою забезпечення права споживача на життя і гарантовану йому безпеку. Конструктивна безпека автомобіля та автомобільної дороги мають величезне значення для безпеки дорожнього руху. Саме з причини недотримання вимог стандартів та нормативів щодо цих двох складових і відбувається найбільша кількість аварій, адже від якості конструктивної безпеки автомобіля та дорожніх умов залежать наслідки ДТП.

Технічний стан транспортних засобів – це наступна складова безпеки дорожнього руху, яка відповідає за належне забезпечення стану транспортного засобу до технічних характеристик заводу-виробника.

Обов'язок щодо забезпечення належного технічного стану транспортних засобів покладається на їхніх власників або інших осіб, які їх експлуатують.

Дослідження показують, що 30–50% рухомого складу, що знаходиться на лінії, експлуатується з несправностями в гальмівній системі, рульовому керуванні, освітленні та інших вузлах і механізмах, що безпосередньо впливають на безпеку руху.

Для запобігання ДТП з технічної несправності автотransпортних засобів, крім особливої уваги до вузлів та агрегатів, які безпосередньо впливають на безпеку руху, необхідно добиватися повної технічної справності автомобіля [3].

З метою попередження ДТП через технічні несправності автомобілів застосовують методи діагностики з використанням електронної апаратури, які дозволяють своєчасно виявляти та усувати несправності агрегатів та систем автомобіля, не вдаватися до розбирання та збирання вузлів.

Правильно організоване технічне обслуговування та ремонт, своєчасне усунення виявлених несправностей в агрегатах та системах автомобілів при висококваліфікованому виконанні робіт дозволяють підвищити надійність та довговічність автомобілів та знизити кількість ДТП.

Погляди на фактори та причини, що лежать в основі ДТП, змінюються в міру накопичення досвіду організації руху та досліджень у галузі безпеки руху. У більшості країн громадська думка та офіційна статистика органів регулювання руху найчастіше вбачають основну причину ДТП у недбалості, помилках водіїв.

Так, Всесвітня організація охорони здоров'я вважає, що дев'ять із десяти подій відбувається з вини водіїв, решта їх також певною мірою залежить від водіїв. Аналізуючи конкретні обставини, можна побачити, що найчастіше вони викликані кількома причинами. Встановлено, що на кожні 100 ДТП припадає близько 250 причин та супутніх факторів.

У часі, що безпосередньо передую події, й у розвитку події вплив кожної з причин неоднаковий. У кожній фазі ДТП можна виділити одну головну провідну причину, яка може стати другорядною, супутньою, а в головну перекладається та, яка у першій фазі була супутньою.

Таким чином, забезпечення безпеки дорожнього руху включає та передбачає: наявність досконалого законодавства у сфері транспортної безпеки, норми якого чітко описують безпеку дорожнього руху, правила та вимоги до неї; належне функціонування відповідного механізму дотримання цих правил та норм, забезпечення безпеки на дорогах; посилену відповідальність за порушення правил дорожнього руху; відповідність стану автомобільних доріг, вулиць, залізничних переїздів вимогам безпеки руху; наявність норм і правил дорожнього руху і, найголовніше, їх неухильне дотримання; своєчасне забезпечення та надання необхідної медичної допомоги, застосування заходів для забезпечення надання екстреної медичної допомоги у тому числі потерпілим внаслідок дорожньо-транспортних пригод; постійну наявність інформації про умови дорожнього руху з метою попередження учасників дорожнього руху про загрози чи небезпеки на дорогах.

Отже, ситуація на автошляхах потребує подальшого моніторингу та запропонування заходів, що здатні знизити ситуацію підвищеної ризикованості у період, коли всі сили суспільства і держави мобілізовані на оборону країни.

1. Державна служба України з безпеки на транспорті. URL: <http://www.drs.gov.ua/publisher/derzhavna-sluzhba-ukrayiny-z-bezpeky-na-transporti/> (дата звернення: 10.03.2025).

2. Безпека дорожнього руху та деякі правові аспекти : навч. посіб. / В. А. Кишун, Р. М. Кузнецов, І. С. Мурований, О. В. Лаба. Луцьк : РВВ Луц. нац. техн. ун-ту, 2010. 225 с.

3. Веселова Л. Ю. Адміністративно-правові гарантії безпеки дорожнього руху : дис. ... канд. юрид. наук : 12.00.07. Одеса, 2016. 236 с.

4. Стрільчук В. Для водіїв змінили правила на час війни – що можна робити на дорогах. URL: <https://economics.segodnya.ua/ua/economics/avto/dlyavoditeley-izmenili-pravila-na-vremya-voyny-cto-mozhno-delat-na-dorogah1610833.html>. (дата звернення: 10.03.2025).

УДК 656.13

IMPROVING TRANSPORT PROCESS TECHNOLOGIES AND INCREASING ROAD SAFETY IN MODERN CITIES

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ І ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ СУЧАСНИХ МІСТ

Бажинов Анатолій, Сідак Юлія

*Харківський автомобільно- дорожній фаховий коледж
вул. Котельниківська, 3, м. Харків, 61201*

Удосконалення технологій транспортних процесів і підвищення безпеки дорожнього руху сучасних міст є надзвичайно актуальною в умовах стрімкої урбанізації, зростання кількості автомобілів і високого навантаження на транспортну інфраструктуру [1–4].

1. Інтелектуальні транспортні системи (ІТС)

ІТС – це технології, які дозволяють оптимізувати управління транспортними потоками за допомогою збору та аналізу даних у реальному часі [2].

Приклади:

- Системи адаптивного керування світлофорами;
- Моніторинг заторів і перенаправлення руху;
- Електронні інформаційні табло;
- Smart-додатки для навігації з урахуванням пробок.

2. Розвиток громадського транспорту

Одне з ключових рішень для зменшення кількості приватного транспорту на дорогах.

Заходи:

- Впровадження швидкісного трамваю, BRT-систем;
- Пріоритетний рух громадського транспорту (виділені смуги);
- Електронні квитки та інтермодальні системи пересадки.

3. Безпечна інфраструктура [1; 3]

Фізичні зміни в міському середовищі, які зменшують ризик ДТП і підвищують комфорт пересування.

Приклади:

- Розділення потоків пішоходів, велосипедистів і автомобілів;
- Острівці безпеки на переходах;
- Підвищені пішохідні переходи;
- Заспокоєння руху (traffic calming): звуження вулиць, штучні перешкоди.

4. Електротранспорт і мікромобільність [2]

Зменшення викидів та зниження шумового навантаження в містах.

Тенденції:

- Електробуси, електровелосипеди, електросамокати;
- Пункти зарядки та паркування для електротранспорту;
- Регулювання спільного користування мікротранспортом (шеринг).

5. Відеонагляд і автоматизація контролю [4]

Застосування сучасних систем відеоспостереження для моніторингу та покращення дотримання правил дорожнього руху.

Зокрема:

- Автоматичні камери фіксації порушень;
- Аналітика дорожніх подій у реальному часі;
- Системи розпізнавання номерних знаків.

6. Освітні та соціальні ініціативи

Формування культури безпечної поведінки учасників дорожнього руху.

Приклади:

- Кампанії з підвищення обізнаності;
- Освітні програми в школах;
- Інформаційна підтримка реформ дорожньої політики.

7. Інтеграція містобудівної політики з транспортною

Планування нових районів з урахуванням потреб мобільності та безпеки.

Важливі елементи:

- Поліцентрична структура міста;
- Змішане зонування (житло + робота + послуги);
- Розвиток «міста для пішоходів».

Отже, комплексний підхід, який включає модернізацію інфраструктури, інтеграцію сучасних інформаційних технологій і підвищення кваліфікації водіїв, дозволяє створити більш ефективну та безпечну транспортну систему. Це сприятиме не лише зниженню аварійності, але й підвищенню якості життя мешканців міст та конкурентоспроможності країни в цілому.

Це узагальнення базується на сучасних дослідженнях і аналітичних записках, які підкреслюють важливість інноваційного підходу до вирішення проблем транспортних процесів та безпеки дорожнього руху.

1. Організація дорожнього руху / Бутко М. П. та ін. Київ : Арій, 2017. 352 с.
2. Забродський В. І. Транспортне планування та моделювання дорожнього руху. Львів : Видавництво ЛНУ, 2019. 270 с.
3. Козирев А. І., Коваль О. В. Безпека дорожнього руху. Київ : Ліра-К, 2020. 240 с.
4. ДСТУ ISO 39001:2019. Системи управління безпекою дорожнього руху.

UDC 629.4.021.6:621.43.073.8

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DETERMINING PARAMETERS OF THE HEAT LOAD OF FRICTION PAIRS OF VEHICLE BRAKE SYSTEMS

РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ
ТЕРТЬОВИХ ПАР ГАЛЬМІВНИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Sadriddin Azimov¹, Gulnora Yuldasheva², Feruza Azimova, Kholida Khujakhmedova

¹Tashkent State Transport University, 1, Adilkhodjaev str., Tashkent, Uzbekistan

In this paper, the influence of certain factors of hot climate conditions, in particular the combination of high temperature and high dust content of air on materials, equipment and technical and economic indicators of vehicles, is considered. The proposed method is quite universal, since it is based on the analysis of the patterns of processes characteristic of the braking mechanisms used. When braking devices are in operation, their friction pairs are subject to wear with different intensities. To study the cooling and heating of bodies, and representing a special form of non-stationary heat transfer, it was believed that it was necessary to distinguish some stages of heat loading of friction pairs of brakes. The heating and cooling of the brake drum was described by the Fourier differential equation of thermal conductivity. The thermal effect on the drum rim (not lower than 100°C or more) causes its thermal deformation, which, due to the low efficiency of natural cooling, acts for a longer period of time than mechanical ones. The given data on the heat load of the working parts of vehicle brakes make it possible to establish the influence of geometric (diameter, thickness and width of the rim of the brake drum, the installation gap between the friction pairs, the coefficient of mutual overlap of interacting pairs) and thermophysical coefficients, thermal conductivity and thermal conductivity of the materials of the drum rim and friction lining, parameters, their surface temperatures and accumulate a priori information on heat management.

Keywords: friction pairs, heat load, braking properties, vehicles, factors, braking systems, temperature.

In recent years, the fleet of vehicles capable of reaching high speeds has been continuously increasing. Improved quality of the road network has led to an increase in the average speed of traffic on the roads. At the same time, there is an ever-increasing intensity and density of traffic, especially on urban routes.

These factors increase the likelihood of accidents on the road, so the problem of increasing traffic safety, in particular, ensuring the braking properties of vehicles, is of particular relevance.

To successfully solve the assigned problems, the industry produces a large number of machines, but their designs in most cases are not adapted to operating conditions in hot climates. In this regard, it is of interest to assess the operating conditions of machines in a dry, hot climate zone.

It is known that the potential operational properties of vehicles are realized in specific operating conditions, and knowledge of the factors of operating conditions and the degree of their influence on the characteristics of vehicles makes it possible to purposefully manage the quality indicators of vehicles during its design and operation.

The more the design of a machine is adapted to the set of operating conditions for which it is intended, the more efficient it is.

Let us consider the influence of individual factors of hot climate conditions, in particular the combination of high temperature and high dust content in the air on materials, equipment and technical and economic indicators of vehicles.

In conditions of high temperatures and dusty ambient air, machine units are subjected to intense heating (up to 60–90°) and clogging with dust (2–4 g/m³). At the same time, in the cabin at noon the air temperature at the seat level reaches 50–60° C.

During high-speed processes of friction and wear in brake mechanisms, factors such as changes in the kinematic viscosity of the surface layers of materials and changes in the conditions of heat transfer from fast-moving heated elements of friction pairs into the environment become significant.

This approach to the problem of optimizing the power and thermal load of the brakes makes it possible to effectively control the deformations of the brake drum rim, the vibrations of the brake drum and pads, as well as the surface temperatures of the friction pairs of the brakes, while varying their design, thermophysical and strength parameters: the design patterns of the rims and the load of their violations surface, intensity of heat exchange and vibration of brake drums and pads, heat removal from their working surfaces depending on the heat release process.

The proposed methodology is quite universal, since it is based on an analysis of the patterns of processes characteristic of the brake mechanisms used.

To assess the power and thermal load of the brake mechanisms, the following formulas can be used.

By force load: deformation of brake drums

$$W_1 = \varphi_1(\sum K_{M0} : H_0 : \Pi_{M0} : T_{H0}), \quad (1)$$

$$W^1 = \varphi_2(W_1 : \sum K_{M\delta} : H_{\delta} : \Pi_{M\delta} : T_{M\delta}), \quad (2)$$

where $\sum K_{M0}$, $\sum K_{M\delta}$ – a set of design parameters of the cylindrical rim of the brake drum, shoes and mechanisms;

H_0 , H_{δ} – loads acting on the cylindrical rim of the brake drum and pads;

Π_{M0} , $\Pi_{M\delta}$ – brake drum cylindrical rim parameters;

$T_{M\delta}$, T_{H0} – parameters characterizing thermal changes in the cylindrical rim of the brake drum.

