

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

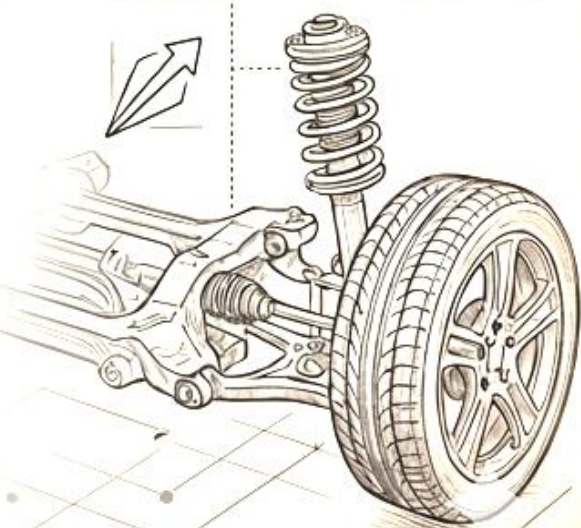
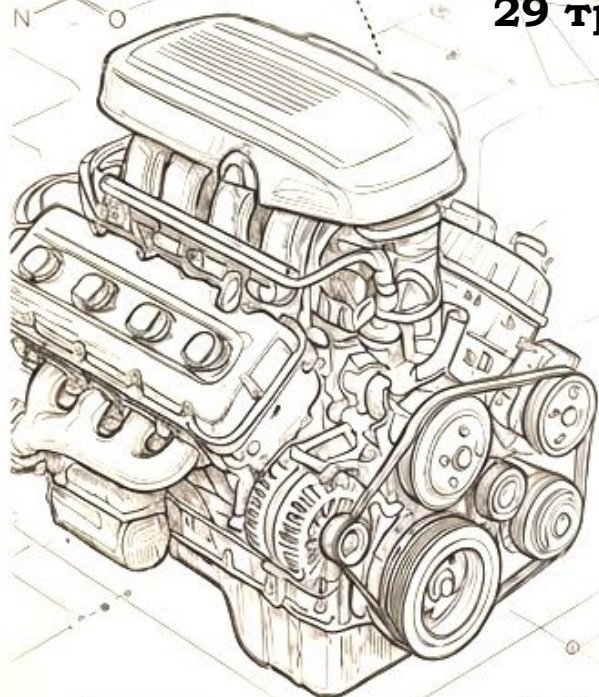
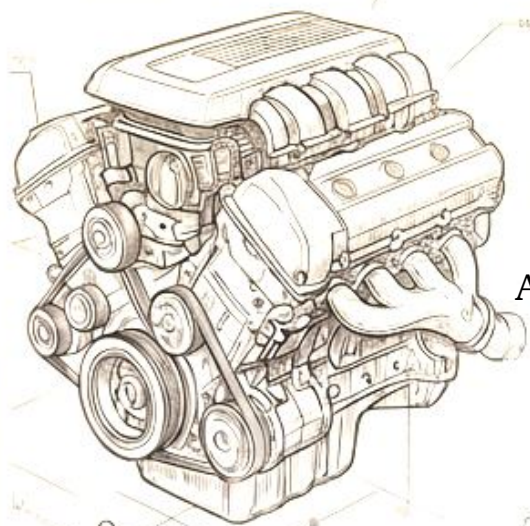
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ
МАШИНОБУДІВНИХ ТА РЕМОНТНИХ
ПІДПРИЄМСТВ**

**МАТЕРІАЛИ
V ВСЕУКРАЇНСЬКОГО НАУКОВО-
ПРАКТИЧНОГО СЕМІНАРУ**

29 травня 2026 р., м. Харків

Харків, 2026



V Всеукраїнський науково-практичний семінар
«Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств»

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ
МАШИНОБУДІВНИХ ТА РЕМОНТНИХ
ПІДПРИЄМСТВ**

МАТЕРІАЛИ
V ВСЕУКРАЇНСЬКОГО НАУКОВО-
ПРАКТИЧНОГО СЕМІНАРУ

29 травня 2026 р., м. Харків

Харків, 2026

УДК 621.797; 629.3; 378

ISBN 978-617-619-333-3

М 11

Друкується за рішенням Вченої ради автомобільного факультету
Харківського національного автомобільно-дорожнього університету
(протокол № 9/26 від 18.05.2026 р.)

Електронне видання

Редакційна колегія:

Голова:

Батракова Анжеліка Генадіївна – т.в.о. ректора ХНАДУ, д.т.н., професор

Заступники голови:

Дмитрієв Ілля Андрійович – проректор ХНАДУ з наукової роботи, д.е.н., професор, академік
Транспортної академії України

Леонтьєв Дмитро Миколайович – декан автомобільного факультету ХНАДУ, д.т.н., професор,
ст. наук. сп.;

Подригало Михайло Абович – зав. кафедри технології машинобудування і ремонту машин
ХНАДУ, д.т.н., професор, академік Транспортної академії України

Члени оргкомітету

Полянський Олександр Сергійович – професор кафедри технології машинобудування і ремонту
машин ХНАДУ, д.т.н., професор, академік Транспортної академії України;

Сахно Володимир Прохорович – зав. кафедри автомобілів Національного транспортного
університету, м. Київ, д.т.н., професор, академік Транспортної академії України;

Клець Дмитро Михайлович – керівник напряму проекту – Реформа дорожньої галузі, Команда
підтримки реформ Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України, д.т.н., професор;

Калінін Євген Іванович – завідувач кафедри тракторів і автомобілів Національного університету
біоресурсів і природокористування України, д.т.н., професор;

Лебедев Сергій Анатолійович – директор Харківської філії Державної наукової установи
«Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для
сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого», к.т.н.

Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств :
матеріали V Всеукраїнського науково-практичного семінару, 29 травня 2026
р. – Харків : Вид-во «Міськдрук», 2026. – (PDF, 139 с.).

У збірнику представлено матеріали V Всеукраїнського науково-практичного
семінару «Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств» у
авторській редакції.

Автори наукових публікацій несуть відповідальність за достовірність фактів, цитат,
власних назв та гарантують відсутність академічного плагіату.

Матеріали V Всеукраїнського науково-практичного семінару призначено для
застосування викладачами навчальних закладів, науковцями, працівниками органів
державної влади, підприємцями, здобувачами освіти різних рівнів.

ISBN 978-617-619-333-3

© ХНАДУ, 2026

Зміст

Artomov M., Podryhalo M., Krasnokutskyi V., Shein V. Optimization of Parametric Series of Automobiles, Tractors, and Self-propelled Chassis Based on Conditional Entropy	8
Kozlov Yu. Yu. Analysis of International Experience in Assessing Compliance with Safety Requirements of Changes Made to the Design of a Vehicle, Including Those in Operation	10
Kozlov Yu. Yu., Solovyova N. I. Analysis of Indicators for Functional Stability of the Tractor Unit in Plowing Mode	12
Lebedeva I. A., Myasushka M. S. The Relevance of Rectilinear Motion of Tractor Units	16
Manoylo V. M., Lyubchenko K. G., Eremenko V. S. Prospects and Advantages of Using Natural Gas as a Motor Fuel for Diesel Engines	19
Manoylo V. M., Tyzhnenko O. V., Eremenko V. S. Features of the Organization of the Working Process of a Gas-Diesel Engine	21
Shevchenko I. O., Shubnyy V. V. Directions for Improving the Characteristics of Piston Internal Combustion Engines	24
Shevchenko I. O., Shubnyy V. V. Improving the Characteristics of Piston Internal Combustion Engines by Using Exhaust Gas Energy	25
Shevchenko I. O., Telichko A. M. The Influence of Silent Block Characteristics on the Functional Properties of Automotive Suspensions	26
Voinovich M. Modernization of a Small-Tonnage Vessel Considering Quality, Safety, and Operational Reliability Requirements for Veteran Rehabilitation	28
Voinovich M. Specifics of Using Software in the Educational Process During the Training of Shipbuilding Engineers in Wartime	29
Voinovich M. Technological Aspects and Quality Assurance in the Historical Reconstruction of Vessels	31
Абрамов Д. В., Молотко М. С. Обґрунтування доцільності дослідження взаємозв'язку амплітуди прискорень вібрацій різального інструменту з режимами різання на токарному верстаті	32

<i>Аврунін Г. А., Подригало М. А., Подригало Н. М., Мороз І. І.</i> Фактори підвищення надійності гідроприводів транспортно-технологічних засобів	34
<i>Болдовський В. М.</i> Напрямки вдосконалення роботизованих комплексів на машинобудівних підприємствах	36
<i>Болдовський В. М.</i> Оптимізація виробничих процесів машинобудівного підприємства інструментами Six Sigma	38
<i>Василенко М. О., Буслаєв Д. О., Калінін О. Є., Кононогов Ю. А.</i> Удосконалення наплавлювальної установки	39
<i>Дідюк Н. О., Полянський О. С.</i> Інженерно-технічна діяльність як складова валеологічних аспектів роботи зі студентами	41
<i>Дудукалов Ю. В., Журавльов В. А., Єрмакова Т. С., Самойленко Р. В.</i> Технологічне забезпечення реверсивного інжинірингу для відновлення локальних пошкоджень кузовних панелей комбінованим FDM-друком	43
<i>Дущенко В. В., Маслієв В. Г., Якунін О. О., Нанівський Р. А., Маслієв А. О.</i> Особливості технології виготовлення пружної втулки із магнітореологічного матеріалу для шарнірів підвісок транспортних засобів	47
<i>Клец Д. М., Коробко А. І.</i> Принципи побудови системи стабілізації повороту візків безпілотного транспортного засобу	48
<i>Комарова Г. Л., Крушельницький З. В., Ковальова М. С., Гордієнко В. В.</i> Метрологічне та технологічне забезпечення якості відновлених деталей рухомого складу	50
<i>Коробко А. І.</i> Методичний підхід до визначення метрологічної готовності випробувальних лабораторій до впровадження технічних регламентів	53
<i>Коробко А. І.</i> Розробка автоматизованої системи розрахунку невизначеності вимірювань	55
<i>Коробко А. І., Костенко Ю. О.</i> Проблема формування компетентності менеджера з якості	56
<i>Коробко А. І., Семенов І. В.</i> Значення функціональної автотранспортних засобів для ефективного функціонування транспортних систем	57

Коробко А. І., Семенов І. В. Концепція функціональної адаптації автопоїздів-зерновозів до умов експлуатації за нестабільної маси вантажу	60
Криворот А. І. Дефекти зварних швів та методи контролю	61
Кусков М. А. Оцінка і підвищення рівня якості продукції на машинобудівному підприємстві	64
Леоненко О. М., канд. техн. наук, доцент; Овчаренко Є. І.; Скобовят Ю. М. Окремі аспекти технічного обслуговування та ремонту машин крайн-партнерів в умовах особливого періоду	66
Ловська А. О., Семенов В. П. Особливості модального аналізу кузова напіввагона із обшивкою, утвореною хвилюподібними листами	69
Макаров В. А., Борисюк Д. В., Вдовиченко О. В. Про особливості спеціальності J8 «Автомобільний транспорт» та їх вплив на інтенсивність і глибину оволодіння студентами компетенціями бакалавра	71
Молодан А. О., Соколовський О. В. Інтелектуальне оцінювання та прогнозування функціональної стабільності колісних машин у процесі поточного технічного контролю	73
Нікорчук А. І. Оцінювання маневреності безпілотних наземних роботизованих комплексів з поворотними платформами.	77
Нерубацький В. П., Геворкян Е. С., Комарова Г. Л. Технологічне забезпечення якості та довговічності роликів підшипників тягових електричних двигунів у ремонтному циклі	78
Нерубацький В. П., Геворкян Е. С., Комарова Г. Л., Волошина Л. В. Експлуатаційні та економічні аспекти застосування високоміцних композитів системи $ZrO_2(3 \text{ мол.}\% Y_2O_3)-WC$ для підвищення якості відновлення деталей	81
Панкова О. В. Особливості підготовки фахівців із забезпечення якості вищої освіти в умовах сучасних трансформацій освітнього середовища	85
Пащенко А. О. Розвиток експериментальних методів дослідження напружено-деформованого стану автотракторних коліс	86
Подригало М. А., Бобров І. О. Оцінювання впливу пружного колеса автомобіля на опорну поверхню за допомогою методу парціальних прискорень	88

Подригало М. А., Вахнюк С. А. Вплив на нерівномірність крутного моменту двигуна внутрішнього згоряння відключення частини циліндрів	90
Подригало М. А., Коява Д. З. Вдосконалення технологічних процесів відновлення головок блоку циліндрів як чинник підвищення надійності автотранспорту	92
Подригало М. А., Краснокутський В. М. Використання масштабного моделювання для побудови модельних рядів тракторів і самохідних шасі	94
Подригало М. А., Полянський О. С., Дубінін Є. О., Клець Д. М., Полтавський М. В. Аналіз методів активного контролю параметрів технічного стану автомобіля в процесі експлуатації	97
Подригало М. А., Шейн В. С. Система масштабних коефіцієнтів з урахуванням широти розташування об'єкта фізичного моделювання на поверхні землі	101
Полянський О. С., Мінайлов О. О. Підвищення надійності деталей машин сучасними технологіями ремонту	104
Полянський О. С., Нагорний Є. В. Сучасні методи підвищення ресурсу силових агрегатів машин при ремонті	107
Полянський О. С., Хомякова О. В. Ймовірнісні методи контролю якості ремонту машин	112
Прокопенко Д. О. Результати порівняльних випробувань тракторів класу 0,6 з визначення ефективності їх роботи	114
Рибак І. П. Підвищення якості відновлення деталей шляхом застосування плазмового напилення	116
Рибалко І. В. Вплив шорсткості поверхонь на експлуатаційні показники	119
Рибалко І. В. Загальні вимоги до випробувань на зносостійкість	120
Рибалко І. В. Конструктивні способи підвищення зносостійкості	122
Рогозін І. В., Захаров О. В. Вдосконалення способів ремонту автомобільної техніки у польових умовах	125
Родюков А. О., доцент; Юхно В. А. Адаптивні методики навчання діагностиці та відновленню складних технічних систем в умовах обмеженого часу	127

Рябушко І. А	
Алгоритм роботи системи стабілізації показників маневреності двовісних автомобілів	129
Рябушко І. А. Використання задніх напрямних коліс для підвищення стабільності показників маневреності автомобілів	131
Свільонок Д. В.	
Інтелектуальне оцінювання та прогнозування функціональної стабільності колісних машин у процесі поточного технічного контролю	133
Шуляк М. Л., Лабецький Є. Г.	
Вплив буксування рушіїв на динамічні та енергетичні параметри роботи МТА	134
Шуляк М. Л., Мурчич М. М.	
Оцінка тягових властивостей трактора при використанні баласту. Методичні підходи	135
Шуляк М. Л., Рапута В. В.	
Визначення геометричних характеристик тракторних сільськогосподарських шин	137

OPTIMIZATION OF PARAMETRIC SERIES OF AUTOMOBILES, TRACTORS, AND SELF-PROPELLED CHASSIS BASED ON CONDITIONAL ENTROPY

doctor of technical sciences, professor Mykola Artomov
State University of Biotechnology
doctor of technical science, professor Mykhailo Podryhalo
doctoral candidate of technology Volodymyr Krasnokutskyi
candidate of technical sciences, associate professor Vitalii Shein
Kharkiv National Automobile and Highway University

The modern development of mechanical engineering is characterized by a continuous increase in the diversity of machines and equipment. This trend is driven by growing requirements for functionality, energy efficiency, and operational performance. However, such diversity leads to increased complexity in production, maintenance, and operation. Therefore, one of the key tasks of standardization is to reduce the number of product types to a rational minimum while maintaining required performance characteristics.