When brake devices operate, their friction pairs are subject to wear at varying rates. Thus, metal elements, working surfaces of the brake drum rim and running tracks of the bandage wear out on average 8–13 times slower than friction linings, working with him in pairs. To compensate for the resulting gap between the friction pairs of the brakes, mechanical and automatic gap adjusters are used in brake devices.

To study the cooling and heating of bodies, which represent a special form of unsteady heat exchange, it is necessary to distinguish the following stages of heat loading of friction pairs of brakes.

The first stage, in which the law of temperature change over time is exponential and short-term thermal equilibrium occurs (steady-state temperature range 50–250° C).

Second stage. Constant temperature heating at all points of the drum (250–450° C).

The third stage, which is characterized by an intense change in temperature (heating temperature - 450° C and above).

Let us determine the critical steady-state temperature of the metal element of the brake.

The average value of temperatures exceeding the permissible level with a minimum temperature gradient across the thickness of the rim or brake drum bandage. Magnitude (t_{Hy}) characterized by thermal equilibrium of the working surface of the linings and the metal element along the thickness of the open brake.

The heating and cooling of the brake drum is described by the Fourier differential equation of thermal conductivity.

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = \alpha_{0\delta} \left(\frac{d^2 T_2}{dx^2} + \frac{d^2 T_2}{dy^2} + \frac{d^2 T_2}{dz^2} \right), \quad (3)$$

a also initial $T_2 = f(x, y, z, t)$ and border

$$\alpha_1 (T_B - T_{B1}) = -\lambda_B \frac{dT_1}{dz} \quad (4)$$

conditions,

where $T_2 = f(x, y, z, t)$ – instantaneous temperature of the brake drum rim point, given by the current coefficients x, y, z and time (t) K.

$\alpha_{o\delta}$ – thermal diffusivity coefficient of the metal brake element material $m^2/sec.$,

T_{B1} – ambient temperature,

The general integral of the Fourier equation for the case $T_{B1} = const$ can be represented by an infinite series, the terms of which are exponential, rapidly decreasing functions of time.

$$T_{\delta} = T_N - T_B = A_1^{-1} U_1 e^{-m_1 r} + A_2^{-1} U_2 e^{-m_2 r} + A_3^{-1} U_3 e^{-m_3 r}, \quad (5)$$

where $T_{\delta} = T_t - T_B$ – excess temperature of the drum rim above the environment;

$A_1^{-1} A_2^{-1} A_3^{-1}$ – constants, determined from the condition of the drum rim above the environment; initial time ($t=0$). Functions of point coordinates $U_1 U_2 U_3$ systems characterizing the spatial distribution of temperature.

$m_1 m_2 m_3$ – constant positive increasing numbers characterize the rate of the process and depend on heat exchange conditions (α) physical properties of the drum rim ($\lambda_{\delta} \alpha_{o\delta} \gamma$) from the form (F^1) masses ($m_{o\delta, \delta}$) and its sizes.

In general

$$m_T = \psi \frac{F}{m_{o\delta, \delta}} \frac{\alpha_1}{c}, \quad (6)$$

where ψ – criterion for temperature unevenness at t_1 – exceeding a certain value t . Due to the rapid convergence of the terms of the series, the sum differs little from the first term and therefore can be accepted $T_{\delta} = A_1^{-1} U_1 e^{-m_1 r}$, where $z_1 > t$

Differentiating the equation 6 in time, we get

$$\frac{dT_{\delta}}{dt} = -m_T A_1^{-1} U_1 e^{-m_1 t}. \quad (7)$$

From Eqs. (3) and (5) follows that $\frac{dT_{\delta}}{dt} = -m_1 T_{\delta}$.

Number $m_t = \frac{1}{T_{\delta}} \frac{dT_{\delta}}{dt}$ characterizes the rate of cooling, since it represents a change in time of relative temperature (excessive over the environment) for any point, the rate of its change.

Taking the logarithm of equation 7, we get

$$\ln T_{\delta} = -m_T t + \ln A_1^{-1} U_1 = -m_T t + C_1, \quad (8)$$

whence it follows that when $T_{BT} = const$ the natural logarithm of the excess temperature above the environment varies as a function of time along a straight line having different slopes of the first and third stages of the process.

The heat load of the tire or rim of the brake drum changes in the indicated stages at different speeds. $\ln T_{\delta 1}, \ln T_{\delta 2}, \ln T_{\delta 3}, \ln T_{\delta 4}$ – values of the natural logarithm, in which $T_{\delta 1} = 323K, T_{\delta 2} = 523K, T_{\delta 3} = 673K$ и $T_{\delta 4} = 773K$.

The form of contact between the friction linings and the drum is influenced not only by the braking mode of the vehicle, but also by changes in their heat load. Thermal impact on the drum rim (at least $100^{\circ}C$ or more) causes its thermal deformation, which, due to the low efficiency of natural cooling, lasts for a longer period of time than mechanical cooling.

If the temperature of the working surface of the drum is higher than the temperature of the linings, then the linings are adjacent to the drum in the middle (sinusoidal load distribution law). The equalization of the surface temperatures of the linings and the drum occurs mainly in the middle of the braking process (long-term and single loading modes) and promotes the adhesion of friction pairs.

Thus, the presented data on the heat load of the working parts of vehicle brakes make it possible to establish the influence of geometric (diameter, thickness and width of the brake drum rim, installation gap between friction pairs, coefficient of mutual overlap of interacting pairs) and thermophysical coefficients of thermal diffusivity and thermal conductivity of the materials of the drum rim and friction lining, parameters and their surface temperatures, and to accumulate a priori information on heat generation control.

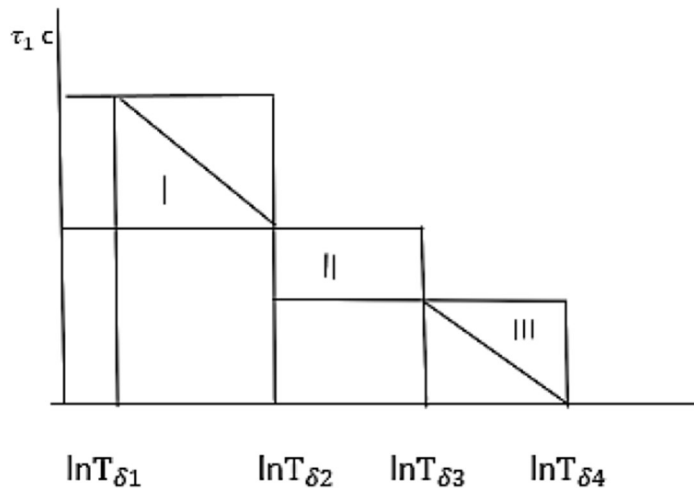


Figure. Dependence of the heating or cooling time of the brake drum rim on the value of the natural logarithm of the excess temperature above the environment.

Thus, the given data on the heat load of working parts of vehicle brakes make it possible to establish the influence of geometric (diameter, thickness and width of the brake drum rim, installation gap between friction pairs, coefficient of mutual overlap of interacting pairs) and thermophysical coefficients of thermal diffusivity and thermal conductivity of the materials of the drum rim and friction lining, parameters and their surface temperatures and accumulate a priori information on heat release control.

1. Otabek Toirov and Nodirjon Tursunov. Development of production technology of rolling stock cast parts. *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 264. 05013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126405013>.
2. Murot Turakulov, Nodirjon Tursunov and Salokhiddin Yunusov. Steeling of synthetic cast iron in induction crucible furnace taking into account consumption rate of carburizers. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 401. 05012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340105012>.
3. U. T. Rakhimov, N. K. Tursunov and S. E. Tursunov. Improvement of production technology for spheroidal graphite cast iron with increased strength. *AIP Conf. Proc.* 2024. Vol. 3045. 060024. <https://doi.org/10.1063/5.0197475>.
4. Tursunov N. K., Semin A. E., Sanokulov E. A. Study of dephosphoration and desulphurization processes in the smelting of 20GL steel in the induction crucible furnace with consequent ladle treatment using rare earth metals. *Chernyye Metally*. 2017. No. 1. Pp. 33–40.
5. Otabek Toirov, Nodirjon Tursunov, Shavkat Alimukhamedov, and Lochinbek Kuchkorov. Improvement of the out-of-furnace steel treatment technology for improving its mechanical properties. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 365. 05002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202336505002>.
6. Lochinbek Kuchkorov, Shavkat Alimukhamedov, Nodirjon Tursunov, and Otabek Toirov. Effect of different additives on the physical and mechanical properties of liquid-glass core mixtures. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 365. 05009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202336505009>

7. Otabek Toirov and Nodirjon Tursunov. Using a cooling hole to improve the performance of transport brakes. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 401. 05018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340105018>
8. Riskulov, A., Ibodullaev, A., Nurmetov, K., & Khojakhmedova, K. Improving the bitumen properties with the introduction of energy-saving additives. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 401. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340>
9. S. Mamaev, A. Anna, S. Tursunov, D. Nigmatova, and T. Tursunov. Mathematical modeling of torsional vibrations of the wheel-motor unit of mains diesel locomotive UZTE16M. *E3S Web of Conferences*. 2023. doi: 10.1051/e3sconf/202340105014.
10. Azimov S., Toirov O., Xalmurzayev B., Tursunov S., & Khujakhmedova K. (). Using a cooling hole to improve the performance of transport brakes. *AIP Conference Proceedings*. 2024. Vol. 3045(1). <https://doi.org/10.1063/5.0197365>
11. Tokhir Tursunov, Nodirjon Tursunov and Talgat Urazbayev. Investigation of heat exchange processes in the lining of induction furnaces. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 401. 05029. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340105029>.
12. Murot Turakulov, Nodirjon Tursunov and Salokhiddin Yunusov. New concept of cast iron melting technology in induction crucible furnace. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 401. 01060. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340101060>.
13. Otabek Toirov and Nodirjon Tursunov. Efficiency of using heat-insulating mixtures to reduce defects of critical parts. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 401. 05018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340105018>.
14. Dilmira Valieva, Salokhiddin Yunusov and Nodirjon Tursunov. Study of the operational properties of the bolster of a freight car bogie. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 401. 05017. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340105017>.
15. Lochinbek Kuchkorov, Nodirjon Tursunov and Anna Avdeeva. Improving physical and mechanical properties of bentonite clay from Navbahar clay deposit. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 401. 05020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340105020>.
16. Uchkun Rakhimov and Nodirjon Tursunov. Development of technology for high-strength cast iron for manufacturing D49 head of cylinder. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 401. 05013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340105013>.
17. Talgat Urazbayev, Nodirjon Tursunov and Tokhir Tursunov. Steel modification modes for improving the cast parts quality of the rolling stock couplers. *AIP Conf. Proc.* 2024. Vol. 3045. 060015. <https://doi.org/10.1063/5.0197361>.
18. S. R. Seydametov, N. K. Tursunov, S. P. Alimukhamedov. Development of out-of-furnace steel treatment technology for the manufacture of railroad transport parts. *AIP Conf. Proc.* 2024. Vol. 3045. 060022. <https://doi.org/10.1063/5.0197429>.
19. Alimov M., Riskulov A., Nurmetov K. (). Choosing of rational periodicity of engine crankcase oil changing taking into account energy-saving properties of oils. *E3S Web of Conferences. EDP Sciences*. 2023. Vol. 401. DOI: 10.1051/e3sconf/202340105021.

UDK 621.833:546.5

THE USE OF NANOMATERIALS FOR THE RESTORATION OF SLIDING BEARINGS

ВИКОРИСТАННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ

¹*Khudjakhmedova Kh. S., Senior Lecturer, Azimov S. J., Senior Lecturer,*
²*Pochuzhevskiy O. D. Ph.D., Associate Professor*

¹*Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan,*
²*Kyryvi Rih National University, Kyryvi Rih, Ukraine*

The article reveals the relevance of using modern nanomaterials and nanotechnologies in the production, operation and restoration of components of machines subjected to intense friction – bearings. Nanotechnologies of coating application are considered, nanomaterials that give unique properties to treated surfaces are given.

Keywords: *nanotechnology, sliding bearings, nanomaterials, restoration of machine parts*

The main factor that determines the reliability and durability of various mechanisms (including engines) is the wear of the bearing surfaces in contact with each other. This fact significantly affects the duration of operation and the calculated resource of the components of the mechanisms.

In order to reduce the amount of abrasion, stabilize the friction conditions and prevent intensive wear of bearings, the use of various lubricants is envisaged. In most cases, the required effect is insufficient. This is due to the fact that operation involves heating the products, which leads to the leakage of lubricants or squeezing them out of the contact area of the surfaces. Thus, there is a lack of lubrication at the friction points. It should be noted that the deterioration of the operational and physico-chemical properties of lubricants occurs much earlier than the time of the next maintenance of the mechanism [1].

In the future, during repair work, several methods are traditionally used to restore wear on rolling bearings using additional metals and alloys (surfacing, contact welding, applying an electrolytic coating, and performing electromechanical processing). The above methods have certain disadvantages: a complex technological process, the requirement of expensive technological equipment, the need for subsequent machining of the surface to be repaired, high labor intensity of work and often high financial costs. Also, the restoration does not exclude the main cause of rolling bearing wear.

Today, in order to increase the service life of a product and accelerate its recovery, it is more expedient to use products of a rapidly developing field in applied and fundamental science – nanotechnology, nanosystems and nanomaterials.

There are several technologies for applying a protective coating in the friction points of sliding bearings. Most of the world's leading manufacturers have adopted the vacuum-arc method for applying nanocoating. The upper shell is formed by a highly ionized plasma coating (formed due to a powerful electric discharge on a metal cathode).

Technologies are widely implemented and installations for magnetron deposition of nanocoats in a special environment (highly ionized magnetized plasma). This helps to create a biological coating for bearings that are used in conditions of low lubrication and high temperatures. The coating is applied in a vacuum environment using automated installations, which ensure a stable repetition of the high characteristics of the applied coating. The formation of ionized plasma occurs due to the constant attack of argon ions on a metal target. The coating on the product is based on the atomic level, eliminating the appearance of microscopic droplets. Thanks to this technology, a

multifunctional multiphase nanocomposite coating is obtained, which protects and strengthens the surface of the product, eliminates corrosion and significantly reduces friction [2].

The detonation method of applying nanopowders was developed which increases the operational life of centrifugal pumps and sliding bearings. The coating is sprayed with a special gun [3]. Sprayable powder is used in the form of granules, the size of which does not exceed 60 microns. The spraying process makes it possible to obtain a nanostructured coating, which contains 62 percent monocarbide. The coating was tested for possible wear and friction in an aqueous environment. The results show a reduced coefficient of friction, high-load operation without jamming, which could not be achieved with traditional ceramic powder coating.

The composite nanodiamond coating, which is applied using electrolytes, is also interesting. This technology makes it possible to achieve a coating that has high thermal conductivity, increased wear resistance and a low coefficient of friction. It is possible to apply a nanodiamond coating on any tool, carbon, die, structural steel, aluminum and cast iron. The effective use of a nanodiamond coating is practiced in assemblies and parts that are subjected to intense loads and wear (bearings, rods).

The direction of restoring bearing surfaces by applying a galvanocomposite coating is promising. Ceramic nanopowders are added to electrolytes. The improved structure of composite electrodeposable materials makes it possible to achieve increased hardness, high wear resistance and corrosion protection. Composite materials with nanocomponent elements have a microhardness that is up to 1.9 times higher than the hardness of a metal product. A significant increase in hardness is achieved by increasing the density when nanoparticles are incorporated into the structure of the friction surfaces of the parts.

Thus, the above technologies for strengthening, increasing wear resistance and reducing friction of bearing surfaces not only contribute to increasing the service life of machine components, but also make it possible to restore friction points on parts and shafts of any size with maximum efficiency. With the use of promising nanotechnologies in the restoration of bearings, it is possible to achieve significant cost reductions during their operation and increase the reliability of the equipment used.

1. Wong H. M., Liu C. H. Application of nanotechnology in improving the durability and performance of automotive components. *Journal of Materials Science & Technology*. 2017. Vol. 33(3). P. 225–234. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2016.05.011>

2. Kumar R., Prakash R. Design and development of vacuum deposition systems for nanocomposite coatings. *Vacuum*. 2019. Vol. 164. P. 398–407. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2019.03.014>

3. Fauchais P., Montavon G., Vardelle A. Thermal spray coating processes: a review. *Surface and Coatings Technology*. 2010. Vol. 201(5). P. 670–690. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.06.027>

УДК 621.326

ANALYSIS OF METHODS FOR IMPROVING ENGINE PERFORMANCE BY ADDING WATER TO THE COMBUSTION CHAMBER

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОКРАЩАННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ДВИГУНА ШЛЯХОМ ДОДАВАННЯ ВОДИ В КАМЕРУ ЗГОРАННЯ

Базар Євген

*Відокремлений структурний підрозділ «Тернопільський фаховий коледж
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя»
вул. Л. Курбаса, 13, м. Тернопіль, 46016*

Механізм дії води на робочий процес двигунів внутрішнього згорання вивчений не повністю, але вважається, що при додаванні води підвищується октанове число палива, завдяки чому зростає потужність і поліпшується економічність роботи двигуна. Ця дія зумовлюється в основному трьома чинниками:

- охолодженням робочої суміші;
- охолодженням деталей камери згорання;
- дією водяної пари як інертного середовища, що регулює процес згорання суміші.

Деякі фахівці вважають, що вода є не тільки каталізатором, а й безпосередньо бере участь у процесі горіння суміші. Допускають, що при високих температурах і тисках, що є у камері згорання під час роботи двигуна, вода розкладається на водень H_2 і кисень O_2 , які тут же вступають в реакцію, утворюючи воду H_2O і виділяючи додаткову кількість теплоти, чим і пояснюється збільшення потужності двигуна. Також є припущення, що вода в рідкому стані, попадаючи в умови високої температури, що є в циліндрі, значно збільшує свій об'єм, що викликає деяке підвищення середнього індикаторного тиску [1].

Іншою важливою обставиною, яка робить використання води в якості присадки до паливно-повітряної суміші дуже привабливою – зниження токсичності відпрацьованих газів. Зниження емісії шкідливих речовин обумовлено впливом води в першу чергу на хімічні реакції горіння. Процес утворення NO і CO в присутності парів води може значно зменшуватись через пониження температури в камері згорання.

Вода може подаватися в циліндри або у впускну систему двигуна у вигляді водобензинової емульсії (ВБЕ), приготовленої раніше. У дизелях можна також використовувати обводнене дизельне паливо – водопаливну емульсію (ВПЕ), що характеризується вищою фізичною стабільністю, ніж ВБЕ. Додання води до палива потребує встановлення на двигуні додаткової системи живлення або створення стабільних водопаливних емульсій, які дадуть змогу зменшити використання стабілізаторів, що також дорого коштують. Практика показує, що при роботі двигуна на ВБЕ з вмістом 10–30% води питома витрата бензину знижується на 12–22% при повних навантаженнях і на 7–10% – при середніх. Крім того, приблизно у 2–6 разів знижується вміст оксиду вуглецю у відпрацьованих газах двигуна. В разі використання в дизелях ВПЕ питому витрату палива можна знизити на 2–6%. Димність відпрацьованих газів при цьому зменшується завдяки впливу водяних парів на процес газифікації вуглецю (сажі) [2].

Аналіз літературних джерел показує, що при формуванні паливно-повітряної суміші більш доцільним все ж таки є використання води не у вигляді паливно-водної емульсії, а в чистому вигляді з подальшим пароутворенням всередині циліндра двигуна. Відомий пристрій для подачі води в двигун внутрішнього згорання, який має закріплений на автомобілі бак з чистою водою 1, з якого крізь фільтр 2 та трубопровід 3 за допомогою розрідження у

впускному колекторі вода потрапляє у електромагнітний клапан з жиклером 5 (підійде клапан ЕПХ карбюратора), розпилюється і разом з повітрям і паливом попадає у впускний колектор 4, звідки втягується в циліндри двигуна (рис. 1).

Така система в різноманітних варіантах використовувалась і при лабораторних дослідженнях і автолюбителями при тюнінгу двигунів. Досвідчені автомобілісти одноставно стверджують, що детонація не спостерігалась навіть при використанні низькооктанового бензину, розхід палива зменшувався, навіть після декількох років експлуатації двигуна з упорскуванням води його циліндри виглядали зовсім як нові [3].

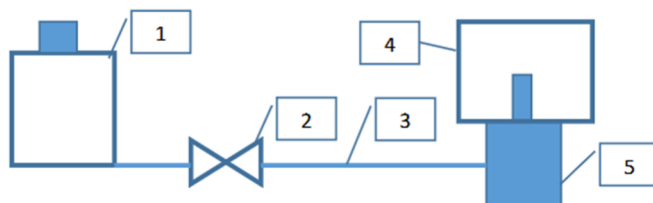


Рис. 1. Пристрій для подачі води в ДВЗ:

1 – бак, 2 – фільтр, 3 – трубопровід, 4 – впускний колектор двигуна, 5 – електромагнітний клапан

Ідея упорскування води не нова й майже сто років. У 1930-х роках для військових потреб Гаррі Рікардо удосконалив авіаційний двигун Rolls-Royce Merlin, в результаті чого зміг домогтися придушення детонації за рахунок упорскування води. Якщо говорити про серійних автомобілях, то модель Oldsmobile F85 Jetfire, що зійшла з конвеєра в 62-му році минулого століття, отримала заводську установку упорскування води. Ще один серійний автомобіль з форсуванням двигуна подібним чином – Saab 99 Turbo, випущений в 1967-му році. Популярність даної системи зросла за рахунок застосування в 1980–1990рр. в спортивних автомобілях. Так, в 1983-му році компанія Renault оснащує свої боліди Formula1 баком, в якому встановлювався електронасос, контролер тиску і потрібна кількість форсунок. У 2015-му році про уприскуванням води знову стали з'являтися новини. Так, новий автомобіль безпеки для змагань MotoGP, розроблений компанією BMW, отримав класичний комплект, що забезпечував розпилення води [4].

Багато публікацій про впорскування води для покращання характеристик двигуна зроблено в останні роки дослідниками закордонних наукових установ [5–7].

Зокрема в статті ряду авторів з Уханьського технологічного університету, Китай; приводить результати проведених дослідів, котрі показали, що в результаті впорскування води спостерігається:

1. Зменшення температури згоряння: Вода, що випаровується у камері згоряння, поглинає частину тепла, що знижує пікову температуру згоряння.

2. Скорочення викидів оксидів азоту (NO_x): Завдяки нижчій температурі згоряння зменшується утворення оксидів азоту, які утворюються при високотемпературних реакціях між азотом і киснем.

3. Покращення термічної ефективності двигуна: Хоча водяне впорскування дещо знижує тиск у камері, оптимальне дозування дозволяє покращити ефективність циклу через зменшення теплових втрат.

4. Можливість підвищення ступеня стиснення: Завдяки охолоджувальному ефекту вода дозволяє уникнути детонації при вищому ступені стиснення, що покращує загальну ефективність двигуна.

5. Вплив на паливну економічність: У деяких умовах водяне впорскування може зменшити витрати палива, хоча ефект залежить від конструкції двигуна та режиму роботи [8].

На сьогодні на авторинку пропонуються комплекти впорскування води для як для бензинових, так і для дизельних двигунів. Такі системи виготовляються в заводських умовах і є більш досконалішими. Якщо брати заводський варіант, то установка буде мати спеціальний насос, який керується електронікою. В системі буде присутній один або кілька датчиків, які допомагають визначити момент і кількість води, що розпилюється. Однією з таких розробок є система Ecomax – система економії палива побудована на базі сучасних технологій з

використанням мікро ЕОМ що являє собою закінчений пристрій, який встановлюється на автомобіль (рис. 2).

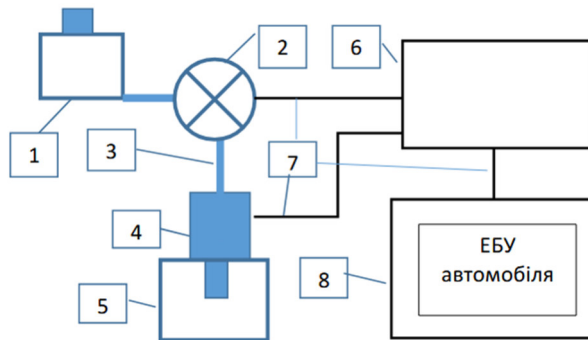


Рис. 2. Пристрій для подачі води в ДВЗ:

1 – бак, 2 – насос, 3 – трубопровід, 4 – електромагнітна форсунка для води,
5 – впускний колектор двигуна, 6 – мікро ЕОМ пристрою, 7 – електропроводи,
8 – електронний блок керування двигуном (автомобіля)

З ємності вода надходить на насос з фільтром, потім, під тиском – на інжекційну форсунку. Форсунка встановлюється на впускному колекторі таким чином, щоб створити дрібнодисперсну суміш води і повітря. Насос і форсунка отримують керуючі сигнали з блоку управління, мозком якого є мікро ЕОМ. Мікро ЕОМ розраховує порцію води індивідуально для кожного такту двигуна. Мікро ЕОМ оперує математичними виразами, в які підставляються значення, отримані від датчиків і значення, які були закладені в пам'ять при налагодженні системи.