The expansion of transport and agricultural machines significantly complicates standardisation, design, and rational selection under specific operating conditions. The presence of excessive modifications leads to increased production costs, difficulties in maintenance, and inefficient utilisation of technical resources. Therefore, the formation of parametric series with a minimal but sufficient number of models is an important scientific and practical problem. This paper proposes a method for constructing model series based on conditional entropy and similarity theory principles [1, 2].

The approach assumes that the first element of the series is considered as a prototype, while subsequent elements are treated as scaled models determined using scaling coefficients. This ensures preservation of relationships between geometric, kinematic, and dynamic parameters of machines, which is consistent with the principles of scale modelling in vehicle research [1]. The parametric series can be expressed as:

$$b_n = b_1(1+q)^{n-1} \quad (1)$$

where b_1, b_n – the extreme elements of the series (the first and last);

n – number of elements of the series;

q – an increase in the conditional entropy of the object with respect to the main parameter b .

If, in constructing the dimensional series, the first and last elements (i.e., the values of the main parameter) are defined, then equation (1) yields the following

$$\sqrt[n-1]{\frac{b_n}{b_1}} = 1 + q \quad (2)$$

For a given parameter q , the number of elements of the series is determined as:

$$n = \frac{\ln \left| \frac{b_n}{b_1} \right|}{\ln |1+q|} + 1 \quad (3)$$

For the “Fendt” tractor model range, $b_1=26$ kW and $b_n=136$ kW. To determine the number of elements in the series n , the increment of the conditional entropy is evaluated based on the difference between the main parameters of the first two elements, b_1 and b_2 . This increment is $q=0.1538$. Using equation (3), the number of elements in the geometric series is obtained as $n=11.56$ (taken as $n=12$). According to the expression derived from equation (2))

$$q = \exp \left(\frac{\ln \left| \frac{b_n}{b_1} \right|}{n-1} \right) - 1 \quad (4)$$

for the specified value $n=12$, the refined value of the parameter is $q=0.1478$.

Table 1 shows the model series formed under the condition of a constant value of the conditional entropy of the main standardization parameter – the maximum effective engine power. The resulting series follows a geometric progression. This approach is proposed for the first time as a basis for the ranking of agricultural machinery.

Table 1 – Proposed tractor model range

Parameter	Tractor model number											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$N_{e\max}, kW$	26	30	34	39	45	52	59	68	78	90	103	136
$\Delta N_e = \Delta b_i, kW$	4	4	5	6	7	7	9	10	12	23	33	-

Therefore, it may be concluded that the application of conditional entropy in constructing model series of tractors and self-propelled chassis enables a reduction in the number of series elements. The principle of equal increments of the conditional entropy of the standardization parameter (in this case, the maximum effective engine power) allows the model series to be transformed from an arithmetic to a geometric progression. A comparison of the “Fendt” tractor model ranges presented in Tables 1 and 2 demonstrates a decrease in the number of elements from 19 to 12, corresponding to a reduction of 36.8 %.

As noted, reducing the tractor model range is beneficial not only for manufacturers but also for end users. For farmers, it is more practical to operate a smaller number of tractor models whose engine power covers the majority of agricultural tasks. The proposed method for constructing model series of tractors and self-propelled chassis based on a geometric progression provides an

opportunity to optimize equipment acquisition and reduce the costs associated with fleet renewal.

The results confirm that the use of conditional entropy ensures optimisation of model series structure, elimination of redundant elements, and improvement of design and manufacturing processes. The proposed method can be applied to automobiles, tractors, and self-propelled chassis due to similarity of physical principles governing their dynamics and interaction with supporting surfaces. This is supported by modern studies on self-propelled chassis performance and autonomous ground vehicles [4, 5]. The approach also enables integration of experimental and statistical data into the formation of model series, improving reliability of parameter selection and supporting multi-parameter optimisation.

References

1. Podryhalo M.A., Shein V.S. Scale modeling in experimental studies of vehicles. *Modern Technologies in Mechanical Engineering and Transport, Scientific Journal*, No. 1 (20), Lutsk, 2023, pp. 187–197.
2. Olley, M. (1946). *Road Manners of the Modern Car*. Proceedings of the Institution of Automobile Engineers. London, 41 (1), 523–551. https://doi.org/10.1243/PIAE_PROC_1946_041_034_02.
3. Davis, D. C. (1973). *Simulation and Model Verification of Agricultural Tractor Overturns*. Cornell University. https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/13772/davis_thesis_1973opt.pdf.
4. Mou, X., Luo, Q., Ma, G., Wan, F., He, C., & Yue, Y. (2023). Simulation Analysis and Testing of Tracked Universal Chassis Passability in Hilly Mountainous Orchards. *Agriculture*, 13(7), 1458. <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/7/1458>.
5. La Regina, R., Genel, Ö. E., Pappalardo, C. M., & Guida, D. (2025). A Comprehensive Review of Theoretical Advances, Practical Developments, and Modern Challenges of Autonomous Unmanned Ground Vehicles. *Machines*, 13(12), 1071. <https://www.mdpi.com/2075-1702/13/12/1071>.

ANALYSIS OF INTERNATIONAL EXPERIENCE IN ASSESSING COMPLIANCE WITH SAFETY REQUIREMENTS OF CHANGES MADE TO THE DESIGN OF A VEHICLE, INCLUDING THOSE IN OPERATION

Junior research fellow Kozlov Yuriy Yuriyovych

Leonid Pohorilyy Ukrainian Research Institute for Forecasting and Testing of Agricultural Machinery and Technologies, Kharkiv branch

During vehicle operation, owners often need to modify the design by making changes to the vehicle's structure.

At the same time, in order to ensure road safety, it is necessary to ensure proper control and thereby not worsen the design requirements that were in force at the time of release into circulation.

UN regulations can be assessed not only by examining the wheeled vehicle using experimental instrumental measurement and testing methods, but also by expert or computational methods, including organoleptic analysis.

Therefore, it is advisable to involve duly accredited entities. For example, testing laboratories and/or inspection bodies.

Global practice in this area shows that ISO/IEC 17020 inspection bodies are often engaged, rather than ISO/IEC 17025 testing laboratories.

This is due to a significant difference: the former have the authority to issue a conclusion on the compliance of a given object with established requirements, while the latter do not. The test reports they issue are classified as technical documents and, in themselves, have no legal consequences for the release of products to the market.

Furthermore, based on positive reports, only the certification body has the authority to issue the final document in the form of a certificate of conformity, a declaration of conformity, or a chassis or vehicle type approval.

Thus, the inspection body can occupy a niche between the certification body and the testing laboratory, as its expert specialists can conduct tests when necessary and draw conclusions about compliance, including on the customer's equipment. For example, in Germany, Poland, and Turkey, inspection bodies (TÜV, DEKRA, etc.) perform technical inspections of vehicles.

When making changes to the design for these purposes, in world practice, competent specialists from expert organizations – testing laboratories and inspection bodies (TÜV, DEKRA, etc.) – are involved in the conformity assessment, accredited according to international standards ISO/IEC 17025 and 17020 by accreditation bodies (e.g., German – Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS), British – United Kingdom Accreditation Service (UKAS), or Spanish – Entidad Nacional de Acreditacion (ENAC), recognized by the international laboratory accreditation organization - International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

Accredited persons carry out an individual inspection of a specific complete vehicle, as well as the necessary research using calibrated measuring instruments and certified software, by identifying the components used and carrying out a technical inspection.

The expert reports list all modifications made to the vehicle, using only approved components and positive technical inspection results.

Based on the documents received from the experts, which contain information on the assessment of the results of individual technical creativity, as well as the vehicle's modifications to comply with road safety requirements, vehicle owners contact the relevant authorities, who perform the registration procedures in the vehicle identification documents.

For example, in Germany, there is a network of independent organizations with over a century of history that deals with technical product inspection.

These are the technical inspection societies Technischer Überwachungsverein (TÜV) , which provide for the procedure for drawing up conclusions.

For example: a single permit, i.e. homologation according to § 21 Homologationen in the text “Regulations for the registration of vehicles for road traffic” Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) (type examinations for approval for operation) for Europe, including for vehicles released for operation in the USA and Japan in accordance with Directives of the European Parliament 2007/46/EG, 2002/24/EG, 2003/37/EG and DIR 183/2011 (scope of activity of the Import and Export Services department (SIMEX)).

Also in Germany there is a procedure for registering tuning in accordance with § 19 Fahrzeugänderungen StVZO, dedicated to changes in the vehicle.

The TÜV certificate lists all changes made to the vehicle on TÜV approved components only.

This procedure provides for 30 types of design changes that require additional information to be included in the vehicle's registration documents – the vehicle's technical passport (Fahrzeugschein) – as well as 10 types that do not require such markings, in the case of the installation of easily removable equipment.

Ten conditions requiring supervision have also been formulated. For tuning enthusiasts, 23 types have been defined, along with procedures and required documents for registration. Technical inspections (mass inspections) in Germany are regulated by § 29 of the Reihenuntersuchungen StVZO [1].

International approval for the operation of wheeled vehicles is of the utmost importance in order to ensure maximum safety for all road users.

Reference

1. Konitzer H., Wehrmeister J. § 19 StVZO Änderungen am Fahrzeug und Betriebserlaubnis. 4 Auflage. Kirschbaum Verlag Bonn, 2009. 317 p. ISBN: 978-3-7812-1710-2.

ANALYSIS OF INDICATORS OF FUNCTIONAL STABILITY OF THE TRACTOR UNIT IN PLOWING MODE

Higher education student Kozlov Yuriy Yuriyovych

State Biotechnological University

Higher education student Solovyova Natalia Ivanivna

Kharkiv National Automobile and Highway University

The development of agriculture worldwide requires improving the technical characteristics of agricultural tractors [1]. Thus, modern tractors must be able to perform a wide range of agricultural operations with a guaranteed level of reliability [2].

Thus, modern agriculture is developing in the direction of increasing the energy intensity of tractors, their productivity and at the same time reducing all types of costs (fuel, time, tamping and destruction of the soil structure) for performing agricultural operations. At the same time, great importance is attached to ensuring the functional stability of the tractor unit [3].

The most urgent issue of ensuring the functional stability of the tractor unit is for plowing, as one of the most energy-intensive operations [4].

And, even taking into account the further development of technologies without plowing, it is still too early to talk about the final abandonment of traditional plowing.

Functional stability is a property of a tractor unit, which consists in the ability to qualitatively perform the necessary work under the influence of external and internal destabilizing factors [5].

Ensuring functional stability is a complex problem that requires a systematic solution to a set of interrelated tasks for the development of theoretical provisions, methods of automated modeling and analysis of complex systems that allow building reliable models, setting requirements for functional stability and assessing their implementation [6]. The functional stability of a tractor unit is influenced by various factors, the most influential of which are: stability and stability of movement [7].

According to the theory of O.M. Lyapunov, a tractor unit has a stable dynamic equilibrium if external forces acting on it do not change the given direction of movement or do not take it out of the given deviation limits.

Stable movement of the tractor unit is possible if the moment of force forcing it to turn (M_v) is not greater than the moment of resistance to turning (M_s): $M_v \leq M_s$. The stability condition limits the plowing process and allows its oscillations within these limits.

Requirements for the stability of movement limit the oscillations of the process in terms of stability. These indicators, although interconnected, cannot replace each other.

Stability and stability of work increase with the improvement of the design of machines. The stability of the movement of the tractor unit is influenced by: the design of the machine and, to a greater extent, the design of the control mechanism; the type of drive of the engines; the terrain; the operator's qualification and reaction speed; the speed of movement; the width of the machine's grip; the weight of the tractor unit; the distribution of weight on the axles; the tractor base; the location of the tractor's center of gravity relative to the longitudinal axis of symmetry; the stiffness of the tires; the compactness of the soil.

First of all, the tractor's turning mechanism provides its stability both when turning and when moving forward. In addition, with different tractor turning mechanisms, the kinematics of its turning differ significantly [8].

In this case, the greatest difference is achieved by the difference in the kinematics of the passage of the rear wheels and their relationship with the front ones.

The wheels of the rear and front axles of the tractor travel different distances when turning, and for a tractor with front steered wheels, the difference between the distance traveled by the wheels of the front and rear axles is more significant. In addition, the tractor's exit from the turn also differs significantly. Thus, a tractor with an articulated frame will try to level itself through the operation of the central hinge (or a device that replaces it).

In this case, both the front and rear axles will be constantly leveled at once, which leads to the destruction of the stability of movement and a significant increase in the soil plane that the rear wheels compact when exiting the turn. In turn, a tractor with front steered wheels will be more confident in exiting a turn, since when the wheel steering angle decreases, the stability of movement will increase [9].

The type of drive of the engines has a significant impact on both the stability of the tractor unit and the load on the tractor elements. Studies [10] have proven that the optimal type of drive allows you to significantly increase the stability of movement and reduce the load on the transmission.

The terrain also has a very large impact on the stability of the tractor unit. It is known that at any given moment the terrain under each wheel of the tractor is different, which leads to a different length of the path traveled by each wheel. Because of this, the tractor always tries to lose the stability of the movement, which is supported in a certain range by the inter-wheel differential [11].

No less important influence on the stability of the tractor unit is the qualification and speed of the operator's reaction, because it is on it that both the duration of transient processes and their output to steady motion depend [12].

The stability of the tractor unit movement depends on the balance of forces acting on the working bodies and the ratio of the parameters of individual elements and parts of their attachment to the frame.