Використання мікро ЕОМ робить систему водного інжектора простою в експлуатації і дозволяє досягти максимальної ефективності. Так само, застосування мікро ЕОМ дозволяє точно розраховувати і дозувати необхідну кількість води, палива, яке залежить від режимів роботи двигуна, його температури, частоти обертання колінчастого вала, положення дросельної заслінки та інших факторів [9].

1. Термоліз. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_decomposition?utm_source=chatgpt.com; (дата звернення: 10.03.2025).

2. URL: http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/2101/1/Конспект_лекцій.pdf; (дата звернення: 10.03.2025).

3. Любарський В. В. Підвищення паливної економічності універсально-просапного трактора з використанням водо-повітряної суміші в двигуні. Вінниця, ВНАУ. URL: <http://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/22522.pdf>; (дата звернення: 10.03.2025).

4. Впорскування води в двигун автомобіля. URL: <https://uk.avtotachki.com/chto-takoe-sistema-vpryska-vody-avtomobilya/>; (дата звернення: 10.03.2025).

5. Sipeng Zhu, Bo Hu, Sam Akehurst, Colin Copeland. A review of water injection applied on the internal combustion engine. *Energy Conversion and Management*. 2019. Vol. 184(1A). P. 39–158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2019.01.042>;

6. Ankit A Raut, J. M. Mallikarjuna. Effects of direct water injection and injector configurations on performance and emission characteristics of a gasoline direct injection engine: A computational fluid dynamics analysis. *International Journal of Engine Research*. 2019. Vol. 21, Issue 8. <https://doi.org/10.1177/1468087419890418>;

7. Jonathon Lindfors. Impact of water ingestion on combustion performance in a spark ignited internal combustion engine. Michigan Technological University. 2020. URL: <https://digitalcommons.mtu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2272&context=etdr>; (дата звернення: 10.03.2025).

8. Sebastian Welscher, Mohammad Hossein Moradi, Thomas Koch. A comprehensive evaluation of water injection in the diesel engine. *International Journal of Engine Research*. 2021. Vol. 24, Issue 1. <https://doi.org/10.1177/14680874211044297>;

9. Система вприскування води в двигун Ecomax – 2, 3. URL: <https://sdsauto.com/uk/ecomax.html>. (дата звернення: 10.03.2025).

УДК 621.436

THE POSSIBILITY OF USING LEVER-CAM MECHANISMS TO IMPLEMENT VARIABLE WORKING PROCESSES IN AUTOMOBILE ENGINES

МОЖЛИВІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ВАЖІЛЬНО-КУЛАЧКОВИХ МЕХАНІЗМІВ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗМІННИХ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ В АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНАХ

Єлістратов Вячеслав, к.т.н., доц., Миленський Кирило, студ., Сидоренко Артем, студ.

*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Університетська, 20, Кременчук, Україна, 39600*

Abstract. An analysis of works devoted to the synthesis of lever-cam mechanisms is presented. It is shown that for the implementation of variable working processes of diesel engines of cars it is possible to use lever-cam mechanisms, which allow to implement several operating modes dictated by changes in external conditions. The conditions for the synthesis of these mechanisms are presented.

Провідною галуззю сучасної розвинутої промисловості країни є машинобудування [1], зокрема автомобіле- та двигунобудування. Рівень розвитку машинобудування визначається створенням нових високопродуктивних та надійних машин. Вирішення цієї найважливішої задачі ґрунтується на використанні результатів наукових досліджень з теорії механізмів та машин. Якість створюваних машин та механізмів значною мірою визначається повнотою розробки та використання методів теорії механізмів та машин.

У машинах загалом і в автомобілях та їх двигунах зокрема застосовуються найрізноманітніші механізми. Найбільшого поширення набули механізми, що призначені для перетворення рівномірного обертального руху на періодичний реверсивний або нерівномірний обертальний рух виконавчих органів.

Найбільшого застосування для організації вказаних рухів отримали кулачкові, важільні та кулачково-важільні виконавчі механізми [2]. Насамперед це багатоланкові кулачково-важільні механізми, що викликані віддаленням виконавчого органу від розподільчого валу автомобільного двигуна, вимогою узгодженої роботи всіх виконавчих механізмів, забезпеченням вистоїв кінцевої тривалості.

Кожен із виконавчих механізмів машин і їх двигунів виконує закінчену частину машинного робочого процесу, який може якісно та кількісно змінюватися. Для реалізації вказаних процесів можливе використання механізмів, що самостійно налаштовуються, де закони руху робочих органів автоматично змінюються при зміні робочого процесу так, що умови його виконання стають найоптимальнішими. В указаних механізмах ці вимоги задовольняються шляхом автоматичної зміни одного або декількох параметрів, що визначають схему механізму. Крім того, зміна машинного робочого процесу може здійснюватися в досить обмежених рамках, які визначається кількістю певних заданих режимів роботи.

Для реалізації вказаних машинних робочих процесів при застосуванні важільно-кулачкових механізмів, виконаних на базі шарнірно-важільного ланцюга з двома ступенями рухливості і нерухомого кулачка, з яким через ролик кінематично замкнута одна з шарнірних ланок, зміна режимів роботи як якісно, так і кількісно, що необхідна, здійснюється простою зміною положення нерухомого кулачка.

Питанням проектування кулачкових механізмів приділено велику увагу в працях І.І. Артоболевського, С.І. Артоболевського, В.Я. Білецького та інших вчених [3; 4]. В їх роботах проведено глибокий аналіз законів руху вихідної ланки кулачкових механізмів з метою вивчення їх властивостей та найбільш раціонального вибору залежно від конкретних умов роботи механізму. З умови мінімізації пікових значень швидкостей, прискорень та

кінетичної потужності розроблено методи синтезу законів руху. З умови віддалення від заклинювання механізму, самоперетину профілю кулачка вибираються основні розміри кулачкових механізмів. Створено методи проектування кулачкових механізмів за умови рівномірності всіх деталей, за міцносними критеріями з урахуванням циклових ККД та умов сусідства ланок механізму. Розроблений аналітичний метод синтезу кулачково-важільних механізмів за заданим законом руху виконавчого органу [4].

Із наведеного аналізу праць, присвячених питанням синтезу важільно-кулачкових механізмів, можна дійти висновку, що для реалізації змінних робочих процесів можливе застосування важільно-кулачкових механізмів, які дозволяють реалізувати кілька режимів роботи машини чи її двигуна, що диктуються заданими змінами зовнішніх умов.

Розглянемо схему важільно-кулачкового механізму ABCD, наведеного на рисунку, з вхідною (ведучою) ланкою AB, вихідною (веденою) ланкою AD і роликком 1, що котиться по кулачку 2. Важільно-кулачкові механізми цього виду реалізують тип руху робочих органів – нерівний обертальний рух вихідної ланки AD.

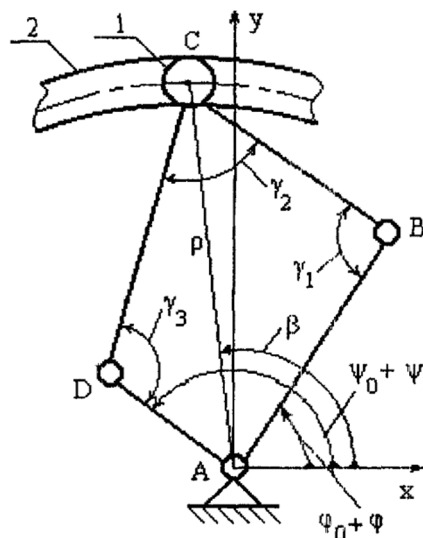


Рисунок. Схема важільно-кулачкового механізму

Задача синтезу наведеного важільно-кулачкового механізму полягає у визначенні оптимальних характеристик шарнірно-важільного ланцюга ABCD та профілю нерухомого кулачка 2, з урахуванням обмежень за допустимими кутами передачі зусиль γ , мінімальним радіусом кривизни кулачка 2, мінімізацією контактних напруг у вищій кінематичній парі та інше.

Вихідними параметрами синтезу даного механізму є закон руху вхідної ланки AB (закон зміни кута φ) і закон нерівномірного обертального руху вихідної ланки AD (закон зміни кута ψ). Причому закон нерівномірного руху вихідної ланки AD досягається відповідною формою профілю кулачка 2.

Для синтезу таких механізмів вихідними умовами можна вибрати:

а) найбільше навантаження вихідної ланки AD силами корисного опору чи моментом сил корисного опору, які мають найбільші значення. При цьому необхідно виконати шарнірно-важільний ланцюг ABCD так, щоб у період докладання сили або моменту корисного опору передача руху від вхідної ланки AB до вихідної ланки AD (робочого органу) здійснювалася при відносному русі шатунів BC і CD у межах кута γ передачі зусиль між ними;

б) максимальний інтервал руху вихідної ланки AD. При цьому вихідними умовами можуть бути прийняті ті самі умови, як і наведені в пункті а.

Центровий профіль кулачка 2, а саме його радіус-вектор ρ , отримаємо як необхідну траєкторію руху точки C, що контактує через ролик 1 з нерухомим кулачком 2.

Варіантність складання шарнірно-важільного ланцюга ABCD, варіантність положень шатунів BC і CD у механізмі дозволяє отримати оптимальні параметри кулачка 2 з урахуванням обмежень на мінімальне значення радіуса кривизни, мінімізації контактних напруг у вищій кінематичній парі, а також інших обмежень.

Кінематичний аналіз важільно-кулачкової передачі можна виконати на основі методу обернення руху за опорної (нерухомої) ланки АВ. Вихідними умовами для визначення параметрів шарнірно-важільного ланцюга ABCD механізму є кути повороту вихідної ланки CD, значення кута тиску, що допускається, та інше.

Реалізація наведеними механізмами нерівномірного обертального руху вихідної ланки за заданим законом при рівномірному русі вхідної ланки дає можливість використовувати даний тип механізмів, як перетворювачів для організації регульованого нерівномірного обертання кулачкового валу паливного насоса високого тиску дизеля [5], що дозволить поліпшити характеристики впорскування палива на часткових швидкісних режимах його роботи.

Але в той же час це потребує встановлення додаткового пристрою між приводом валу паливного насоса від дизеля до кулачкового валу паливного насоса високого тиску [6]. Тобто. необхідний додатковий простір для розміщення цього пристрою. Зазначений недолік можна вирішити заміною звичайного приводу валу паливного насоса високого тиску дизеля пристроєм на основі важільно-кулачкових механізмів.

1. E. Y. Tereshchenko, I. A. Koryagina, M. N. Rudenko and Z. A. Kevorkova, V. A. Yelistratov. Methodological Basis of Business Value Estimation. *International Journal of Applied Business and Economic Research*. 2017. № 11. P. 11–18.

2. Korol S. O., Moroz M. M., Korol S. S., Yelistratov V. O., Moroz O. V. Development of a Moderator of the Pump Controlled Drive for the Engine. *International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*. Kremenichuk, 2019. P. 30–33.

3. Білецький В. Я. Розрахунок механізмів машин-автоматів харчових виробництв. Київ : Вища школа, 1998. 227 с.

4. Лебедєв П. А. Аналітичний синтез кулачково-важільних механізмів за заданим законом руху веденої ланки. *Теорія механізмів і машин*. Харків, 1984. Вип. 16. С. 52–57.

5. Король С. О., Григор'єв О. Л. Основні принципи організації регульованого нерівномірного обертання кулачкового вала паливного насоса дизеля. *Вісник Харківського державного політехнічного університету*. Харків, 1998. Вип. 23. С. 13–22.

6. Король С. О., Григор'єв О. Л. Важільно-кулачковий привод вала паливного насоса дизеля. *Вісник Харківського державного політехнічного університету*. Харків, 1998. Вип. 23. С. 3–12.

УДК 621.43.068

DIAGNOSTICS OF ELECTROMAGNETIC INJECTORS OF GASOLINE INTERNAL COMBUSTION ENGINES

ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ФОРСУНОК БЕНЗИНОВИХ ДВЗ

Морозюк Сергій, Рижий Олександр

*Національний університет водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

Сучасні бензинові двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) широко використовують системи розподіленого упорскування палива з електронним управлінням. Ключовим елементом цих систем є електромагнітні форсунки (ЕМФ), що забезпечують точне дозування і якісне розпилення пального. У процесі експлуатації відбувається їх забруднення, що призводить до погіршення характеристик двигуна: зниження потужності, зростання витрати пального, погіршення екологічних показників.

Забруднення форсунок спричинюється утворенням смолистих відкладень, пов'язаних з окисленням ненасичених вуглеводнів у бензині. До факторів, що сприяють цьому, належать:

- низька якість палива;
- тривале зберігання бензину;
- високі температури впускного тракту;
- відсутність або неефективність фільтрації.

Відкладення порушують геометрію розпилення палива та зменшують пропускну здатність форсунок. Основні елементи, що зазнають впливу: сітка фільтра, магнітний ярір, розпилювач, ущільнювальні кільця.

Для визначення можливих причин відмови електромагнітних форсунок (рисунок) необхідно розглянути порушення працездатності їх окремих елементів (таблиця).

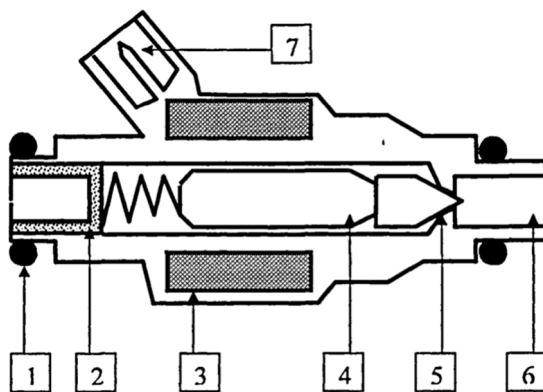


Рисунок. Елементи електромагнітного сопла:

1 – кільце ущільнювача; 2 – фільтруюча сітка; 3 – обмотка електромагніту; 4 – магнітний ярір;
5 – голчастий клапан; 6 – пульверизатор; 7 – електричний роз'єм

Діагностика ЕМФ має важливе значення для підтримки ефективної роботи двигуна. Існуючі методи поділяються на стендові та експрес-методи.

Стендова діагностика:

- Вимагає демонтажу ЕМФ;
- Забезпечує точні вимірювання пропускну здатності та якості розпилю;
- Потребує дорогого обладнання та багато часу.

Таблиця

Можливі відмови елементів електромагнітного сопла

Елемент електромагнітної форсунки	Вимоги до збереження працездатності	Можливі причини
Кільце ущільнювача в рампі	Герметичність з'єднання форсунки–рампи	Витік палива через з'єднання
Кільце ущільнювача у впускному колекторі	Герметичність з'єднання форсунка–колектор	Потрапляння повітря через з'єднання
Сітка фільтра	Очистка палива від механічних домішок	Зменшення кількості палива, через забруднення сітки
Обмотка електромагніта	Відсутність обривів і замикань ($R=15,5\pm0,5$ Ом)	Припинення подачі палива
Магнітний якір	Вирівнювання та необхідний зазор.	Переривання подачі палива, необмежена подача палива
Голчастий клапан	Статична продуктивність при тиску $P_t = 0,3$ МПа, напруга живлення ЕМФ $U_{ж} = 13$ В. $Q=207 - 212$ см ³ /хв	Зниження статичної продуктивності
Розпилювач	Формування конуса розпилюваного палива під кутом 30°	Погіршення якості розпилення палива
Електричний роз'єм	Надійний електричний контакт	Окислення контактів роз'єму, припинення подачі палива

Експрес-методи (без демонтажу):

- Вимірювання падіння тиску в системі при відкритті ЕМФ;
- Потребують точного обладнання (вартість – до 850\$);
- Не дозволяють оцінити якість розпилу.

Актуальною задачею є створення доступного методу діагностики, який би враховував як зменшення подачі пального, так і порушення розпилу, не потребуючи демонтажу форсунок.

Очищення форсунок – обов'язкова процедура для продовження ресурсу та відновлення працездатності. Існують кілька методів:

Без зняття з двигуна:

- Додатки до пального: простий метод, ефективний лише при слабкому забрудненні.
- Очищення сольвентом без циркуляції: працює за рахунок створення тиску компресором.
- Сольвент із циркуляцією: високотехнологічний метод для СТО з великим обсягом робіт.

Зі зняттям з двигуна:

- Ручне очищення: дешевий, але трудомісткий метод.
- Очищення на промивному стенді: дозволяє перевірити параметри до і після очищення, але потребує дорогого обладнання.

У якості критерія оцінки забрудненості форсунок пропонується використовувати показника $K_{ПЗ}$, що відображає ступінь зниження пропускну здатності форсунки у відсотках:

$$K_{ПЗ} = \frac{Q_4 - Q_3}{Q_4} \cdot 100\%,$$

де $Q_{\text{ч}}$ – продуктивність чистої форсунки, мл/сек,

$Q_{\text{з}}$ – продуктивність забрудненої форсунки, мл/сек.

Також пропонується враховувати показник $K_{\text{р}}$, який оцінює якість розпилення.

$K_{\text{р}}$ – показник, що враховує погіршення якості розпилювання палива ЕМФ. Може змінюватись від 0 до 100%. 0% – відповідає якості розпилювання палива справної чистої ЕМФ, а 100% відповідає відсутності будь-якого розпилювання (подача палива струменем).

У процесі експлуатації автомобіля ці показники обов'язково зростатимуть внаслідок появи забруднень на елементах ЕМФ. Теоретично можлива поява таких забруднень, які спричинять тільки зменшення пропускної спроможності ЕМФ і не вплинуть на якість розпилювання палива (тобто $K_{\text{пз}} \neq 0$, $K_{\text{р}} = 0$) або навпаки – які викличуть лише погіршення якості розпилювання палива і не викличуть зменшення пропускної спроможності ЕМФ (тобто $K_{\text{пз}} = 0$, $K_{\text{р}} \neq 0$). Однак на практиці таке практично не зустрічається. Ці два наслідки появи забруднень на елементах ЕМФ як правило, виявляються разом і відбувається одночасне зменшення пропускної спроможності ЕМФ та погіршення якості розпилювання.

Показник $K_{\text{пз}}$ визначається досить просто шляхом визначення пропускної спроможності ЕМФ, а показник $K_{\text{р}}$ визначити проблематично. Тому пропонується, враховуючи постійність співвідношення між цими показниками, оцінювати забрудненість ЕМФ тільки за допомогою показника $K_{\text{пз}}$.

Показник $K_{\text{пз}}$ можна виразити функцією від пробігу автомобіля

$$K_{\text{пз}} = f(L) = aL^2 + bL + c ,$$

де a, b, c – коефіцієнти;

L – пробіг автомобіля, тис. км.

Висновки

1. Забруднення ЕМФ істотно впливає на ефективність роботи бензинових двигунів.
2. Існуючі методи діагностики мають обмеження щодо точності або вартості.
3. Розроблено узагальнений показник $K_{\text{пз}}$ для діагностики забрудненості без демонтажу.
4. Для очищення ЕМФ слід обирати метод, виходячи з умов СТО, ступеня забруднення та вартості обладнання.

1. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія : підручник. Київ : Вища школа, 2007. 527 с.

2. Основи діагностики автомобіля: навчально-методичний посібник до практичних та самостійних робіт студентів вищих навчальних закладів України / укладачі: Люлька В. С., Коньок М. М., Перинський Ю. Є., Клімов О. М. Чернігів : ЧНПУ імені Т.Г. Шевченка, 2013. 188 с.

3. Чайка В. Діагностичний сканер X-431 Master. *Автомайстерня сучасна*. 2009. № 7–8. С. 17.

4. Ковалевский А. Діагностика двигуна – оснащення поста діагностики. *Сучасна автомайстерня*. 2005. № 3. С. 28.

5. Постолюк В. USB-осцилограф. Діагностика і ремонт систем впорскування палива. *Сучасна автомайстерня*. 2005. № 1. С. 30–31.

USE OF ULTRASOUND CLEANING IN REPAIR PRODUCTION

ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ОЧИЩЕННЯ В РЕМОНТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Пікула Микола

*Національний університет водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

У технологічному процесі ремонтного виробництва операція очищення є найчастіше повторюваною. Якість її виконання підвищує якість ремонту, адже залежність між якістю очищення деталей та надійністю машини в процесі експлуатації очевидна.

Технологічні процеси очищення зустрічаються практично на всіх етапах ремонтного процесу, видаляючи на кожній стадії очищення специфічні забруднення, що відрізняються складом, міцністю та адгезією до металевих поверхонь.

Метод очищення залежить від характеру забруднення, розмірів та конфігурації деталей, економічних міркувань тощо. В авторемонтному виробництві використовують різні методи очищення деталей. Найбільш прості – механічні, які давно застосовують в ремонтному виробництві і використовують, як правило, для очищення маловідповідальних деталей.

Найважливішим чинником, від якого залежить чистота деталей машин, є забруднення, які поділяють на експлуатаційні та технологічні.

До експлуатаційних відносять забруднення деталей у процесі їх експлуатації. Режим роботи двигунів призводить до окислення вуглеводнів палива та масел, утворюючи різні продукти – альдегіди, кетони, ефіри, карбонові та інші кислотовмісні продукти. Вони відкладаються на деталях двигуна і, піддаючись процесам конденсації та полімеризації, перетворюються на складні високомолекулярні речовини.

Крім органічних речовин, на поверхні деталей накопичуються коксоподібні речовини – результати згоряння і термічного розпаду палива і масел, продукти зношування деталей та вуглецеві відкладення. Ці забруднення становлять найбільші труднощі при очищенні деталей, особливо – деталей паливної апаратури.

Вуглецеві відкладення бувають трьох видів – нагари, лаки та осади. Основні експлуатаційні забруднення деталей паливної апаратури карбюраторних двигунів – лакові плівки, які є продуктами тонкошарового окислення палива. На деталях дизельної паливної апаратури, яка працює в складніших умовах, поряд з лаковими плівками, утворюється нагар.

Технологічні забруднення утворюються на деталях у процесах виготовлення та ремонту, а їх характер визначається, головним чином, особливостями технологічних процесів обробки. Це металева стружка, залишки мастильних речовин та притиральних паст.

Найбільш трудомістким є процес видалення забруднення при очищенні деталей від притиральних паст. Такі прецизійні деталі паливної апаратури дизельних двигунів як плунжерні пари, нагнітальні клапани і розпилювачі форсунок вимагають очищення найвищої якості. Залишки абразивних зерен притиральних паст на поверхнях деталей сприяють інтенсивному зношуванню у спряженнях прецизійних вузлів.

Створення нових способів ефективного очищення деталей можливо вдосконаленням процесів їх взаємодії з миючим середовищем. Одним з перспективних напрямів є інтенсифікація цих процесів застосуванням високочастотних вібрацій резонансних магнітострикційних віброзбудників. Механізм очищення деталей високочастотними коливаннями зводиться до випромінювання енергії у водний розчин миючих засобів та поширення в ньому пружних хвиль, які створюють механічний вплив на занурені в нього деталі. Хвильовий процес, що виникає в розчині, залежить від інтенсивності пружної хвилі і її поширення в середовищі. Підвищити інтенсивність пружних коливань хвилі можна досягти

двома способами: збільшенням амплітуди коливань одиничного вібробудника або накладанням хвиль, випромінюваних групою вібробудників малої потужності.

Висока швидкість очищення за допомогою ультразвуку, економічність у поєднанні з гарною якістю, дозволяє докорінно змінити технологію очищення. Однак ультразвукове очищення – складний фізико-хімічний процес, що використовує ряд ефектів, що виникають у рідкому середовищі при попаданні до неї потужних ультразвукових коливань. Ефекти механічної природи: прийнято вважати первинними – кавітація, змінний звуковий тиск, акустичні потоки тощо. Первинні ефекти викликають ряд вторинних: нагрівання, коагуляцію, окислення, прискорення хімічних реакцій та інших. Найбільший вплив на процес очищення мають кавітація, акустичні течії та хімічна активність технологічного середовища.

Кавітація супроводжується захопуванням кавітаційних бульбашок та утворенням інтенсивних ударних (кумулятивних) впливів. Захопування кавітаційної бульбашки генерує ударну хвилю, в якій миттєве значення тиску досягає декількох тисяч атмосфер. Тиск такої сили призводить до ерозії прилеглих твердих поверхонь, надаючи зваженим в рідині частинкам значних прискорень. При захопуванні бульбашка може розпадатися на велику кількість дрібних бульбашок, кожна з яких є зародком для майбутньої бульбашки кавітації.

Пульсуючі бульбашки руйнують різні плівки забруднень, що являють собою поверхні розділу рідини і твердого тіла, за такими механізмами: відшарування, струменеве очищення, емульгування.