Due to the heterogeneity of the soil and the conditions of movement (soil density, microrelief, vegetation cover, physical and mechanical properties and other factors), the forces acting on the tractor unit change in magnitude and direction, their balance is disturbed and because of this the tractor unit in the vertical and horizontal directions begins to move with a deviation.

The width of the grip and the speed of movement of the tractor unit are limited not only by the traction capabilities, but also by the stability of its movement in a given direction. With a rigid connection of agricultural machines with a tractor, the stability of the tractor unit depends on the magnitude and

unevenness of the traction resistance of these machines, the moment of resistance of the tractor to turn and the scheme of their aggregation [13].

Reference

1. Закон України Про захист прав покупців сільськогосподарських машин. Веб-сайт. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/900-15#Text>. (дата звернення: 09.08.2025).
 2. Канарчук В.Є., Полянський С.К., Дмитрієв М.М. Надійність машин: підручник. К.: Либідь, 2003. 424 с.
 3. Бойко М.Ф. Підвищення функціональної стабільності орного агрегату з регулятором начіпного механізму трактора: автореф. дис. д-ра фіз.-мат. наук. Нац. аграр. ун-т. К., 2002. 18 с.
 4. Бойко М.Ф. Динамічна точність систем автоматичного регулювання начіпного механізму трактора. Тракторна енергетика в рослинництві. Харків, 1999. С. 256-259.
 5. Бойко М.Ф. Алгоритм функціонування регулятора начіпного механізму трактора. Науковий вісник НАУ. К., 2001. Вип. 41. С. 172-175.
 6. Бойко М.Ф. Оцінка функціональної стабільності системи автоматичного регулювання плуга. Науковий вісник НАУ. К., 2000. Вип. 29. С. 216-220.
 7. Бойко М.Ф. Тенденції вдосконалення конструкцій трансмісій сільськогосподарських тракторів зарубіжних фірм. Тракторна енергетика в рослинництві. Харків, 1998. С.19-23.
 8. Стоцко З.А. Теорія динамічної стійкості транспортних засобів. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 230 с.
 9. Калінін Є.І., Кусков М.А., Бельорін-Еррера О.М. Особливості повороту шарнірно-зчленованого трактора. Системи управління, навігації та зв'язку. 2022. Вип. 1. С. 30-33.
 10. Галич І.В. Підвищення ефективності експлуатації машинно-тракторних агрегатів зниженням коливань елементів: дис... канд. техн. наук : 05.05.11/ Галич Іван Васильович. Харків: ХНТУСГ, 2021. 197 с.
 11. Подригало М.А., Шелудченко В.В. Нове в теорії експлуатаційних властивостей автомобілів та тракторів: навч. посібн. Суми.: Сумський національний аграрний університет, 2015. 213 с.
 12. Волков В.П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: навч. посібник. Харків : ХНАДУ, 2003. 292 с.
 13. Булгаков В.М., Кравчук В.І., Надикто В.Т. Агрегування плугів: навчальний посібник. К.: Аграрна наука. 2008. 150 с.
-

THE RELEVANCE OF RECTILINEAR MOTION OF TRACTOR UNITS

senior scientific student Lebedeva I. A.

scientific student Myasushka M. S.

L. Pogorilyy Ukrainian Scientific Research Institute of Forecasting and Testing of Machinery and Technologies for Agricultural Production, Kharkiv branch

All tractor units perform the majority of their work while moving in a straight line. However, deviation from the intended course leads to a decrease in productivity and the quality of work performed. Therefore, directional stability is a crucial aspect in the design of new and modernization of existing tractor units.

When a tractor unit moves, it is subject to external forces from the ground. While the force exerted by the drive ensures the necessary movement of the tractor unit, the force exerted by the working implement often disrupts this movement and leads to uncontrolled deviation from the intended course.

The movement of a tractor unit generally represents a combination of controlled and uncontrolled motion. Controlled motion is provided by the machine operator. Uncontrolled motion is the result of external forces acting on the work tool. In this case, the tractor unit operator is forced to adjust the control inputs.

Eccentric forces from the work tool are often encountered in the operation of road construction equipment [1]. A classic example is the operation of a motor grader paving and widening a road surface (Figure 1). In this case, the work tool is positioned laterally, and the resistance force acting on it can cause the machine to turn [1].



Figure 1 – Work during laying and widening of road shoulders

Directional stability issues are particularly relevant for agricultural tractor units, as proper soil cultivation is the first step to a good harvest. For example, to maintain a straight course with a reversible plow, the operator must adjust the direction of travel every hundred meters.

The mismatch between the plow's working width and the tractor's width results in asymmetry in the plowing units, further exacerbating the tractor's directional stability (Figure 2).

To maintain straight-line movement, the driver must constantly adjust the machine's steering. On wheeled tractors, the steering wheel is adjusted 15-20 times for every 100 meters of travel. On tracked tractors, the clutch control lever is adjusted every 4-6 meters of travel. This leads to increased operator fatigue, a 10-15 % reduction in productivity, and increased wear on transmission components. [2].

Uncontrolled steering can also occur when working with rotary and disc plows, as it is caused by the rotation of the working parts relative to the longitudinal axis of the tractor [3] (Figure 3).



Figure 2 – Tractor with a plowshare ploughing



Figure 3 – Tractor with a rotary plow

Another example of an eccentric external force acting on a working implement is an agricultural tractor with a cantilever mower (Figure 4).

Lateral movement of the mower results in lateral displacement of the working implement's drag force, which can distort its trajectory. To ensure the required quality of work, the tractor operator is forced to perform additional work

cycles to cover untreated areas. This, in turn, leads to additional soil compaction, which negatively impacts soil quality [4, 5]. Reducing soil compaction can be achieved by increasing the contact area of the drive unit with the soil, which is why tracked drives are widely used for this purpose. For example, plowing, as the most energy-intensive operation, makes tracked drives the most appropriate choice [6].



Figure 4 – Tractor with a cantilever mower

Thus, directional stability issues are relevant for virtually all tractor units. Loss of directional stability necessitates constant adjustments to the tractor unit's controls, which increases operator fatigue, reduces process productivity, and contributes to increased wear on transmission components. The need for constant monitoring of the machine's course requires developing control systems that compensate for external forces. This requires studying the motion of the tractor unit, taking into account external forces from the implements.

Reference

1. Shevchenko V. et al. Mathematical model of a motor-grader movement in the process of performing working operations // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. vol. 985(1). no. 012009.
2. Tarasenko B. et al. Optimization parameters of innovative harrow for sorgo production in Burundi // Bio Web of Conference, 2023, vol. 71, no. 01051.
3. Ghezavati J., Abbasgholipour M., Mohammadi A.B. Modeling and Design of a Disk-Type Furrow Opener's Coulter Its Mechanical Analysis and Study for No-Till Machinery (Combination and Bertini) // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2017. Vol. 10(4). P. 63–73.
4. Kumar S. Assessment of power, energy and torque of powered disc through soil // Research in Agricultural Engineerin. 2016. Vol. 53(3). P. 1-9.
5. Mattetti M., Varani M., Molari G. Influence of the speed on soil-pressure over a plough // Biosystems Engineering. 2017. Vol. 156. P. 136-147.
6. Mak J., Chen Y., Sadek M.A. Determining parameters of a discrete element model for soil – tool interaction // Soil and Tillage Research. 2012. Vol. 118. P. 117–122.

PROSPECTS AND ADVANTAGES OF USING NATURAL GAS AS A MOTOR FUEL FOR DIESEL ENGINES

Doctor of Technical Sciences, Professor Manoylo Volodymyr Maksymovych
Higher education student Lyubchenko Karina Gennadiivna
Kharkiv National Automobile and Highway University
Master's student Eremenko Vladyslav Serhiyovych
State Biotechnological University

Today, the piston engine is the most popular type of engine among others, it is widely used in all spheres of human activity. The main share of the world's consumption of petroleum fuels falls on piston engines. The consequence of such widespread use is the fact that piston engines are the main source of emissions into the atmosphere of such harmful substances as nitrogen oxides NO_x , carbon monoxide CO (carbon monoxide), unburned hydrocarbons C_nH_m and suspended particles.

Currently, the most commonly considered alternatives to gasoline and diesel fuel are such fuels as alcohols, esters, synthetic fuels, vegetable oil fuels, gaseous hydrocarbon fuels, synthesis gases and hydrogen [1].

A special place in this list is occupied by natural gas (the main component of which is methane CH_4 – mass fraction up to 98%). Natural gas has a number of advantages compared to other types of alternative fuels. Thus, the explored reserves of natural gas significantly exceed the reserves of oil fields.

Natural gas is used as a fuel in almost the same form in which it is extracted from the field, with the exception of the processes of drying and cleaning from foreign inclusions.

Using natural gas as a motor fuel reduces the carbon footprint due to the lower carbon content in its composition (74.9% by mass in natural gas versus 85.5% in gasoline and 87% in diesel fuel, respectively), which contributes to a reduction in the concentration of carbon dioxide in exhaust.

The use of gas allows to reduce emissions of suspended particles. The use of natural gas as a motor fuel has a positive effect on the engine resource and allows to increase the oil change interval, since during the combustion of gas no carbon deposits and deposits are formed on the parts of the cylinder-piston group and the oil film is not washed off due to fuel getting on the walls of the cylinder liner [2].

The single aggregate state of natural gas and air is an important advantage from the point of view of organizing an effective work process, since in this case a better mixing of fuel with incoming air and the formation of a homogeneous combustible mixture are ensured.

However, the use of natural gas as a motor fuel entails some disadvantages. One of the disadvantages is the low concentration of energy per unit volume, which at atmospheric pressure is 800-1000 times less than per unit volume of traditional liquid fuel of petroleum origin. Another disadvantage is the difficulty of storing fuel on board a vehicle.

Indeed, when using natural gas fuel, there is a problem in creating light, compact and reliable systems for storing it on board a vehicle.

The installation of heavy gas cylinders leads to a reduction in the mileage utilization factor, and also reduces the vehicle's carrying capacity.

Today, it has become possible to install gas cylinders made of light and durable composite materials, which have advantages compared to traditional cylinders [3].

Despite the fact that when methane is burned, the heat release per unit mass is higher compared to traditional fuels, the energy release during the combustion of a stoichiometric mixture of natural gas is somewhat lower than when gasoline and diesel are burned. In addition, when an engine with external formation of a combustible mixture is fed with natural gas, part of the air is replaced by gaseous fuel, which thus worsens the filling of the cylinder. At the same time, the fuel economy of the engine decreases by approximately 9-11% [4, 5].

To maintain power indicators at the level of basic values, an increase in the cyclic supply of gaseous fuel is resorted to. The use of natural gas as a fuel allows reducing the concentration of carbon dioxide in exhaust gases. When a homogeneous mixture of gaseous fuel with air is burned, there are practically no emissions of suspended particles from fuel combustion, except for those that occur in the combustion products of engine oil, if the fuel is burned in an engine with spark ignition.

Reference

1. Альтернативні моторні палива. Властивості та якість. Підручник для здобувачів освіти за спеціальностями G 3 – Електрична інженерія, G 1 – Хімічні технології та інженерія, G 11 – Машинобудування / за заг. ред. професора С. В. Бойченка. Київ: «SVA Print», 2026. 327 с.

2. Бабич О.С., Заборський В.П., Масло І.П., Кухаренко П.М., Улексін В.О. Рекомендації по пререобладнанню тракторів для роботи на природному газі та використанню газодизельних тракторів у сільськогосподарському виробництві. ДДАУ – ННЦ „ІМЕСГ”, Дніпропетровськ-Глеваха, 2002. 25 с.

3. Chethan Kumar, Sagar M. Baligheid, A.C. Maharudresh, Nishchay Dayanand, Analysis of composite pressure vessel and composite overwrapped pressure vessel by analytical and finite elemental approach, Materials Today: Proceedings. Vol. 50; part 5; 2022; p.1726-1731.

4. Musthafah Mohd. Tahir, M.S. Ali, M.A. Salim, Rosli A. Bakar, A.M. Fudhail, M.Z. Hassan, M.S. Abdul Muhaimin, Performance Analysis of A Spark Ignition Engine Using Compressed Natural Gas (CNG) as Fuel, Energy Procedia. Vol. 68; 2015; P. 355-362.

5. M. Momeni Movahed, H. Basirat Tabrizi, M. Mirsalim, Experimental investigation of the concomitant injection of gasoline and CNG in a turbocharged spark ignition engine, Energy Conversion and Management, Vol. 80; 2014; P.126-136.

FEATURES OF THE ORGANIZATION OF THE WORKING PROCESS OF A GAS-DIESEL ENGINE

Doctor of Technical Sciences, Professor Manoylo Volodymyr Maksymovych
Graduate student Tyzhnenko Oleksandr Vyacheslavovych
Kharkiv National Automobile and Highway University
Master's student Eremenko Vladyslav Serhiyovych
State Biotechnological University

The use of natural gas as a fuel in gasoline engines has advantages compared to the operation of the engine on liquid fuel. The high octane number of gas fuel allows the engine to operate with an increase in the compression ratio by 15-20%. The wider limits of flammability of gas fuel allow operation on lean mixtures ($\alpha=1.4...1.7$), which provide an increase in the fuel efficiency of engines provided that stable and uninterrupted combustion is ensured.

Effective combustion of the gas-air mixture at such values of the excess air coefficient can be carried out at high values of the compression ratio, which are characteristic of engines with ignition of the combustible mixture from compression, that is, in diesel engines.

Thus, despite the advantages of using natural gas to power engines with positive ignition, the use of natural gas to power diesel engines allows for more efficient combustion of gas-air mixtures. There are several ways to adapt piston truck engines to power natural gas. The first is to convert already manufactured and operating engines powered by liquid petroleum hydrocarbon fuels by retrofitting them with a system for storing, supplying and dosing gaseous fuel, as well as making the necessary changes to the engine control system and ensuring an effective mechanism for the formation of a gas-air mixture.

Examples of such engines are engines that are converted for the purpose of conducting experimental studies of working processes, the results of which are given in the scientific and technical literature.

The second method is to organize mass production of engines originally designed to run on natural gas, both compressed and liquefied. Currently, there are some engine manufacturing companies that have in their line of assembly-line models designed to run on natural gas.

When converting spark-ignition engines to natural gas, no major changes to the design of the power plant are required. In addition, the transfer from one type of fuel to another can be carried out without stopping the engine, which is an important advantage. In most cases, positive-ignition engines converted to operate on natural gas fuel operate on stoichiometric and near-stoichiometric fuel-air mixtures. With this organization of the working process, an increase in the average temperature values per cycle is observed, and there is also a possibility of detonation.