Механізм руйнування відшаруванням викликає локальний розрив поверхні плівки забруднень, під яку спрямовується бульбашка. Переміщаючись, бульбашка відриває і подрібнює плівку на дрібні частини.

При видаленні забруднень зі слабкою адгезією до поверхні механізм їх руйнування такий: переміщаючись по поверхні, що очищається, пульсуюча бульбашка залишає в плівці забруднення «розчищені доріжки», які збігаються з траєкторією руху бульбашки.

Механізм руйнування в'язкої плівки при емульгуванні пов'язаний з тим, що бульбашки, потрапляючи в товщу плівки, обволікаються забрудненим матеріалом і під дією акустичних течій відносяться з поверхні забруднення. Пульсуючі бульбашки (як своєрідне джерело ультразвукових коливань) також викликають процеси подрібнення і розкидання частинок в'язкого забруднення – а це призводить до утворення тонкодисперсної емульсії.

Акустичні течії, впливаючи на процес очищення в ультразвуковому полі, прискорюють розчинення забруднень у миючій рідині та евакуацію їх відокремленої маси із важкодоступних місць. Швидкість дифузії одна із найважливіших чинників, які впливають на швидкість розчинення. Інтенсивне перемішування зменшує товщину дифузійного шару поблизу поверхні, що очищається, збільшуючи тим самим швидкість очищення. Експериментальні дані показують, що товщина дифузійного шару обернено пропорційна квадратному кореню з відносною швидкості руху фаз.

Переміщення рідини акустичними течіями за своїм характером принципово відрізняється від будь-яких видів механічного перемішування. Вихрові потоки поблизу перешкод руйнують ламінарний шар на межі рідини та твердого тіла, сприяючи знищенню концентраційних та дифузійних обмежень. Акустичні та гідродинамічні потоки на межі рідини та твердого тіла прискорюють процес розчинення плівок забруднення та збільшують перемішування компонентів у рідкому середовищі.

Швидкість і якість очищення значною мірою залежить від фізико-хімічних властивостей миючого розчину. При ультразвуковій очистці застосовуються миючі рідини, як органічних розчинників, так і лужних миючих засобів, у поєднанні з синтетичними поверхнево-активними речовинами.

Органічні розчинники, які широко поширені у ремонтних процесах, утворюють із забрудненням однорідну суміш (або розчин). Швидке випаровування розчинників, з поверхні деталі, що очищається, призводить до утворення тонкої плівки забруднень. Після очищення в органічному розчиннику залишки забруднень видаляються ополіскуванням деталей у чистому

розчиннику, а для отримання дуже чистих поверхонь деталі додатково знежирюють в розчинниках.

Очищення в органічних розчинниках пов'язане з такими особливостями:

- швидке і ефективне розчинення міцних органічних забруднень, які не піддаються впливу водних миючих розчинів;
- можливість ефективного очищення за кімнатної температури;
- майже повна відсутність потемніння металевої поверхні після очищення.

Недоліки органічних розчинників пов'язані з їх високою вартістю, токсичністю та пожежонебезпечністю більшості з них.

В авторемонтному виробництві також поширені лужні миючі розчини, основними компоненти яких є фосфорнокислі солі – тринатрійфосфат, поліфосфати; розчинні силікати та метасилікати – та карбонати – вуглекислий та двовуглекислий натрій. Їх перевагами є низька вартість, велика фізична та хімічна стабільність, хороша миюча здатність при малих концентраціях; пожежобезпечність, просте та швидке складання композицій розчинів. А ось до недоліків слід віднести небезпеку корозійного ураження деталей, токсичність, недостатню ефективність миючої дії при кімнатній температурі.

Отож, при ультразвуковому очищенні руйнування, відділення та розчинення плівки забруднень відбувається через спільну дію хімічно активного середовища та ефектів, що виникають у рідині при накладенні на неї потужних ультразвукових коливань.

УДК 629.33-027.33

TECHNOLOGICAL RESEARCH OF RECYCLING AIR FILTERS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЦИКЛІНГУ ПОВІТРЯНИХ ФІЛЬТРІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

Олександр Стадник^{1,2}

¹Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028

²Науково-виробнича фірма «Продекологія»

Під час планового технічного обслуговування автомобілів на СТО утворюється значна кількість відпрацьованих експлуатаційних матеріалів, серед яких особливу увагу привертають моторні оливи та фільтрувальні елементи. Європейські стандарти передбачають заміну повітряного, паливного, масляного фільтрів та моторної оливи кожні 15–30 тисяч кілометрів пробігу, тоді як в Україні цей інтервал зазвичай становить 10 тисяч кілометрів.

Необхідність переробки використаних автомобільних фільтрів обумовлена декількома ключовими чинниками. До них належать вимоги 12-ї Цілі Сталого Розвитку ООН, що закликає до відповідального споживання та виробництва, а також положення Європейської Директиви 2000/53/ЄС щодо поводження з транспортними засобами, що вийшли з експлуатації. Ці нормативні документи акцентують увагу на важливості утилізації автомобільних компонентів для зменшення екологічного навантаження.

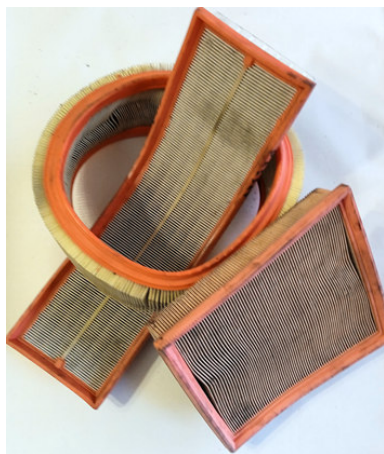


Рис. 1. Фото відпрацьованих повітряних фільтрів ДВЗ

Більшість автомобілів мають повітряні фільтри ДВЗ виготовлені у вигляді паперового фільтрувального елемента зігнутого смужками у вигляді зиг-загу, набраного у касету та ущільнення зі спіненого поліуретану. Вершини смужок фіксують пластиковими смужками. З метою наступного використання усі матеріали (папір, спінений поліуретан та пластик) потрібно розділити окремо, як правило з чистотою понад 95%.

Попередній підхід щодо технологічної схеми рециклінгу автомобільних повітряних фільтрів ДВЗ запропоновано авторами [1], що включав повітряну сепарацію у класификаторі типу «Зиг-заг», розділення суміші пластику і пористого поліуретану у спиртових розчинах з густиною 0,91 г/см³.

Частинки спіненого поліуретану мають високий коефіцієнт тертя у межах 0,6–0,8, що дозволяє забезпечити їх ефективне вилучення сепарацією за тертям. Тому, для виділення спіненого поліуретану з суміші подрібнених автомобільних повітряних фільтрів ДВЗ доцільно використати сепарацію за тертям, що дозволить отримати більш чистий поліуретановий концентрат. Запропонована технологічна схема є більш екологічно безпечною, тому що не вимагає використання рідини, що потрібно регенерувати та утилізувати.

Метою роботи є підвищення екологічності технологічної схеми рециклінгу використаних повітряних автомобільних фільтрів ДВЗ з використанням трибосепарації, що забезпечить збільшення чистоти спіненого поліуретану та фільтрувального матеріалу.

Для досліджень були використані автомобільні повітряні фільтри ДВЗ з целюлозно-паперовою фільтрувальною поверхнею отримані на станціях технічного обслуговування м. Рівне.

Отримані фільтри були в експлуатації на автомобілях марок Renault, BMW та Volkswagen. Відпрацьовані повітряні фільтри включали 84,0% паперового фільтрувального матеріалу, 14,0% спіненого поліуретану та 2,0% пластиків.

Відпрацьовані повітряні фільтри були направлені на переробку за технологічною схемою (рис. 2), що включала дроблення на роторно-ножовому грануляторі, повітряну класифікацію з отриманням легкої і важкої фракцій, трибосепарацію важкої фракції з отриманням еластичної фракції та жорсткої фракції.

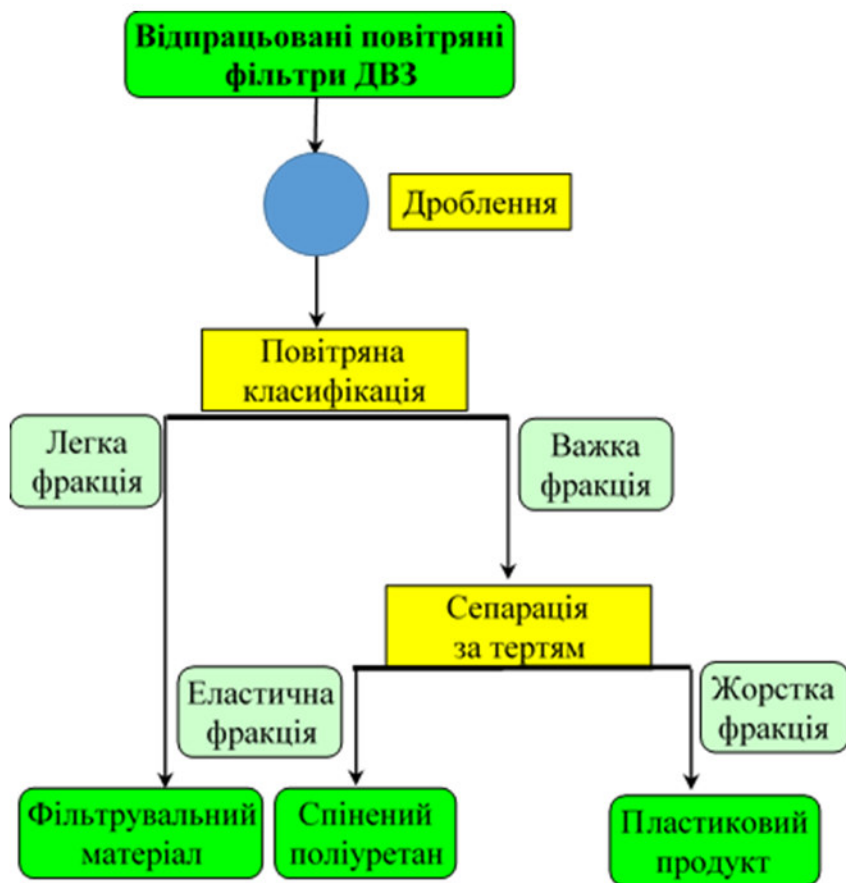


Рис. 2. Технологічна схема рециклінгу повітряних фільтрів ДВЗ

Дроблення продуктів було виконано на роторно-ножовому грануляторі MN-300 (Castulik, Словаччина) зі встановленим ситом, що має круглі отвори діаметром 10 мм. Повітряну класифікацію виконано на сепараторі легкої фракції типу «Зиг-заг» SLF-5-15/30 (НВФ «Продекологія», Україна) та сепарацію за тертям було виконано на сепараторі ST-100, (НВФ «Продекологія», Україна) [2; 3].

Отримані результати наведено у таблиці. Відповідно до запропонованої технологічної схеми до легкої фракції повітряної класифікації сконцентровано паперовий фільтрувальний матеріал з чистотою 97,7%; та масовим виходом 74,0%, до еластичної фракції сепарації за тертям – спінений поліуретан з чистотою 94,4% та масовим виходом 11,6%. Масовий вихід Жорсткої фракції сепарації за тертям склала 14,5% у якій зосереджені майже усі пластики та наявний фільтрувальний матеріал. Цей продукт потребує додаткового дроблення та сепарації за такою ж схемою. Фото отриманих продуктів наведено на рис. 3. Жорстка фракція містить досить багато фільтрувального матеріалу та спіненого поліуретану. Її доцільно додатково подрібнити та направити на сепарацію за такою ж технологічною схемою рециклінгу. Збільшити чистоту поліуретанового концентрату можливо шляхом видалення приклеєного на поверхні частинок спіненого поліуретану паперу методом промивання водою. Такий метод широко використовують при рециклінгу пластикової тари, що дозволяє ефективно видалити приклеєні паперові етикетки.

Таблиця

Технологічні показники рециклінгу використаних повітряних фільтрів ДВЗ

Назва продукту	Масовий вихід, %	Масова частка фільтрувального матеріалу, %	Масова частка спіненого поліуретану, %	Масова частка пластику, %
Вихідний продукт	100,00	83,50	14,40	2,10
Легка фракція	74,00	97,70	2,30	0,00
Важка фракція	26,00	43,20	48,60	8,10
Еластична фракція	11,60	2,00	94,40	3,60
Жорстка фракція	14,50	76,20	12,00	11,80



а)



б)

Рис. 3. Продукти рециклінгу відпрацьованих автомобільних повітряних фільтрів ДВЗ:

а – фільтрувальний матеріал; б – спінений поліуретан

Отже, у роботі запропонована більш екологічна технологічна схема рециклінгу відпрацьованих автомобільних фільтрів, яка дозволила отримати фільтрувальний матеріал з чистотою 97,7% і спінений поліуретан з чистотою 94,4%, що придатні для подальшої переробки. Застосовані технологічні операції, на відміну від операції відомої технологічної схеми, не вимагають застосування розчинів які потребують спеціальної утилізації. У наступних дослідженнях доцільно удосконалити схему з метою концентрації більш чистого пластикового продукту.