It is worth noting that when carrying out a work process with external formation of a gas-air mixture, a phenomenon such as backfire may occur, when the fuel-air mixture ignites in the intake manifold.

The conversion of diesel engines to natural gas power is carried out in two ways, which differ in the method of ignition of the gas-air mixture and the number of simultaneously used types of fuel. In the first case, a work process is organized with the ignition of the gas-air mixture from a spark plug, in other words, the engine is transferred to work according to the Otto cycle.

At the same time, the standard diesel fuel equipment is dismantled, its place is set by the ignition system. The engine no longer has the ability to operate on diesel fuel, it becomes completely gas. To ensure the effective course of the ignition processes and detonation-free combustion of the gas-air mixture, the compression ratio of such an engine is reduced to values that are slightly higher than those in gasoline engines, which is due to the physicochemical properties of the gas.

Typically, reducing the compression ratio is accomplished by changing the volume and shape of the combustion chamber in the diesel engine piston.

The disadvantage of this conversion method is a significant change in the design of the basic diesel engine, which means high costs for re-equipment, as well as the possibility of operating on diesel fuel.

The second method of conversion consists in equipping the engine with a system for storing, supplying and dosing gaseous motor fuel, as well as making changes to the electronic engine control system. In this case, the standard system for supplying the engine with diesel fuel is preserved.

With this method of conversion, the advantage of the working process of diesel engines associated with maintaining high values of the compression ratio is realized. As noted above, with such values, it is possible to carry out effective combustion of the lean gas-air mixture, which has a positive effect on the fuel economy of the converted engine.

Diesel fuel acts as the source of ignition of the gas-air mixture with this method of conversion, that is, the engine becomes dual-fuel. This method of converting part of the operated fleet of diesel engines to operate on gas fuel has received the widest application.

When converting a diesel engine to operate with a gas-liquid cycle, in most cases one of two schemes for obtaining a gas-air mixture is used. In the first case, external mixing is used, when natural gas is fed into the intake manifold and together with air enters the cylinder on the intake stroke, where they are mixed due to the vortex motion of the air charge. In this case, natural gas is fed in a gaseous state, which ensures excellent mixing and a homogeneous fuel-air mixture throughout the volume of the combustion chamber. In this variant, the engine performs mixed mixing: at the first stage, an external formation of a homogeneous mixture of natural gas and air is carried out, and then an internal formation of a heterogeneous mixture of an ignition dose of diesel fuel with a homogeneous gas-

air mixture. In the second case, the gas engine fuel is injected directly into the cylinder in a liquid state under high pressure in order to ensure fine atomization, rapid evaporation of the fuel, and good mixing with air [1].

The use of natural gas injection directly into the combustion chamber involves the installation of an expensive and technologically complex storage and power supply system on the engine, which makes this scheme of organizing the work process less rational from an economic point of view and complicates the design of the engine. However, research into the work process using direct injection of natural gas is currently being conducted, and the results of individual works are being implemented in new products that are being introduced to the consumer market [2].

When switching to a gas-diesel cycle, the primary goal is to minimize the ignition dose across the entire load and frequency range of the engine [3]. Reducing diesel fuel consumption allows for increased economic efficiency of a dual-fuel engine through fuel price differentiation, as well as reducing the content of suspended particles in exhaust gases.

Despite the advantages of using natural gas to power compression ignition engines, there has been a gradual abandonment of the use of gas-diesel engines. This is due to the fact that the previously used diesel fuel supply systems and engine control systems did not provide the necessary level of environmental safety. This was the main reason for the abandonment.

Currently, the problem of reducing harmful emissions during the transition to a gas-diesel operating process needs to be solved.

This assumption is confirmed by the number of scientific publications devoted to improving the environmental safety of internal combustion engines operating on a gas-diesel cycle. However, an effective approach to solving this problem has not yet been found. When converting a diesel engine to operate on a gas-diesel cycle, the control unit for the engine's natural gas supply system receives information from engine sensors and from the main electronic control unit (ECU).

With such a scheme, there is no feedback with the control unit for supplying the ignition dose of diesel fuel. In this regard, it is necessary to develop a system where a single control of the supply algorithms for each fuel will be implemented depending on the operating mode and on the values received by feedback from all engine systems

Reference

1. Соломаха А.С., Сірий О.А., Петренко В.Г., Голик А.В., Чирка Т.В. Екологічні аспекти використання зрідженого газу у двигунах внутрішнього згоряння // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2018. №5. Том 29(68). Ч.3. С. 62-67.
2. Boretti, Albert. Numerical Analysis of High-Pressure Direct Injection Dual-Fuel Diesel-Liquefied Natural Gas (LNG) Engines. Processes. vol.8. 2020.

P. 261.

3. Badr O, Karim GA, Liu B. An examination of the flame spread limits in a dual fuel engine. *Applied Thermal Engineering*; vol 19(10); 1999; P.1071–80.

DIRECTIONS FOR IMPROVING THE CHARACTERISTICS OF PISTON INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Shevchenko Ihor Oleksandrovykh;
Master's student Shubnyy Vladyslav Vitaliyovych
State Biotechnological University

Improvement of internal combustion engines continues in traditional directions – increasing efficiency, reducing emissions, improving adaptability.

Progress in three directions is provided by new technical solutions in the design of fuel and air supply systems, in the design of friction pair elements, in the control of the combustion process, and the design of anti-toxic system components. Let us consider a specific recent example - the development by the Weichai company from the People's Republic of China of the WP 13H560E65 serial diesel engine with a record effective efficiency of 50.26 %. This efficiency value corresponds to the minimum effective specific fuel consumption of 167.04 g/kWh. The authors of the achievement report on five key technologies implemented in the development: coordinated combustion technology, which allows to increase the combustion rate by 30 %; coordinated design technology, which increases the strength of the engine structure at increased combustion pressures; exhaust gas energy distribution technology, which optimizes the processes of converting harmful substances in the catalytic converter and ensures high turbine efficiency in a wide range of operating modes; zoned lubrication system technology, which reduces friction losses by 20 %; intelligent control technology, which uses accurate algorithms for predicting changes in engine parameters.

Increasing the effective efficiency to 50 % from the previous achievement of 46 % provides a reduction in fuel consumption (and a reduction in carbon dioxide emissions) by 8 %. At the same time, the new engine meets the Euro-6 requirements for limiting emissions of harmful substances.

The following modern levels of parameters of diesel engines that meet Euro-6 standards can be determined: effective specific fuel consumption – less than 190 g/kWh; liter power – more than 30 kW/l; the beginning of the frequency range of maximum torque – below 1000 min⁻¹.

It is obvious that these levels will be improved in the near future. Weichai announced that it intends to begin work together with partners to achieve an effective efficiency of 55 %.

Great hopes are placed on successes in improving the combustion process of the working mixture – the process with homogeneous compression ignition, which allows for more complete combustion at lower average temperatures.

Reference

1. Транспортна екологія: навчальний посібник / [Запорожець О.І., Бойченко С. В., Матвєєва О. Л., Шаманський С. Й. та інші]. Київ: 2017. 360 с.

IMPROVING THE CHARACTERISTICS OF PISTON INTERNAL COMBUSTION ENGINES BY USING EXHAUST GAS ENERGY

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Shevchenko Ihor Oleksandrovych
Master's student Shubnyy Vladyslav Vitaliyovych
State Biotechnological University

The main methods of utilizing the thermal energy of exhaust gases [1]: use of gas turbine supercharging of internal combustion engines and turbo compound systems; utilization of heat from internal combustion engine exhaust gases through preliminary thermochemical conversion of fuel; transfer of heat to the cooling system and to the air conditioning system to accelerate the heating of the internal combustion engine and the vehicle interior; use of thermoelectric converters in the components of the exhaust gas exhaust system; use of an additional heat engine to drive various units, including the air conditioner compressor, cooling fan, etc.

The widespread use of gas turbine supercharging in piston internal combustion engines is well known. Modern types of gas turbine supercharging systems allow to increase the specific energy parameters of internal combustion engines and increase the effective efficiency.

Some types of turbocharging systems allow to increase the torque in the low-speed range – from n_{is} (idle speed) to n_{Mmax} (left limit of maximum torque) on the external speed characteristic, which provides the well-known convenience of engine control, reduces the number of gearbox shifts. The following types of gas turbine supercharging systems fully possess this property:

- turbocharger with adjustable turbine nozzle;
- turbocharger with hybrid drive (with electric machine);
- register turbocharging system;
- two-stage turbocharging system;
- two-stage adjustable supercharging system;
- supercharging system with turbocharger and centrifugal electric compressor.

The systems with two-stage supercharging and hybrid drive (with electric machine) have the greatest potential [2]. The latter solution looks the most interesting in terms of prospects for large-scale application in the near future.

Reference

1. Alias Mohd Noor, Rosnizam Che Puteh, Srithar Rajoo, Waste Heat Recovery Technologies In Turbocharged Automotive Engine – A Review, Journal of Modern Science and Technology. Vol.2. No.1. March 2014. Pp.108-119.

2. Gunter T., Pesek J., Schafer K., et al. Cu-SSZ-13 as pre-turbine NO_x-removal-catalyst: Impact of pressure and catalyst poisons // Applied Catalysis B: Environmental, Vol. 198. 5 December 2016. Pp. 548-557.

THE INFLUENCE OF SILENT BLOCK CHARACTERISTICS ON THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF AUTOMOTIVE SUSPENSIONS

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Shevchenko Ihor Oleksandrovych;
Master's student Telichko Artem Mykolayovych
State Biotechnological University

Bushings are among the most vulnerable parts of a vehicle. Designed to effectively absorb loads and reduce vibrations that occur during acceleration, braking, and cornering, they must withstand critical stresses.

They connect the suspension components to the vehicle body (frame). Bushings are the load-bearing elements that determine the suspension's performance, and they change their properties during operation under loads and external factors.

Silent blocks in a vehicle's suspension are special rubber-metal components. A bushing is an elastomeric cylinder installed between the outer and inner bushings. Bushings connected to suspension components transmit forces from the vehicle's wheel to the body or frame.

Bushings can be divided into two groups: torsional and compression. Elements that operate under compression and bending include cushions (bearings). And the elements that work on torsion are silent blocks, which are used in the suspension guide arms [1, 2].

A vehicle's suspension provides a flexible connection between the body and the wheels, reducing dynamic loads when driving on uneven roads and over obstacles [3, 4].

Suspensions differ in their design: the presence or absence of silent blocks. Silent blocks are used in virtually all types of suspensions, with the exception of heavy-duty vehicles equipped with a balance beam suspension. In passenger cars, independent suspension is widely used.

This type of suspension offers several advantages: low unsprung weight; high level of comfort; engine placement between the arches, which lowers the car's center of gravity; less wheel interference.

An independent suspension design includes elastic and damping elements and a guide vane. Currently, the most widely used independent suspensions are the following types (Fig. 1): 1. Swinging-rod (MacPherson) suspension; 2. Double-wishbone suspension; 3. Multi-link suspension.

The greatest influence of silent blocks on the elastic and damping characteristics is evident in double wishbone suspensions.

Silent blocks in such suspensions have a compression ratio of up to 500% [5, 6]. Therefore, the research presented in this paper aims to develop a quality control method for silent blocks in this type of suspension.

The following requirements are imposed on the vehicle's suspension during operation:

1. High reliability of its components;
2. Ease of maintenance and repair;
3. Ensuring a smooth ride and reducing vibration loads;
4. Ensuring kinematic and elastokinematic characteristics;
5. Ensuring ground clearance changes depending on the load on the vehicle's axles, within specified limits;
6. Ensuring vehicle stability and control.



Figure 1 – Types of independent vehicle suspensions: a – MacPherson suspension; b – double wishbone suspension; c – multi-link suspension

The functional properties of silent blocks influence all of the above suspension requirements.

Reference

1. Волков В.П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: навч. посібник. Харків : ХНАДУ, 2003. 292 с.

2. Сирота В.І., Сахно В.П. Автомобілі. Основи конструкції, теорія: Навчальний посібник. К.: Арістей, 2007. 288 с.
3. Кисликов В. Ф. Будова й експлуатація автомобілів: підручник/ В. Ф. Кисликов, В. В. Лущик. 6-те вид. К.: Либідь, 2006. 400 с.
4. Гандзюк М.О. Аналіз конструкції та елементи розрахунку автомобіля: навчальний посібник. Луцьк: Вежа-Друк, 2017. 196 с.
5. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гудь В.З., Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.
6. Подригало М.А., Шелудченко В.В. Нове в теорії експлуатаційних властивостей автомобілів та тракторів: навч. посібн. Суми.: Сумський національний аграрний університет, 2015. 213 с.

MODERNIZATION OF A SMALL-TONNAGE VESSEL CONSIDERING QUALITY, SAFETY, AND OPERATIONAL RELIABILITY REQUIREMENTS FOR VETERAN REHABILITATION

Senior Lecturer Marina Voinovich
Odesa National Maritime University

Currently, the problem of rehabilitation of war veterans is highly relevant for Ukrainian society, among whom there are many individuals who have received wounds, concussions, limb amputation, post-traumatic stress disorder, and other disorders in the psycho-emotional sphere.

According to the results of conducted research, thalasso-oriented recreation shows good results in the reintegration of combatants into civil society, along with various types of psychotherapy, animal therapy, and art therapy.

In recent years, the Department of "Shipbuilding and Ship Repair named after Prof. Yu.L. Vorobyov" of ONMU has been researching the possibility of using in the rehabilitation process a watercraft created on the basis of the Gloucester Gull, the design of which was developed in the second half of the last century by Philip C. Bolger.

The boat has a narrow and sharply pointed bottom near the extremities. At the midship, the design height of the side is approximately 30 cm, but it increases in the bow and stern extremities.

The relatively low freeboard is compensated by a significant flare of the sides and the sheer of the side line. Sufficient stability of the dory is ensured due to the fact that during a heel, thanks to the flare of the sides, the waterplane area increases and, accordingly, the restoring moment increases.

For use in projects for the rehabilitation of fighters, the following changes need to be made to the design:

It is proposed to increase the height of the side at the midship by 400 mm, which will allow, firstly, to increase the reserve of buoyancy, and secondly, to accommodate three people on the boat instead of one rower and a passenger.

Since people with limited mobility may be on the boat, it is necessary to place a railing along the entire side, which will allow a person not to lose balance and feel more confident.

To increase stability, the boat will be equipped with removable outriggers, which are buoyancy blocks attached to the sides using aluminum outrigger beams. When the boat has no heel, the outriggers are above the water surface, but during a heel, one of them enters the water, creating an additional restoring moment.

Since a person with a high leg amputation may be a rower or passenger on the boat, the body weight of this person will be shifted relative to the diametral plane of the watercraft, which will create a noticeable angle of heel. To compensate for this heel, it is proposed to use solid ballast in the form of lead bars that can move in the transverse direction.

For the convenience of rowers and passengers, the seats will be made not in the form of horizontal boards, as in the original design, but will have a backrest, a soft covering, and the ability to move along the length of the vessel on special guides to compensate for trim.

References

1. <https://smallboatsmonthly.com/article/the-gloucester-light-dory/>
2. <https://hvtial.kapsi.fi/glouc/glouc.htm>
3. <https://adrift314.wordpress.com/building-the-gloucester-gull/>

SPECIFICS OF USING SOFTWARE IN THE EDUCATIONAL PROCESS DURING THE TRAINING OF SHIPBUILDING ENGINEERS IN WARTIME

Senior Lecturer Marina Voinovich
Odesa National Maritime University

During the full-scale invasion, the process of educating engineers in higher educational institutions faces a certain number of complications and challenges. In particular, the following should be mentioned: the lack of sufficient quality of basic education among university entrants as a result of years of distance learning and the discreteness of the educational process in schools caused by daily air raid alerts; the need to ensure the educational process in universities in a distance and mixed-mode format, which limits the possibility of "live" communication between teachers and students and the use of physical visual aids; a high level of stress and anxiety among seekers of educational services, which negatively affects their cognitive abilities and memory; the impossibility, due to the requirements of

current legislation, of using the usual software, the creation of which was associated with the aggressor country.

To solve these problems, I propose the following actions, which have been tested by me during the years of the full-scale invasion and are applied in the teaching process:

1. During the study of the course "Descriptive Geometry and Engineering and Computer Graphics", the majority of students have problems with visualizing three-dimensional bodies, as well as the projections of these bodies onto projection planes. In such a situation, the use of the "Autodesk Inventor" program helps greatly, as it allows creating spatial models of objects and looking at them from certain directions, which perfectly trains spatial imagination, which is currently almost absent in most students due to the absence of the "Drafting" course in the modern school curriculum.

2. Since the 80s of the last century, the software "Dialog-Statika. Project 1" has been very frequently used in ship design in the post-Soviet space. The reliability of this software package has been verified over the years, and the calculations performed in "Project 1" are confirmed by all Classification Societies that control the design and construction of ships. Naturally, much attention was paid to teaching how to work with this software package during the training of shipbuilding engineers.

As a result of known events in Ukrainian realities, there arose a need to use other reliable software in ship design.

Also, a significant condition in the choice of software is the availability of free versions of the programs.

In the Educational and Scientific Maritime Engineering and Technical Institute of the Odesa National Maritime University, this problem was solved as follows:

a) during the study of the "Ship Theory" course, the "FREE!ship Plus" program is used, a significant contribution to the creation of which was made by Associate Professor of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding V.F. Tymoshenko;

b) as an alternative to "FREE!ship Plus", the possibility of using the DELFTship Free program is being considered. Analysis and comparison of the calculation results obtained using the aforementioned programs will be conducted in the future in the research work of students;

c) to create spatial models of ship hulls, theoretical lines plans, and necessary calculations of buoyancy, stability, unsinkability, and to solve other tasks arising during ship design, the PolyCAD software package is used.

References

1. <https://share.google/J0Y8G94jJT5Z9I2Ce>
2. <https://www.polycad.co.uk/>
3. <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview>

TECHNOLOGICAL ASPECTS AND QUALITY ASSURANCE IN THE HISTORICAL RECONSTRUCTION OF VESSELS

Senior Lecturer Marina Voinovich
Odesa National Maritime University

At first glance, a conversation about the historical reconstruction of vessels in modern realities may seem strange. Sleepless nights, daily air raid alerts, blackouts are the reality in which the residents of Ukraine have been living for many months. Severe distress and a critically high level of anxiety – this phrase most accurately describes the condition of the average citizen of our country.

Therefore now, more than ever, it is necessary for every person to find a source of positive emotions. Most often, physical activity that is new to a person, or indeed any new activity in general, can act in this role.

One of such activities can be historical reconstruction, in particular the historical reconstruction of vessels. It is clear that the complete repetition of technology and the use of materials that were applied centuries ago is quite difficult and expensive. Therefore, the talk will be about partial reconstruction, that is, the manufacture of a compromise replica.

The manufacturing technology of a significant number of watercraft that existed in the past was analyzed, and based on the ease and speed of the manufacturing process and the availability of materials, such small vessels as the coracle and the guffa are recommended. The frames of these vessels are made of ordinary willow twigs, or similar branches, and as waterproofing instead of skin or natural bitumen, a cast vinyl banner or other similar fabric can be proposed.

The mentioned watercraft have a short length, therefore, during their manufacture, it is not necessary to obtain permission and approval from the Shipping Register of Ukraine.

But before using such replica vessels on open water, one should make sure of their reliability and evaluate their seaworthiness. Ideally, the behavior of such a small vessel should be investigated even before the start of the manufacturing process.

Invaluable assistance in this can be provided by the software packages Autodesk Inventor and PolyCAD. Inventor allows creating a spatial model of the object, taking into account the properties of the proposed materials, and then, based on the model, determining its mass, the position of the center of gravity, and moments of inertia.

PolyCAD allows calculating buoyancy, stability, and unsinkability for different loading options.

Preliminary calculations performed using the mentioned programs will make the process of manufacturing and, most importantly, the operation of compromise replicas not only pleasant, but also safe.

References

1. <http://hvartial.kapsi.fi/coracle/coracle.htm>
2. <https://nmmc.co.uk/object/boats/iraqi-guffa-bc53/>
3. <https://www.alamy.com/guffa-traditional-arab-basket-like-boat-ucomprising-a-wooden-frame-with-woven-reeds-used-to-ferry-people-and-cargo-along-rivers-iraq-image471883156.html>
4. <https://search.worldcat.org/title/1064452173>

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ АМПЛІТУДИ ПРИСКОРЕНЬ ВІБРАЦІЙ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ З РЕЖИМАМИ РІЗАННЯ НА ТОКАРНМУ ВЕРСТАТІ

д-р техн. наук, професор Абрамов Дмитрій Володимирович
здобувач освіти Молотко Максим Сергійович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Вібрації в технологічній системі Верстат-Пристосування-Інструмент-Деталь (ВПД) викликають динамічні зміни геометрії різання. Так, під вібраціями змінюється фактична глибина різання, кут різання, положення вершини різця, що спричиняє нестабільність ширини утворюваної стружки, сил різання, тепловиділення. Такі зміни накопичуються і приводять до внутрішніх напружень та залишкових геометричних дефектів. Також страждає різальний інструмент, інтенсивність його зносу збільшується, утворюються мікросколи на ріжучій кромці, що в тому числі погіршує геометрію ріжучої кромки. Спостерігається «спіралевидний» процес – при вібрації пришвидшується знос ріжучої кромки інструмента, який в свою чергу, збільшує вібрації системи.

Вібрації під час токарної обробки безпосередньо впливають на точність виготовлення деталей. Під дією коливань різець періодично відхиляється від заданої траєкторії, замість постійного різання утворюється коливальний режим, де різець то вривається глибше, то відходить від поверхні, що призводить до зміни фактичного розміру деталі, появи нециліндричності (конусності, овальності або бочкоподібності), вихід за межі допуску. Різні частоти вібрацій викликають еліпсність, огранку чи зміщення осі обертання. Особливо це проявляється при резонансі у системі ВПД (рис. 1) [1-3].

Через періодичне коливання глибини різання, оброблювальна поверхня набуває хвилястої форми – навіть якщо шорсткість (R_a) в межах норми, хвилястість може зіпсувати функціональність деталі (наприклад, ущільнення, підшипникові посадки).

Пасивний метод контролю вібрацій у процесах різання передбачає підвищення жорсткості всіх елементів обробної системи. Для обмеження

небажаних коливань верстат можна проектувати з більш масивними і жорсткими конструктивними елементами, а також заповнювати корпус бетоном або іншими матеріалами, що поглинають вібрацію. Деяке зниження цього ефекту можливо шляхом збільшення жорсткості деталі, проте такі зміни часто призводять до збільшення маси та погіршення продуктивності виробу.

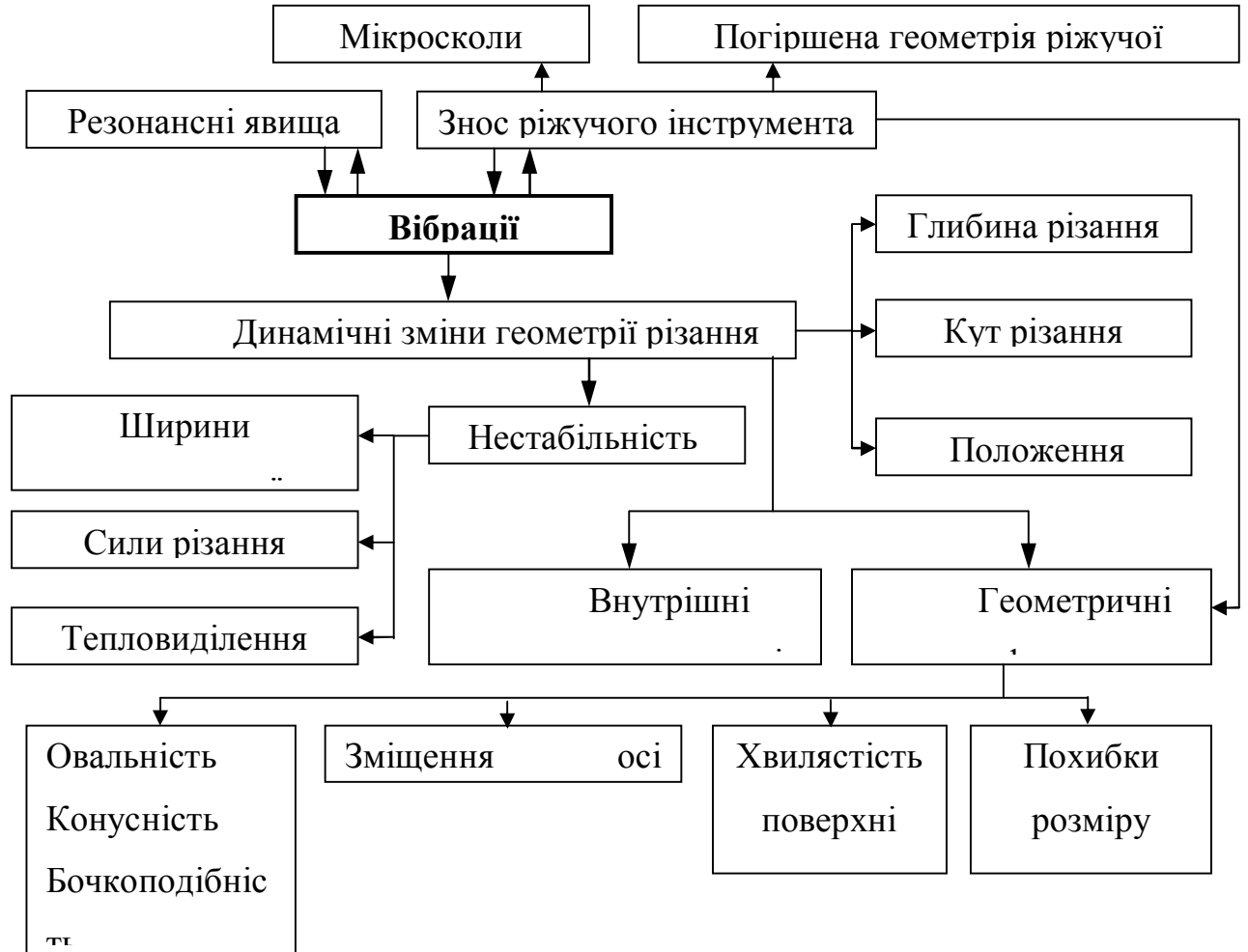


Рисунок 1 – Негативний вплив вібрацій у системі «верстат–приспособлення–інструмент–деталь» на точність виготовлення деталей [1–3]

Пасивно-динамічний підхід для зменшення вібрацій інструмента базується на використанні налаштованих демпферів маси. Так, у системі Steadyline від Seco застосовується попередньо налаштований демпфер, що складається з маси високої щільності, підвішеної всередині стрижня інструмента за допомогою радіальних демпферуючих елементів. Ця демпферна маса миттєво поглинає вібрації, що передаються від ріжучої частини до корпусу інструмента, забезпечуючи стабільність процесу різання.

Якщо частота вібрацій співпадає з власною частотою системи «верстат–приспособлення–інструмент–деталь», виникають самозбуджувані вібрації – резонанс [1-3]. Це найнебезпечніший режим, який призводить до різкого погіршення точності, руйнування інструмента, неприйнятної якості поверхні.

Таким чином, дослідження взаємозв'язку амплітуди вібраційних прискорень різального інструменту та режимів різання в процесі токарської обробки деталей машин є актуальним завданням.

Перелік посилань

1. Characterization of machine tool components for drilling operations with intergrated damping system / Ho Duong Dong. – Department of Production Engineering The Royal Institute of Technology, Stockholm April, 2011. 142 p.

2. Identification of chatter vibrations and active vibration control by using the sliding mode controller on dry turning of titanium alloy (TI6AL4V) / Mehmet Ali Guvenc, Hasan Huseyin Bilgic, Selcuk Mistikoglu1. Facta universitatis. Series: Mechanical Engineering, 2020. 16 p. <https://doi.org/10.22190/FUME210728067G>.

3. Y. Petrakov, O. Ohrimenko, O. Pasichnik, and A. Petryshyn, “Determination Modal parameters a Turning machining system”, Mech. Adv. Technol., vol. 9, no. 2(105), pp. 176–184, Jun. 2025.

ФАКТОРИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ГІДРОПРИВОДІВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАСОБІВ

канд. техн. наук, доцент Аврунін Григорій Аврамович
д-р техн. наук, професор Подригало Михайло Абович
д-р техн. наук, професор Подригало Надія Михайлівна
Мороз Ірина Іванівна

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Сучасні транспортно-технологічні засоби (ТТЗ), до яких відносять трактори, будівельно-дорожні, комунальні і спеціальні машини, широко оснащуються об'ємними гідроприводами в трансмісіях і робочому обладнанні. В гідроприводах застосовують насоси, гідромотори, гідроциліндри і гідроапаратуру, які працюють в умовах високих навантажень і швидкостей в підшипниках кочення і ковзання, і з малими зазорами в прецезійних робочих парах. В багатьох випадках надійність і ресурс ТТЗ залежить від відповідних характеристик гідроприводів.