1. Christian Wilke, Alexandra Kaas, Urs Peuker., 2024. Approaches to Recycling of Engine Air Filters. *Chemie Ingenieur Technik*. 2024. 00, No. 0, 1–8.

2. Стадник О. С. Аналіз ефективності вилучення еластомерів з автомобільних пластиків трибосепарацією. *Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту* : матеріали XII Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції (Вінниця, 16–18 квітня 2024 року). Вінниця : ВНТУ, 2024. С. 319–321.

3. O. S. Stadnyk. Analysis of the elastomers extraction efficiency from automobile plastics by triboseparation. *The current state of the organization of scientific activity in the world : book of abstracts of XXIII International Scientific and Practical Conference* (Madrid, Spain, June 10–12, 2024). Madrid, Spain, 2024. P. 505–507.

УДК 656.13

LOADING PATTERNS OF PASSENGER CAR SERVICE STATIONS

ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗАВАНТАЖЕННЯ СТАНЦІЙ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ

Хаврук Володимир

*Національний транспортний університет
вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 01010*

Статистична інформація про інтенсивність потоків заявок не завжди може бути підставою доцільності створення нової станції технічного обслуговування (СТО) по тій або іншій спеціалізації у зв'язку з тим, що не відображає наявний виробничий потенціал вже наявних (діючих) СТО в конкретному населеному пункті.

В той же час середній рівень завантаження потужності СТО включає усі параметри, які визначають пропускну спроможність виробництва [1; 2]:

$$\psi = \frac{\lambda_{ОБС}}{\nu \cdot n} = \frac{\lambda_{ОБС} \cdot t_{сер}}{n} \Rightarrow \lambda_{ОБС} = \frac{\psi \cdot n}{t_{сер}}, \quad (1)$$

де ψ – коефіцієнт завантаження СТО;

$\lambda_{ОБС}$ – інтенсивність потоку заявок;

$t_{сер}$ – середня тривалість технічного обслуговування або ремонту;

n – число постів ремонту автомобілів в СТО;

ν – інтенсивність відновлення.

$$\nu = \frac{i}{t_{обс}}. \quad (2)$$

При чисельності виконавців на одному посту P_p рівному одиниці $t_{обс}$ дорівнює трудомісткості t_{mp} виконання конкретних технологічних операцій. При $P_p > 1$ час обслуговування становитиме [1; 2]:

$$t_{обс} = \frac{t_{mp}}{P_p}. \quad (3)$$

Збір даних про кількість постів і чисельність виконавців на будь-якому з СТО не представляє складнощів. В той же час, збір інформації про інтенсивності потоків заявок λ є трудомістким тривалим процесом. Тому згідно формули (1) цей параметр може бути отриманий непрямым шляхом, якщо в цьому вираженні будуть відомі усі інші складові, включаючи і коефіцієнт завантаження ψ . Отримання цього показника шляхом статистичних спостережень значно легше, оскільки коефіцієнт завантаження на момент збору інформації визначається по кількості зайнятих постів і величині черги в конкретний момент часу.

Для збору такої інформації була розроблена спеціальна таблиця (табл. 1), в якій вказано кількість постів, робітників а також число автомобілів на постах і в черзі.

Для отримання достовірної і однорідної інформації обстеження проводилися в один і той же час для сукупності СТО, які забезпечують достатню репрезентативність вибірки. Враховуючи результати попередніх обстежень, які показали тижневу нерівномірність і циклічність коливань потоків заявок на обслуговування автомобілів, спостереження проводилися диференційовано по днях тижня по усіх основних технологічних циклах операцій ТО і ремонту.

На підставі зібраної інформації були побудовані графіки змін коефіцієнтів завантаження для ПА по днях тижня за річний період з урахуванням сезонних коливань. Аналіз отриманих

кривих показує, що для потоків заявок, що характеризуються значними усередині тижневими коливаннями, коефіцієнти завантаження підприємств по різних видах спеціалізації значною мірою схильні до варіації (табл. 2; рис. 1).

Таблиця 1

Початкова інформація для визначення показників СТО в м. Нетішин по днях тижня
(понеділок) – фрагмент

№	Назва підприємства автосервісу	Спеціалізація / вид автосервісних робіт	Робітників	Постів	На посту	Довжина черги, М	Коефіцієнт завантаження, ψ
1	Автолідер	ДВЗ ТО	1	1	1		
2	Алексійчук	Миття	1	1	1		1
3	Lomastee	Кузовні роботи	1	1	1	1	1
4	Мойша	Ходова частина	2	1	1	1	1
5	Lomastee	Кузовні роботи	1	1	1	1	1
6	Автолідер	Кузовні роботи	1	1	1	1	1
7	Авторемонт	Ходова частина	2	1	1	1	1
8	Шиномонтаж	Шиномонтажні роботи	1	1	1		1
9	Lomastee	Кузовні роботи	1	1	1		1
10	Автолідер	Кузовні роботи	1	1	1		1
11	Автоелектрик	Електротехнічні, діагностування	2	1	1	1	1

Таблиця 2

Середній коефіцієнт завантаження СТО по днях тижня і спеціалізаціях/видах робіт в м. Нетішин

День тижня	Спеціалізація / вид автосервісних робіт								
	Фарбування	ДВЗ ТО	Кузовні роботи	Електротехнічні і діагностування	Балансування, шиномонтаж	Миття	Розвал-сходження коліс	Ходова частина	Паливні системи
Понеділок	0,714	0,500	0,571	0,727	0,600	0,647	0,3330	0,600	0,7140
Вівторок	0,429	0,500	0,500	0,545	0,800	0,882	0,4440	0,800	0,8570
Середа	0,571	0,375	0,500	0,727	0,667	0,471	0,3330	0,800	0,7140
Четвер	0,571	0,250	0,643	0,636	0,667	0,765	0,1111	0,800	0,5714
П'ятниця	0,429	0,250	0,571	0,727	0,733	0,118	0,4444	0,400	0,7143
Субота	0,286	0,500	0,500	0,364	0,800	0,118	0,3333	0,400	0,4286
Неділя	0,714	0,375	0,286	0,636	0,733	0,882	0,4444	0,800	0,7143
$\psi_{сер}$	0,531	0,393	0,510	0,620	0,714	0,555	0,3490	0,657	0,6730

При цьому було встановлено, що певної стійкої закономірності між зміною коефіцієнтів завантаження для різних видів спеціалізації ПА не спостерігається. Виключення складають пікові значення коефіцієнтів завантаження щопонеділка. Для ПА, що спеціалізуються на забарвленні, ремонті паливних систем і заміна амортизаторів в суботні дні спостерігалось зниження завантаження, (рис. 1) в той же час по ремонту двигунів, шиномонтажних роботах спостерігаються пікові навантаження. По більшості видів спеціалізацій коливання

коефіцієнтів завантаження пов'язані не тільки з моментами виникнення несправності і відмов, але і психологічними і соціальними аспектами поведінки автовласників і автомеханіків.

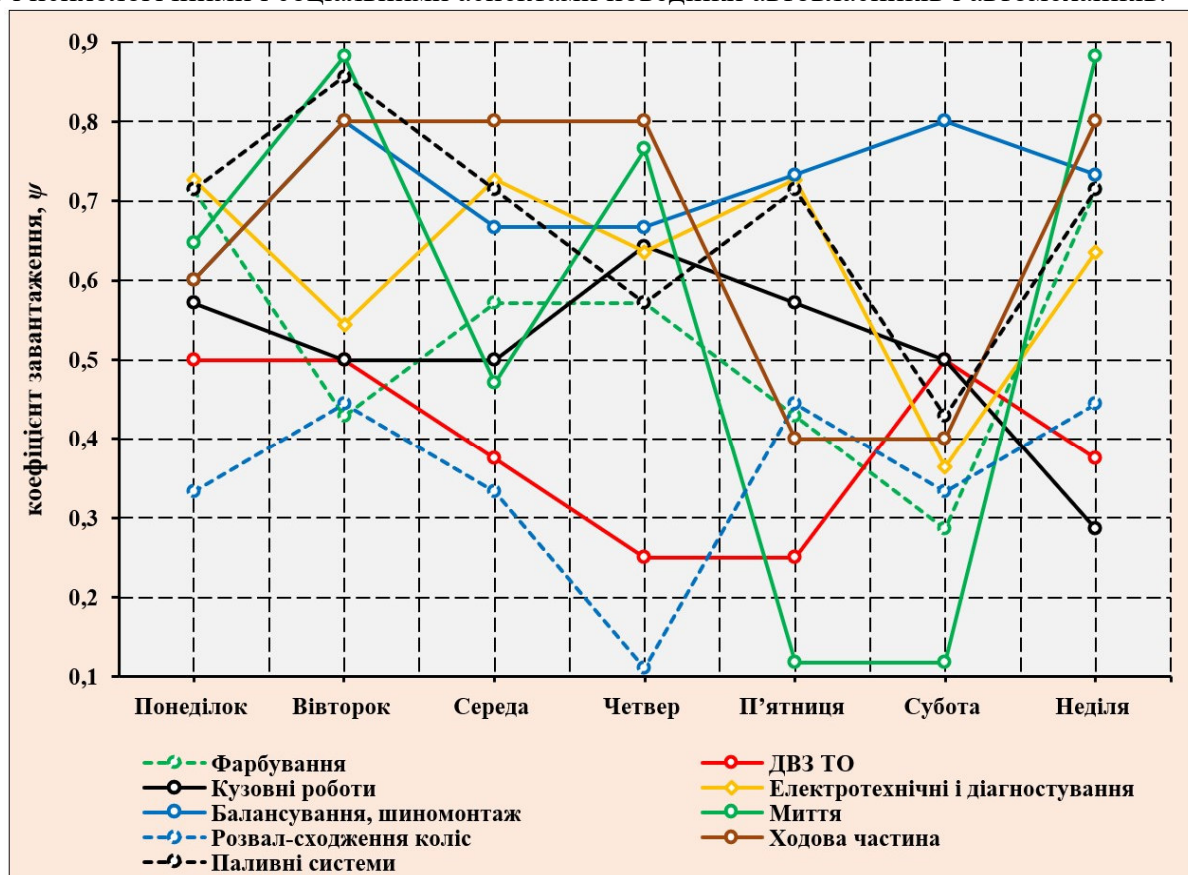


Рис. 1. Зміни коефіцієнта завантаження СТО за видами автосервісних робіт

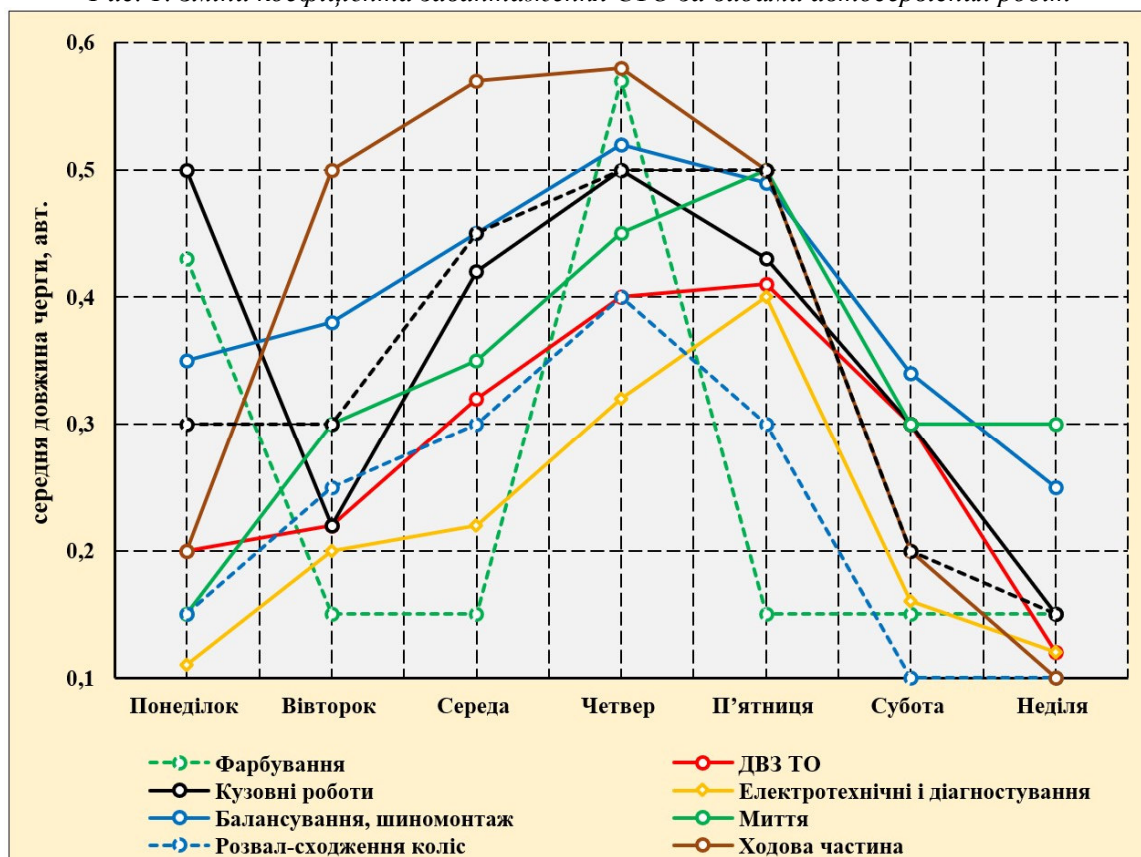


Рис. 2. Зміна середньої довжини черги автомобілів за видами робіт в СТО (м. Нетішин)

Так, наприклад, СТО автомобілів, що спеціалізуються на митті, мають мінімальне завантаження в п'ятницю і суботу, що обумовлене закінченням робочого тижня і бажанням автовласників здійснити поїздки за місто і т.п. заходи, оскільки автомобілі практично справні.