До основних чинників, які впливають на ресурс гідроприводів, відносять:

- експлуатаційні режими щодо тиску і швидкості, зокрема динамічні режими зовнішнього навантаження з боку робочих органів ТТЗ;
- температурний діапазон і в'язкість робочої рідини;
- рівень очищення робочої рідини від забруднень;
- сорт робочої рідини щодо її трибологічних характеристик,

Режими роботи гідроприводів є результатом теоретичних розрахунків і експериментальних досліджень при створенні нової гідрофікованої ТТЗ і часто базуються на виборі окремих гідропрстроїв за результатами кошторисно-функціонального аналізу.

Особливу увагу приділяють аналізу динамічних характеристик, які суттєво залежать від швидкодії навантажень і регулювання подачі насоса живлення гідромоторів та гідроциліндрів. Підвищенні значення коливання тиску зменшують довговічність гідропрстроїв.

Температурний режим експлуатації гідроприводів ТТЗ впливає на коефіцієнт кінематичної в'язкості робочої рідини, який необхідно підтримувати в діапазоні від мінімального значення в $10 \text{ мм}^2/\text{с}$ до максимального в $1600 \text{ мм}^2/\text{с}$, яке відноситься до пускового режиму. Робота гідропривода в діапазоні наведених екстремальних значень забезпечується оливаохолоджувачами повітряного типу з приводами лопатей вентилятора електродвигунами або гідромоторами.

Найбільш важливим фактором впливу на довіговічність гідропрстроєв є підтримка чистоти робочої рідини. Наприклад, фірма «Palfinger» дає рекомендації щодо розрахунку і вибору додаткового оснащення споживачем крана-маніпулятора, зокрема ємності гідробака і потужності оливаохолодження, та сорту робочої рідини. Особлива увага приділена підвищенню надійності гідропривода маніпулятора. Так для ретельного очищення робочої рідини рекомендується встановлення фільтрів високого тиску з абсолютною тонкістю фільтрації фільтроелементів в 10 мкм , тобто «бета-співвідношення β_x » числа частинок певного розміру x в пробі робочої рідини до і після фільтра дорівнює $\beta_x=100$ за ISO 16889-1999 (Multi-Pass test) і дає ступінь очищення $E_x=99 \%$.

Створення об'ємних гідроприводів для сучасних ТТЗ супроводиться безперервним збільшенням швидкісних, контактних і температурних навантажень, у зв'язку з чим робоча рідина повинна володіти експлуатаційними характеристиками, що задовольняють ряду функціональних вимог: робочого тіла; змащення контртіл високонавантажених вузлів тертя кочення і ковзання гідромашин та гідроапаратів; видалення механічних забруднень із зазорів, викликаних зносом контртіл шляхом перенесення до фільтроелементів гідросистеми і забезпечуючи при цьому високий рівень фільтрованості; відведення тепла від вузлів тертя гідропрстроїв; захисту від корозії.

Сучасною тенденцією є уніфікація робочих рідин для трансмісій, ДВЗ і гідроприводів. Наприклад, концерн ADDINOL LUBE OIL GmbH виробляє трансмісійно-гідралічні мінеральні оливи серії UTTO для тракторів (Universal Tractor Transmission Oil), будучи одночасно продуктом серії TOU (Tractor Oil Universal). Оливи UTTO відповідають по класифікації моторним SAE10w30, 10w40, 15w40 і 20w40 (UTTO Extra 20w-40 з температурою застигання $-39 \text{ }^\circ\text{C}$), трансмісійним GL-4(API) і гідралічним HLP-D і HVLP

(DIN 51524 2/3). Наприклад, олива UTTO 10w30 відповідає гідравлічному класу HVLP46: Н – олива гідравлічна, V – з поліпшеними в'язкісно-температурними властивостями, L – з антиокисною присадкою, P – з протизношувальною присадкою, 46 – коефіцієнт кінематичної в'язкості від 41,0 мм²/с до 50,6 мм²/с при температурі 40 °С. Застосування універсальних всесезонних олив дозволяє спростити проблеми їх утилізації та виключити можливі помилки персоналу, пов'язані з використанням оливи не за призначенням, що може призвести до зниження ресурсу і надійності агрегатів (наприклад, при заправці ДВЗ трансмісійною оливою).

Перелік посилань

1. PALFINGER Installation Guideline Hydraulic Loader Crane. Installation Guideline Hydraulic Loader Crane Original Installation Guideline DA-105. Version: 2023/03 English. PALFINGER AG Lamprechtshausener Bundesstraße 8 5101 Bergheim | Austria www.palfinger.com. 402 с.

НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ НА МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

канд. техн. наук, доцент Болдовський Володимир Миколайович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Сучасний розвиток машинобудування відбувається в умовах цифровізації економіки, глобальної конкуренції та переходу до концепцій Industry 4.0 і Industry 5.0. У цих умовах роботизовані комплекси стають ключовим фактором підвищення ефективності виробництва, забезпечуючи високу продуктивність, точність і стабільність технологічних процесів. Використання промислових роботів дозволяє підприємствам скорочувати витрати, підвищувати якість продукції та мінімізувати вплив людського фактору [1].

Разом з тим, існуючі роботизовані системи потребують постійного вдосконалення з урахуванням новітніх технологічних тенденцій, що обумовлює необхідність дослідження перспективних напрямків їх розвитку.

Мета дослідження полягає у визначенні основних напрямків вдосконалення роботизованих комплексів на машинобудівних підприємствах.

Роботизовані комплекси на сучасних підприємствах забезпечують автоматизацію таких процесів, як зварювання, складання, обробка матеріалів та контроль якості. Їх застосування дозволяє досягти безперервності виробництва, підвищити точність операцій та знизити рівень браку. Зокрема,

використання роботів забезпечує стабільну якість продукції завдяки високій повторюваності операцій і зменшенню впливу людських помилок [2].

Водночас, сучасний етап розвитку промислової робототехніки характеризується переходом від ізольованих автоматизованих систем до інтегрованих інтелектуальних виробничих середовищ. Це зумовлює формування ключових напрямків вдосконалення роботизованих комплексів.

Одним із провідних напрямків є впровадження технологій штучного інтелекту та машинного навчання. Це дозволяє роботам адаптуватися до змін виробничих умов, самостійно приймати рішення та оптимізувати робочі процеси в режимі реального часу. Інтелектуальні системи здатні аналізувати великі обсяги виробничих даних і підвищувати ефективність виробництва на 10–15 % за рахунок оптимізації процесів.

Сучасні роботизовані комплекси повинні бути інтегровані в єдину цифрову інфраструктуру підприємства. Використання Інтернету речей (IoT) забезпечує обмін даними між обладнанням, що дозволяє здійснювати моніторинг, діагностику та прогнозування технічного стану систем у режимі реального часу. Це сприяє переходу до концепції «розумного виробництва».

Значного поширення набувають колаборативні роботи (cobots), які працюють спільно з людиною. Їх використання дозволяє поєднати гнучкість людської праці з точністю роботів, що особливо актуально для дрібносерійного та індивідуального виробництва. Такий підхід підвищує безпеку праці та ефективність виробничих процесів.

Сучасні ринки вимагають швидкої зміни номенклатури продукції. Тому важливим напрямком є створення гнучких роботизованих комплексів, які можуть швидко переналаштовуватися під нові виробничі завдання. Використання модульних систем і програмованих роботів забезпечує швидку адаптацію до змін попиту [3].

Перспективним напрямком є впровадження магнітних транспортних систем і автономних мобільних роботів. Такі рішення забезпечують високу точність позиціонування, зменшення енергоспоживання та підвищення гнучкості виробничих ліній, що особливо важливо для складних машинобудівних виробництв.

Оптимізація енергоспоживання роботизованих систем є важливим завданням у контексті сталого розвитку. Сучасні роботи дозволяють зменшити витрати ресурсів, скоротити відходи та підвищити загальну ефективність виробництва.

Інтеграція сенсорів, машинного зору та систем автоматичного контролю дозволяє здійснювати перевірку продукції безпосередньо під час виробництва. Це значно знижує рівень браку та витрати на переробку продукції.

Висновки

Вдосконалення роботизованих комплексів на машинобудівних підприємствах має комплексний характер і передбачає інтеграцію

інтелектуальних технологій, цифровізацію виробництва, розвиток колаборативних систем і підвищення гнучкості виробничих процесів. Реалізація зазначених напрямків дозволить підвищити ефективність виробництва, забезпечити конкурентоспроможність підприємств та сприяти їх сталому розвитку.

Перелік посилань

1. Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка»; 133 «Галузеве машинобудування» / Ю.М. Малафеев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. - Електронні текстові дані (1 файл: 6,68 Мбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 201 с.

2. Автоматизація виробничих процесів: підручник / І. В. Ельперін, О.М. Пупена, В. М. Сідлецький, С. М. Швед. – Вид. 2-ге, виправлене – К.: Вид. Ліра-К, 2017. – 378 с. 3. Siciliano B., Khatib O. (Eds.). Springer Handbook of Robotics. 2nd ed. Cham: Springer, 2016. 2227 p. doi: 10.1007/978-3-319-32552-1.

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА ІНСТРУМЕНТАМИ SIX SIGMA

канд. техн. наук, доцент Болдовський Володимир Миколайович
Національний аерокосмічний університет «ХАІ»,

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю застосування сучасних підходів до вдосконалення технологічних процесів і організації виробництва високоякісної продукції на машинобудівних підприємствах України. В умовах зростаючої глобальної конкуренції підприємства галузі змушені постійно модернізувати свої виробничі системи з метою зниження витрат, підвищення якості продукції та забезпечення сталого розвитку [1].

Одним із дієвих інструментів досягнення цих цілей є методологія Six Sigma, яка ґрунтується на використанні статистичних методів і структурованого підходу до аналізу та усунення відхилень у виробничих процесах. Ключовим елементом цієї методології є цикл DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control), що забезпечує послідовне й науково обґрунтоване вдосконалення виробничих операцій.

Застосування Six Sigma на машинобудівних підприємствах сприяє більш ефективному використанню ресурсів, скороченню виробничих витрат, зменшенню кількості дефектної продукції та, відповідно, підвищенню прибутковості. Завдяки цій методології можна визначити основні джерела втрат, оптимізувати виробничі процеси, знизити варіативність і підвищити точність прогнозування попиту.

До основних інструментів Six Sigma, що доцільно використовувати в машинобудуванні, належать: статистичний контроль процесів (SPC), який забезпечує оперативний моніторинг якості; діаграма Ішикави для встановлення причин виникнення дефектів; гістограми та контрольні карти для оцінювання стабільності процесів; факторний аналіз, що дозволяє визначити вплив окремих параметрів на результати виробництва та сприяє їх оптимізації.

Ефективне впровадження методології Six Sigma потребує стратегічної підтримки з боку керівництва підприємства, оскільки процес удосконалення має бути інтегрований у загальну стратегію розвитку компанії [1].

Важливу роль відіграє також підготовка кваліфікованих спеціалістів (рівнів Green Belt і Black Belt), які володіють відповідними інструментами та підходами. Крім того, залучення персоналу до процесів удосконалення сприяє формуванню культури безперервного розвитку.

Висновки

Використання методології Six Sigma у машинобудуванні створює умови для підвищення ефективності виробничих процесів, зменшення кількості дефектів і втрат, а також зміцнення конкурентоспроможності підприємств. Її впровадження є важливим стратегічним кроком для підвищення інноваційного потенціалу та забезпечення сталого розвитку машинобудівної галузі України.

Перелік посилань

1. Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка»; 133 «Галузеве машинобудування» / Ю.М. Малафєєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського. - Електронні текстові дані (1 файл: 6,68 Мбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 201 с.

2. Бондаренко С. М. Система "Бережливе виробництво плюс шість сигм" як інструмент підвищення якості бізнеспроцесів та сталого розвитку підприємства / Бондаренко С. М. Науково-практичний журнал «Інвестиції: практика та досвід». – Чорноморський національний університет імені Петра Могили : ТОВ «ДКС Центр». 2022. Вип. 17. – С. 62-67.

УДОСКОНАЛЕННЯ НАПЛАВЛЮВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

канд. техн. наук, ст. наук. співр. *Василенко Михайло Олександрович*

канд. техн. наук, ст. наук. співр. *Буслаєв Дмитро Олександрович*

канд. техн. наук, ст. наук. співр. *Калінін Олександр Євгенович*

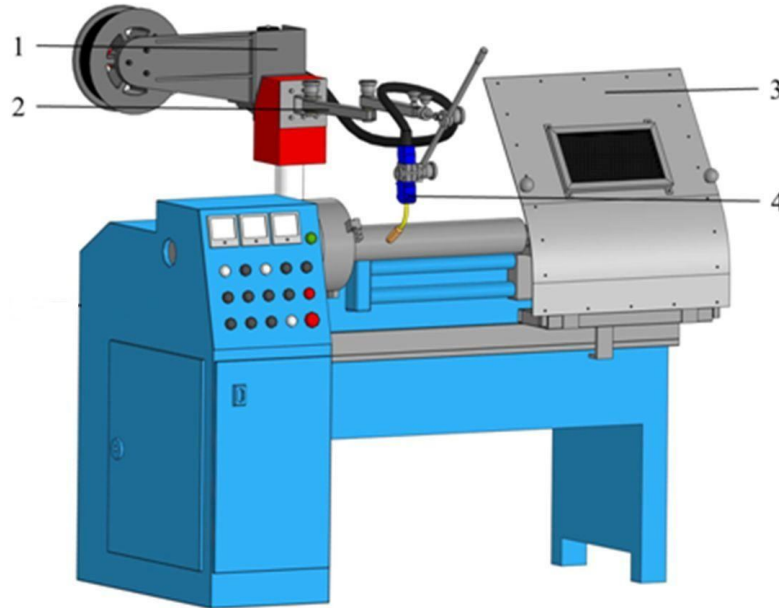
Кононогов Юрій Андрійович

Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН

Одним із недоліків наплавлювальних установок типу УД-209 (виробництва Броварського дослідного заводу обладнання «Факел»), що досі використовуються на ремонтних підприємствах, є обмеження щодо наплавлення деталей просторової конфігурації.

Тому даний тип установок удосконалено щодо можливості наплавлення не тільки деталей обертання, а також деталей просторової конфігурації [1].

Загальний вид удосконаленої наплавлювальної установки наведено на рис. 1.



1 – механізм подачі дроту типу SSJ-15; 2 – система позиціонування;
3 – захисний екран; 4 – пальник типу MB EVO PRO 501 D

Рисунок 1 – Загальний вид удосконаленої наплавлювальної установки

Розроблена система позиціонування (поз. 2 на рис. 1) дає змогу просторово керувати розташуванням газоелектричного пальника для подачі захисного газу, наприклад CO₂ та зварювального дроту в зону зварювання або наплавлення.

Завдяки додатковому обладнанню наплавлювальної установки шланговою системою подачі дроту та захисних газів, а також пальником-тримачем забезпечується її універсальність.

Таким чином зварювання деталей просторової конфігурації проводиться шляхом переналагодження удосконаленої наплавлювальної установки з режиму автоматичного наплавлення в режим напівавтоматичного зварювання.

Для усунення дефектів деталей просторової конфігурації рекомендується використовувати дріт Св08Г2С діаметром 1,2 мм.

Для захисту зварювальної ванни рекомендується використовувати CO₂.

Режими дугового зварювання деталей просторової конфігурації при їх відновленні наведено в табл. 1 [2].

Таблиця 1 – Режими дугового зварювання деталей просторової конфігурації при їх відновленні

Швидкість, м/год		Сила струму, А	Напруга, В	Виліт дроту, мм	Витрата CO ₂ , л/хв
подачі дроту	зварювання				
100-110	20-30	80-120	18-22	10-15	10-15

Удосконалена наплавлювальна установка та технологічні рекомендації з дугового наплавлення деталей сільськогосподарської техніки при їх відновленні впроваджені в умовах ПП «Плазма-майстер».

Перелік посилань

1. Розробити ресурсощадну універсальну наплавлювальну установку і технологічні рекомендації з дугового наплавлення зношених деталей сільськогосподарської техніки при їх відновленні : звіт про НДР (закл.) 1.12.20. / М. О. Василенко та ін. Глеваха, 2020. 171 с.

2. Василенко М. О., Буслаєв Д. О., Калінін О. Є., Кононогов Ю. А. Технологічні рекомендації з дугового наплавлення деталей сільськогосподарської техніки при їх відновленні. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2020. 14 с.

ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ ЯК СКЛАДОВА ВАЛЕОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ РОБОТИ ЗІ СТУДЕНТАМИ

кандидат наук з фізичного виховання та спорту Дідюк Наталія Олександрівна
Харківський національний університет радіоелектроніки
д-р техн. наук, професор Полянський Олександр Сергійович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Валеологічні аспекти роботи зі студентами – це вирішення проблем здоров'я як окремої людини, так і всього людського співтовариства на новому етапі його духовно-творчої еволюції, наука про здоровий спосіб життя. У зв'язку з цим перед установами вищої школи стоять вельми конкретні завдання — під час навчання студентів не лише створити їм оптимальні умови для збереження здоров'я, а й підготувати їх у плані здійснення подальших заходів, присвячених здоровому побуту, створенню таких умов вдома та на роботі, які сприяли б подальшому збереженню здоров'я [1].

Інженерно-технічна діяльність, що є основою науково-технічного прогресу, є стійким, відносно самостійним видом людської діяльності, що має якісну визначеність і відрізняється від інших видів специфічними особливостями [2]. За своєю суттю інженерно-технічна діяльність - це

переважно інтелектуальна праця, продуктом якої виступають знання, необхідні для створення і функціонування людино-машинних технологічних, організаційно-виробничих структур, тобто діяльність, спрямована на матеріально - практичне освоєння дійсності.

Аналіз розвитку інженерно-технічної діяльності в історичному аспекті дає підстави стверджувати, що завжди її основною ознакою був творчий початок. Ця особливість (значно посилюється у другій половині 20 століття, коли відбувається вплив науки та інженерії).

У результаті науково-технічної творчості створюються такі властивості предмета чи явища, які вступають у протиріччя зі старою сутністю та стають джерелом нових додаткових властивостей, нової сутності. Нова технічна думка, втілюючись у техніці та технології, значно розширює можливості людини у пізнанні та перетворенні дійсності, в той же час незмірно збільшує ступінь її відповідальності за свою подальшу долю, за долю світу.

Займаючи проміжне становище у цілісній системі «природа –техніка - суспільство», технічні засоби зачіпають основи буття природи людини, способи зв'язку. Причетність людини до пізнання таких складних об'єктів, як атомна енергія, об'єкти екології, генної інженерії, мікроелектроніки та інформатики, кібернетики та обчислювальної техніки ставлять під сумнів тезу про «етичну нейтральність» інженерно-технічної діяльності. Гігантська міць створених людиною промислових технологій робить необхідним знаходження внутрішньої міри, духовних і ціннісних критеріїв розмежування допустимих неможливих «перетворень у природі та суспільстві технократичного способу мислення фахівців, наслідком освіти, абстрактної від істинно людських потреб. У зв'язку з цим дедалі сильніше звучить теза про посилення соціальної спрямованості інженерно-технічної діяльності, її гуманізацію.

Наступною причиною, що зумовила гуманізацію інженерно-технічної діяльності і з першої, є зміна технологічних процесів, спрямованих у бік їх постійного ускладнення, збільшення їх структурної складності, замкнутості, системності. Незважаючи на скорочення ручної праці інші переваги для людини, відбувається ускладнення умов праці працюючих із цією технікою. Виходячи з цього, інженерні рішення повинні ґрунтуватися на врахуванні вимог ергономіки та інженерної психології.

Крім цього, відбувається «зростання частки та значення психологічних факторів на виробництві, що пов'язано з розширенням та ускладненням інженерно-управлінської діяльності, через ускладнення умов кооперованої праці. Це, звісно, веде до зростання ролі психологічних чинників міжособистісного трудового спілкування, вміння фахівців контактувати за умов складного виробництва, величезної кількості ділових зв'язків, постійно дефіциту часу й зростання відповідальності.

Розгляд інженерно-технічної діяльності та творчості у широкому соціальному та науково-технічному контексті висуває нові вимоги до

формування професійно-ділового та творчого потенціалів інженерно-технічних фахівців. В даний час актуальними стають не лише професіоналізм, компетентність, творчий підхід до справи, ініціативність, а й висока відповідальність не лише за власне технічні рішення, а й за їхні соціальні, психологічні, організаційні та екологічні наслідки.

Перелік посилань

1. Борейко Н. Ю. Педагогічні умови професійно-прикладної фізичної підготовки студентів вищих технічних навчальних закладів : Автореф. дис. канд. пед. наук: 13.00.04. Х., 2008. 20 с.
2. Кокарева А. М. Сучасний стан професійної підготовки інженерів в технічному університеті. *Вісник Національного авіаційного університету. Серія: Педагогіка. Психологія.* 2017. 1(10). 77–81.

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕВЕРСИВНОГО ІНЖИНІРИНГУ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ПОШКОДЖЕНЬ КУЗОВНИХ ПАНЕЛЕЙ КОМБІНОВАНИМ FDM-ДРУКОМ

канд. техн. наук, доцент Дудукалов Юрій Володимирович
здобувач освіти, гр. АПМ-31-23 Журавльов Вячеслав Анатолійович
здобувачка освіти, гр. АПМ-41-22 Єрмакова Тетяна Сергіївна
здобувач освіти, гр. АПМ-41-22 Самойленко Роман Володимирович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

У доповіді наведені результати досліджень, що спрямовані на підвищення ефективності ремонту засобів автомобільного транспорту (ЗАТ) за рахунок підвищення рівня інформаційного забезпечення виробничих процесів технічного обслуговування і ремонту (ТОіР).

Важливими складовими елементами процесу ефективного ремонтного виробництва є мехатронне операційне обладнання і наскрізні комп'ютерні технології. Саме таке поєднання відіграє вирішальну роль в забезпеченні необхідної якості продукції, раціональному використанню ресурсів, створенні оптимальних умов функціонування і економічної доцільності [1].

Застосування адитивних технологій продовжує поширюватись, вони поки займають невеликий відсоток на виробничих підприємствах, найчастіше використовуються для створення прототипів деталей [1–3]. Також за допомогою 3D-друку виготовляється багато унікальної та індивідуальної продукції. Існує можливість врахувати особливості виробів, обрати оптимальні режими друку, щоб покращити якість деталі і скоротити час на її подальшу обробку в умовах ТОіР.

Адитивне виробництво вже зараз використовується для виготовлення не лише прототипів, а також деталей і механізмів. Здобутки останніх років

дали змогу суттєво розширити номенклатуру матеріалів, що використовуються в 3D-друці. Розкид по вартості не дає широкий доступ до друку металами, проте інші технології набагато дешевші й більш розповсюджені. Також відзначимо, що існують пошкодження кузовних панелей, виправлення яких потребує виготовлення спеціальних накладок або нанесення значного шару компенсуючого покриття дорого вартісних шпаклівок [4, 5].

Технологія відновлення локальних пошкоджень кузовних панелей на принципах реверс-інжинірингу в умовах ТОiP включає технологічне та інформаційне забезпечення, застосування якого забезпечує сканування пошкодженої панелі, створення її 3D-моделі і FDM-друк накладки [5, 6].

3D-сканування має деякі обмеження пов'язані з кольором та фактурою, бо чорні та дзеркально гладкі поверхні скануються погано. Приклад поганої поверхні та оточення – чорний блискучий автомобіль, денне освітлення. Для сканування подібних поверхонь автомобіль доведеться матувати спеціальним спреєм, він забарвлює поверхню в білий, матовий колір, який легко сканується.

Другий проблемний момент – слабо виражена геометрія та текстура на деяких елементах автомобіля, наприклад – на капоті чи дверях. При скануванні таких елементів сканеру «нема за що вчепитися» і скани зшиваються програмою з великою похибкою, або сканер повідомляє, що втратив геометрію.

Виконується 3D-друк криволінійної накладки з верхньою і нижньою сканованими поверхнями. Верхня сканована поверхня відповідає поверхні панелі, яку потрібно відновити. В якості прототипу виступає непошкоджене аналогічне місце панелі подібного (або симетричне цього ж) автомобіля. Нижня сканована поверхня знімається з поверхні, що відновлюється. Між верхньою і нижньою сканованими поверхнями встановлюється координатна відповідність за допомогою маркерів, чорно-білих або світло відбиваючих стікерів, спеціально виконаних базових отворів.

Для інформаційного супроводження використовуються програмні засоби CAD-інжинірингу і слайсери [4, 6]. Також програма слайсер додає ребра жорсткості та підтримки, де вони потрібні. У FDM-друці існує декілька ключових напрямків модифікацій. Вони безпосередньо впливають як на сам процес друку, так і на його кінцевий результат. Із них можна зазначити напрямки впливу, такі як зміна товщини шару, вибір матеріалу та щільності заповнення моделі, використання під час друку підтримки та інше.

В рамках експерименту було розглянуто коефіцієнт щільності та типи внутрішнього заповнення, що застосовуються під час 3D-друку; проведено розрахунки теплового напруження та силових навантажень автомобільної накладки з різних матеріалів і різних типів заповнення у програмі Fusion 360.

Коефіцієнт щільності та типи заповнення, що використовуються під час 3D-друку, напряму пов'язані з міцністю отриманих виробів. Чим вища щільність заповнення, тим вище міцність і менше гнучкість накладки.

Типовий технологічний процес відновлення локальних пошкоджень кузовних панелей за принципами реверс-інжинірингу із застосуванням FDM-принтерів для виготовлення накладок із полімерних матеріалів включає наступні операції [7, 8].

1. Виконується рихтування для відновлення локальних пошкоджень кузовних панелей автомобіля. Вимоги до поверхні, що відновлюється, відповідають рівню лише попередньої або чорнової підготовки, без шпаклювання, зачистки і фарбування, потрібно забезпечити високий рівень адгезії для кріплення локальної вставки. Також можуть виконуватись по краях пошкодження 3 базових отвори діаметром 3 мм для базування і прив'язки сканованого зображення.

2. Виконується сканування місця відновлення на сканері. Апробовано використання «RandeVision», «Spectrum». До їх комплектності входили 3 об'єктиви, поворотний стіл для сканування з різних ракурсів.

3. В пакеті GeomagicDesign X виконується обробка сканованих зображень, вони поєднуються в одну модель в форматі STL-файлу для подальшої обробки. 3D-модель правимо і адаптуємо під друк. Для цього переводимо в твердотільну модель в САД програмі. Пропонується застосовувати Fusion 360 для роботи в опції MESH по параметричним або по базовим функціям. В переводі від сканованої моделі у вигляді трикутних полігонів виникає багато проблем пов'язаних з їх великою чисельністю. Трикутних полігонів повинно бути для Fusion 360 не більше 10 тисяч, а реальна чисельність становить 100 – 200 тисяч. Зменшити неможливо без втрати якості деталі. Тому треба діяти через програмні засоби Cura.

4. В пакеті GeomagicDesign X вирівнюється модель в системі координат і виконується автоматична розбивка на фрагменти поверхні накладки. Параметри розбивки підбираємо дослідним шляхом. Фрагменти можна об'єднувати і роз'єднувати, змінювати межі. Створюється площина і вектор спрямування в системі координат. По цій моделі вже виконується команда «Ескіз по сітці». Ескіз відображається по зовнішнім межах і сітці ординат. По зовнішнім межах – з невеликим запасом. Командою «Підігнати по сітці» робимо підгонку, командою «Обрізати» ріжемо непотрібне.

5. Пропонується варіант 3D-друку криволінійної накладки з верхньою і нижньою відсканованими поверхнями. Верхня сканована поверхня відповідає поверхні панелі, яку потрібно відновити. В якості прототипу виступає непошкоджене аналогічне місце панелі подібного (або симетричне цього ж) автомобіля. Нижня сканована поверхня знімається з поверхні, що відновлюється. Між верхньою і нижньою сканованими поверхнями встановлюється координатна відповідність по 3 базовим отворами.

6. Створену модель необхідно зберегти в форматі STL-файлу, після STL-файл завантажується в програму слайсер, де і формуються шари друку і налаштовуються інші настройки. Зберігаємо в форматі G-кода.

7. Модель готова до друку. Сам процес проходить безпосередньо за допомогою комбінованого FDM-друкузгідно розробленого G-кода. Процес друку відбувається за принципом нанесення розігрітого матеріалу до напіврідкого стану матеріалу на перший – нижній шар, а потім екструдер здійснюючи циклічні руху шар за шаром формує виріб, кожен наступний шар накладається на попередній.

8. Заключна операція передбачає точну орієнтацію і надійну фіксацію накладки механічними засобами або клейовими композиціями, зачистку і фарбування.