Оскільки поставлено завдання визначення наближеного значення коефіцієнтів завантаження для розрахунку показників нового створюваного підприємства автосервісу, найбільший інтерес представляє середнє значення коефіцієнтів завантаження по кожному виду спеціалізації. Аналіз і обробка даних про завантаження потужності СТО різних спеціалізацій показав, що середнє значення коефіцієнтів завантаження коливається в межах від 0,35 (спеціалізація – регулювання кутів встановлення коліс) до 0,76 (шиномонтажні роботи). Ці дані свідчать про широкий діапазон коефіцієнта завантаження потужності і потенційні можливості майбутнього СТО. Для остаточного прийняття рішення необхідно провести глибше техніко-економічне обґрунтування.

Додатковою інформацією для прийняття рішення про будівництво і планування площі очікування автомобілів в черзі є дані про середню довжину черги по всіх основних видах спеціалізації (рис. 2). Отримані характеристики показують, що середня довжина черги коливається в межах 0,2 (регулювання кутів установки коліс) до 1,2 (ремонт приладів системи живлення). Очевидно, що при плануванні розмірів майданчиків очікування необхідно орієнтуватися не на середні величини черги, а на пікові одномоментні значення, оскільки за відсутності місць очікування клієнт може покинути конкретне СТО і перейти до конкурента. Згідно наведених даних і подальших міркувань кількості місць очікування повинно коливатися в межах 1–3.

Очевидно, для встановлення відносної ефективності СТО необхідно знати в якому режимі (при якому рівні завантаження) працюють підприємства в течії року. Виконані раніше дослідження потоків заявок на ТО і ремонт автомобілів в системі автосервісу [3] показали їх нерівномірність протягом різних періодів часу. Узагальнені середньорічні значення коефіцієнтів завантаження і середні значення довжин черги є основою для розрахунку потужності СТО по обраній спеціалізації. Але для визначення інтенсивності потоків заявок непрямим шляхом в роботі були виконані дослідження, які полягали у зборі інформації про фактичні трудомісткості обслуговування автомобілів по різних технологічних циклах.

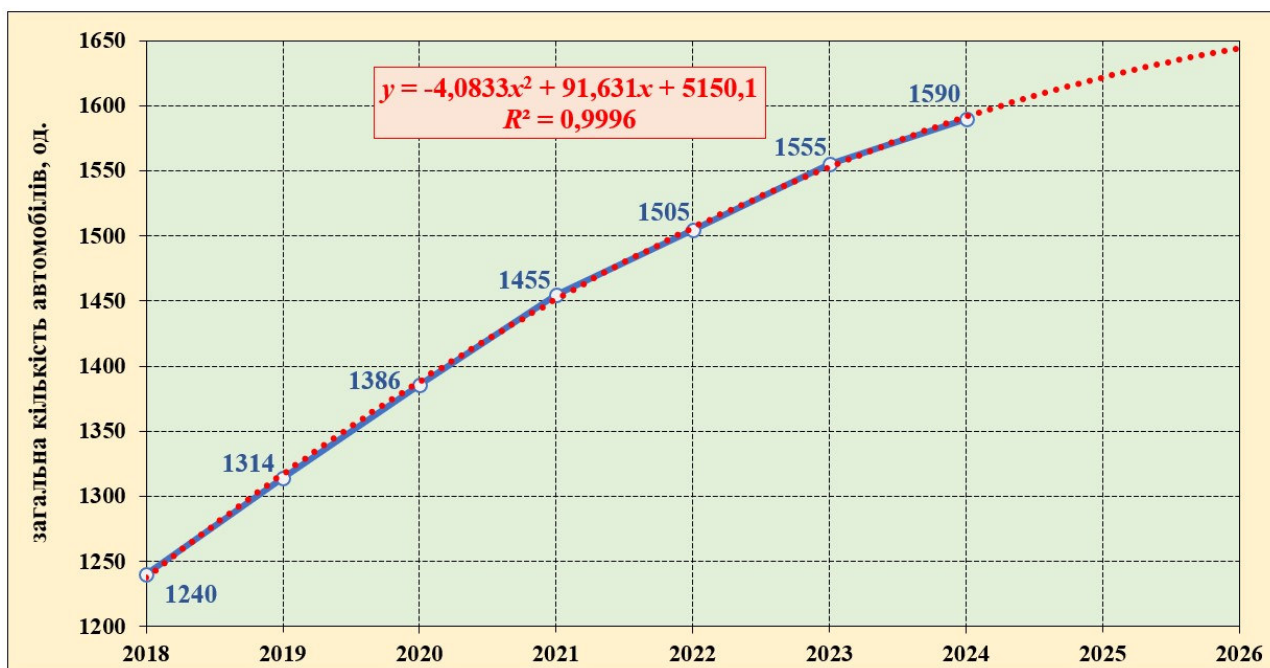


Рис. 3. Загальна кількість легкових автомобілів в м. Нетішин (2020–2024 рр.)

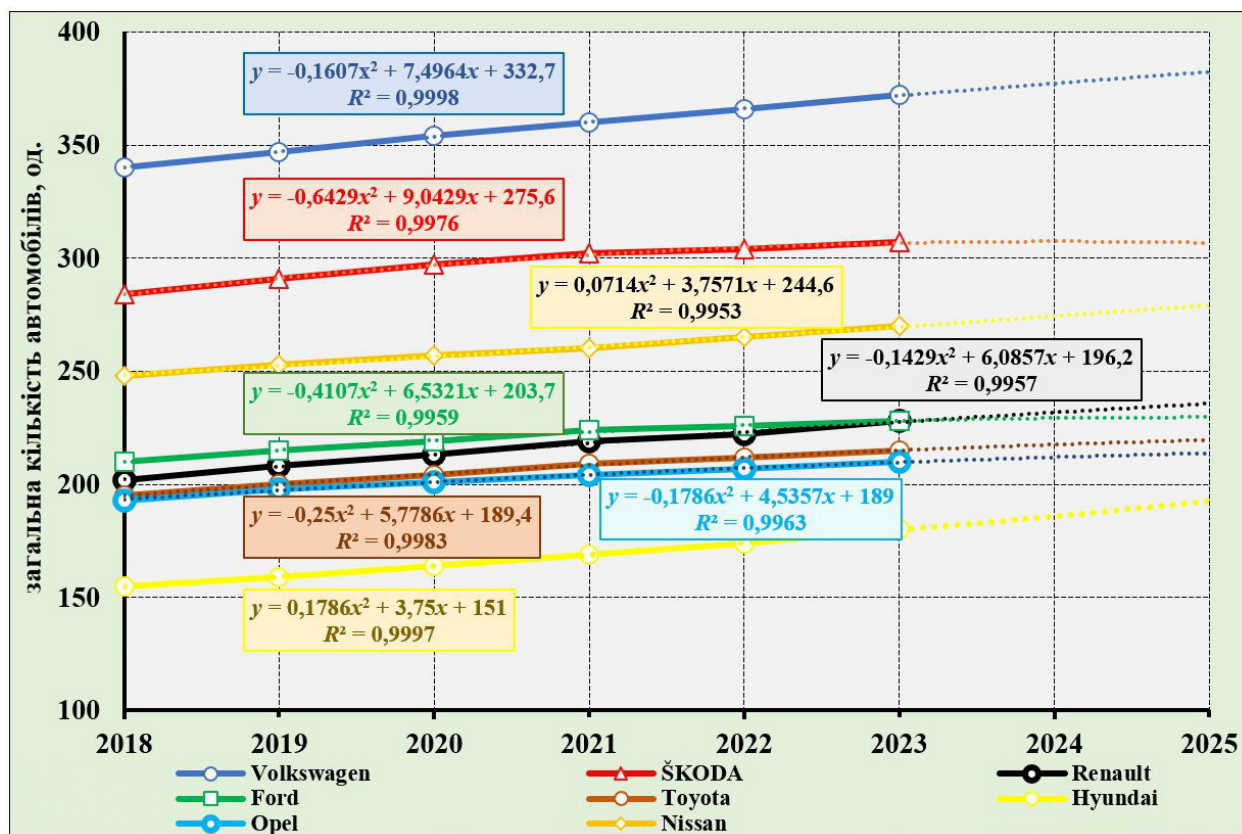


Рис. 4. Зміна кількості деяких іномарок в м. Нетішин (2020–2024 рр.)

Отримані дослідним шляхом значення коефіцієнтів завантаження мали місце в 2024 році. Очевидно, що ці значення можуть змінюватися, якщо число СТО по кожному виду спеціалізації змінюватиметься у відчутних межах в майбутньому. Може змінюватися так само і парк обслуговуваних автомобілів на момент введення в роботу нового підприємства автосервісу. У зв'язку з цим для структури СТО в м. Нетішин були виконані розрахунки з прогнозування зміни мережі автосервісу на 2025–2026 рр. В той же час був виконаний аналіз зміни парку автомобілів (рис. 3) в м. Нетішин, а також по деяких іномарках (рис. 4) за 2020–2024 рр. і подано прогноз по методу поліноміального згладжування 2-го порядку на 2025–2026 рр. Цей метод прогнозування, як і інші методи короткострокового прогнозування заснований на припущенні, що система поводитиметься так само як і в попередні періоди. Між тим, нові законодавчі акти про ввезення іномарок можуть понизити точність прогнозування і утруднити діяльність діючих підприємств.

Таким чином, на основі з'ясовано, що середнє значення коефіцієнтів завантаження СТО в м. Нетішин коливається в межах 0,35–0,76. Середня довжина черги для легкових автомобілі на ТО і ремонт в м. Нетішин досягає найбільших значень протягом таких днів тижня, як середа-четвер-п'ятниця (0,2–0,57).

1. János Sztrik. Basic Queueing Theory: Foundations of System Performance Modeling. GlobeEdit, 2016. 200 p.
2. Chukwunonso Nwogu, U. Nwaiwu, E. Ukachukwu, V. Udo. Development of Queue Management Model for Effective Service Delivery in Automobile Repair Shops. *Nigerian Journal of Technology*. 2023. Vol. 42, No. 3. Pp. 339–346.
3. Тарандушка Л. А., Костьян Н. Л. Вплив параметрів функціонального елементу «Автосервісне підприємство» системи автосервісу на якість виконання технологічних процесів. *Вісник Національного транспортного університету. Сер. Технічні науки*. Київ, 2021. Вип. 1(48). С. 336–344.

Наукове видання

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ ТЕЗ

V Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції
«ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗВИТКУ МАШИНОБУДУВАННЯ
ТА ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ
СИСТЕМ»

14–16 травня 2025 р.

Матеріали тез доповідей друкуються в авторській редакції.

*Редакційна колегія не несе відповідальності за достовірність інформації, поданої в роботах,
та залишає за собою право не погоджуватися з думкою авторів на викладені проблеми.*

*Відповідальний за випуск
Комп'ютерна верстка
Технічний редактор*

*В. М. Никончук
І. О. Хітров
Г. Ф. Сімчук*

*Видавець і виготовлювач
Національний університет
водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028.*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції РВ № 31 від 26.04.2005 р.*