Для забезпечення міцності полімерного виробу застосовується поліфункціональний 3D-принтер з пристроями для модифікування матеріалів імпульсним високочастотним електромагнітним полем. Результати досліджень свідчать про перспективність запропонованої технології реверс-інжинірингу відновлення локальних пошкоджень кузовних панелей автомобіля і обґрунтованість прийнятих рішень.

Виконаний аналіз досягнутого рівня застосування адитивних технологій, можливостей способів реверс-інжинірингу відновлення панелей кузова виявив, що вони можуть бути ефективно застосовані для відновлення кузовних панелей автомобіля в умовах ТОiP. В запропонованій технології ремонту з використанням сканування як пошкодженої локації, так і поверхні, що відновлює початковий стан панелі, використовуються засоби технологічного та інформаційного забезпечення процесу реверс-інжинірингу. Для підвищення якості відновлення локальних пошкоджень кузовних панелей автомобіля виготовленням накладок із полімерних матеріалів FDM-друком доцільно застосування поліфункціональних 3D-принтерів на основі робочих комбінованих процесів генерації з модифікуванням високочастотним електромагнітним полем полімерних матеріалів.

Перелік посилань

1. Dudukalov Y., Ternyuk M., Kholodov M. et al., Synthesis of Fuel Systems Boron-Containing Metalized Fuels for Vehicles. *SAE Technical Paper*. 2020-01-2155. 2020, doi: 10.4271/2020-01-2155.

2. Дудукалов Ю.В., Сорокін В.Ф., Тернюк М.Е., Ківіренко О.Б. Формування способів підвищення ефективності застосування 3D-принтерів для комбінованого FDM-друку з модифікацією полімерних матеріалів. *Зб. ХАІ «Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології»*. 2023. 98. 99–113. doi: [10.32620/oikit.2023.98.09](https://doi.org/10.32620/oikit.2023.98.09)

3. Пермяков О.А., Яковенко І.Е., Калініченко В.А., Скиба О.С., Южкович П. Реверсивний інжиніринг та впровадження сучасних методів і

засобів контрольних операцій. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні*. 2023. 2 (8). 91–99.

4. Воронков С.В., Дудукалов Ю.В., Гуцин І.В. Класифікаційні характеристики дефектів FDM-друку полімерними композиційними матеріалами виробів складної геометричної форми. *Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств* : III Всеукраїнський науково-практичний онлайн-семінар : збірник матеріалів : 29 травня 2024 р. Харків, ХНАДУ, 2024. 57–59.

5. Дудукалов Ю.В., Литовка Д.А., Воронков С.В. Іноваційний спосіб забезпечення бездефектного FDM-друку виробів складної геометричної форми. *Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи* : IV Міжнародна науково-практична інтернет конференція : збірник матеріалів : 20-21 березня 2025 р. Полтава, 2025. 319–323.

6. Дудукалов Ю.В., Ковальов Б. В. Методика комбінованого FDM-друку модифікуванням полімерних матеріалів. *Матеріалознавство і технології* : Міжнародна науково-технічна конференція : тези: ХНАДУ, 2022. 178–183.

7. Дудукалов Ю.В., Глушкова Д.Б., Багров В.А., Сорокін В.Ф. та інші 3D-принтер для комбінованого друку об'єктів. № у 202107787 від 03.08.2022, Бюл. № 31.

8. Кавуля І.В., Дудукалов Ю.В., Власов Я.О. 3D-принтери для бездефектного FDM друку з модифікацією електромагнітним полем виробів із полімерних матеріалів. *Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств* : III Всеукраїнський науково-практичний онлайн-семінар : збірник матеріалів : 29 травня 2024 р. Харків, ХНАДУ, 2024. 70–73.

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРУЖНОЇ ВТУЛКИ ІЗ МАГНІТОРЕОЛОГІЧНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ШАРНІРІВ ПІДВІСОК ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

д-р техн. наук, професор Дущенко Владислав Васильович

д-р техн. наук, професор Маслієв Вячеслав Георгійович

аспірант Якунін Олександр Олександрович

Харківський національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

канд. техн. наук, доцент Нанівський Роман Антонович

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

PhD. Маслієв Антон Олегович

Збройні Сили України

На часі спостерігається поширення використання в техніці «Smart» матеріалів, інакше – магнітореологічних еластомерів (MRE), завдяки тому, що їх жорсткість та демпфуючі властивості суттєво змінюються під впливом магнітного поля, яке називають «керуючим». До прикладу, такі матеріали

рекомендовано використовувати у регульованих підвісках транспортних засобів для підвищення їх плавності руху[1].

Доведено, що діапазони змін жорсткості та демпфуючих властивостей МРЕ визначається характером розподілу частинок феромагнітного порошку наповнювача в межах пружної матриці.

Найбільший діапазон цих змін спостерігається при анізотропній структурі МРЕ, коли частинки наповнювача утворюють конгломерати, які розташовані уздовж ліній регулюючого магнітного поля. Для досягнення максимального ефекту щодо збільшення жорсткості та демпфуючих властивостей МРЕ необхідно забезпечити спів падіння напрямків конгломератів, вектору індукції керуючого магнітного поля та деформацій МРЕ. Для цього розроблено технологію виготовлення пружних шарнірів із анізотропним МРЕ. Вона полягає у тому, що тороподібну порожнину форми заповнюють композитом із рідкого полімеру та порошку феромагнетиту і виконану із еластичного провідника струму торо подібну котушку керування. Форму розміщують до термошафи, а до тороподібної котушки керування подають постійний електричний струм, щільність якого, час подачі та температуру у термошафи задають у відповідності до встановленої технології полімеризації даного МРЕ.

Отримані за цією технологією пружні втулки із анізотропним МРЕ може бути використано при створенні шарнірів важелів керованих підвісок автомобілів та повідцевих зв'язків колісних пар із рамами візків залізничних транспортних засобів.

Перелік посилань

1. Dushchenko V.V., Liubarskyi B.G., Masliev A.O., Nanivskyi R.A., Masliev V.G., Ahapov O.M., Iakunin D.I. Increasing the damping properties of the magnetorheological actuator of the vehicle suspension control system. // *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2024, no. 5, pp. 77-86. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2024.5.11>

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПОВОРОТУ ВІЗКІВ БЕЗПЛОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

д-р техн. наук, професор Клец Дмитро Михайлович
д-р техн. наук, професор Коробко Андрій Іванович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Сучасні безпілотні транспортні засоби характеризуються високими вимогами до точності керування траєкторією руху, особливо під час маневрування та проходження поворотів. Одним із ключових елементів забезпечення стійкості руху є система стабілізації повороту візків, яка

повинна компенсувати зовнішні збурення, забезпечувати курсову стійкість та мінімізувати відхилення від заданої траєкторії.

Принципи побудови системи стабілізації.

Системний підхід до моделювання динаміки візка. Візок безпілотного транспортного засобу розглядається як нелінійна динамічна система з обмеженнями неголономного типу, що визначають кінематичні зв'язки між швидкістю, кутом повороту та положенням. Врахування неголономності дозволяє формувати адекватні закони керування, які забезпечують асимптотичну стійкість руху навіть за наявності збурень. Математична модель повинна включати параметри маси, моментів інерції, характеристик шин та взаємодії з опорною поверхнею. [1]

Використання багаторівневої структури керування. На нижньому рівні реалізуються регулятори виконавчих механізмів (електроприводи коліс, гідроприводи повороту), які забезпечують швидкодію та точність виконання команд. Як показано у дослідженнях, застосування ПД-регуляторів дозволяє досягти відсутності статичної похибки та забезпечити стійкість системи до збурень. Верхній рівень формує керуючі впливи на основі аналізу траєкторії та стану системи. [2]

Комбіноване керування поворотом візка, що передбачає використання декількох керуючих впливів. Зокрема, ефективним є поєднання геометричного повороту коліс і диференціального розподілу тягових моментів між лівим і правим бортами. Такий підхід дозволяє зменшити опір повороту, підвищити маневреність та забезпечити більш точне відпрацювання траєкторії руху. У безпілотних системах це реалізується автоматично на основі даних датчиків. [3]

Інтеграція системи стабілізації з сенсорною підсистемою. Безпілотний транспортний засіб використовує комплекс датчиків (інерціальні вимірювальні модулі, лідари, камери), які забезпечують оцінку положення, швидкості та зовнішніх умов руху. Використання розширюваних сенсорних систем дозволяє формувати адаптивні алгоритми керування, інваріантні до змін середовища [4]. Це особливо важливо для руху в умовах невизначеності або змінних дорожніх умов.

Застосування методів робастного та адаптивного керування. Оскільки параметри системи можуть змінюватися (завантаження, стан дорожнього покриття, знос шин), система стабілізації повинна забезпечувати стійкість при параметричних невизначеностях. У сучасних дослідженнях використовуються методи модального керування, спостерігачі стану та алгоритми оптимального керування, що дозволяють підвищити точність стабілізації та зменшити вплив збурень [5].

Врахування динаміки курсової стійкості транспортного засобу. Під час повороту важливим є контроль кута заносу та розподілу гальмівних і тягових сил. Дослідження показують, що стабілізація курсового кута може

здійснюватися за рахунок диференційованого гальмування або перерозподілу моментів між колесами, що дозволяє зменшити ризик втрати стійкості [6].

Перелік посилань

1. Grushkovskaya, V.V. & Zuyev, Alexander. (2019). Stabilization of underactuated nonlinear systems to non - feasible curves. PAMM. 19. 10.1002/pamm.201900160.
2. Микитченко В.В., Паянок О.А. Система стабілізації швидкості транспортного засобу на базі мотор-коліс. *Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2023)* : Всеукраїнська науково-практична Інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців : тези доповідей, м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 22.06.2023 р.
3. Подригало М., Гармаш В., Горєлишев О., Баулін Д., Яровой Г., Сидоренко І. Поліпшення маневреності колісного транспортного засобу шляхом вдосконалення способу управління поворотом. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Машинознавство та САПР*. 2023. 1. 68–75. doi: 10.20998/2079-0775.2023.1.07.
4. Шістеров І. Ю. Графова модель керування рухом безпілотного транспортного засобу : пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія. Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків, 2024. 64 с.
5. Теряєв В.І., Желінський М.М., Приймак Б.І., Зайченко О.А. Стабілізація системи електромагнітного підвішування методами модального керування та спостереження стану. Електромеханічне перетворення енергії. 2025. 4. doi: <https://doi.org/10.15407/techned2025.04.062>
6. Алгоритм динамічної стабілізації курсового кута транспортного засобу при гальмуванні / В. Волков, І. Грицук, Т. Волкова та ін. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2021. 1. 33-44.

МЕТРОЛОГІЧНЕ ТА ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕНИХ ДЕТАЛЕЙ РУХОМОГО СКЛАДУ

канд. техн. наук, доцент Комарова Ганна Леонідівна
здобувач Крушельницький Захар Володимирович
здобувач Ковальова Маргарита Сергіївна
здобувач Гордієнко Владислав Віталійович
Український державний університет залізничного транспорту

Ефективна експлуатація залізничного транспорту в сучасних умовах безпосередньо пов'язана з розробкою та впровадженням прогресивних

методів відновлення зношених деталей. Широке застосування технологій наплавлення, напилення та механічного зміцнення дозволяє значно подовжити ресурс вузлів, проте потребує суворого дотримання метрологічних норм для гарантування їхньої експлуатаційної надійності. Забезпечення якості відновлених вузлів, зокрема шийок осей колісних пар та валів тягових двигунів, базується на системному підході до контролю на всіх етапах ремонтного циклу, що відповідає сучасним вимогам до систем управління якістю [1].

Якість виробу закладається на етапі проектування, проте для залізничного транспорту вирішальним є етап відновлення під час технічного обслуговування. Місце контролю в загальній структурі існування деталі визначає її подальший ресурс. На рисунку 1 подано структуру контролю як ключового елемента безпеки та довговічності технічних систем.

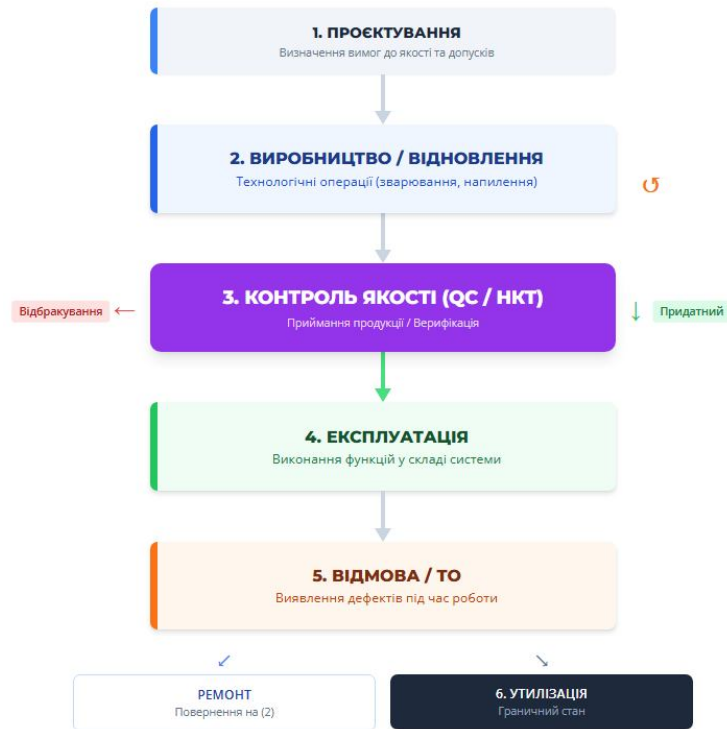


Рисунок 1 – Узагальнена схема життєвого циклу технічного елемента та місце контролю

Представлена модель демонструє, що етап технічного контролю є детермінуючою ланкою між процесом відновлення та поверненням об'єкта в експлуатацію. Метрологічне підтвердження параметрів на даному етапі дозволяє запобігти розвитку втомних пошкоджень, оскільки будь-яка невідповідність, допущена під час ремонту, стає концентратором напружень у майбутньому. Особливої ваги це набуває при використанні наноструктурованих матеріалів у транспортних технологіях, де контроль

функціональних параметрів вимагає спеціалізованого метрологічного забезпечення [2].

Процес відновлення характеризується високою ймовірністю виникнення специфічних технологічних дефектів. Аналіз відмов рухомого складу свідчить, що основними чинниками зниження експлуатаційного ресурсу є температурні деформації та порушення мікрогеометрії поверхонь. Дослідження підтверджують, що параметри шорсткості чинять визначальний вплив на умови тертя та інтенсивність зносу деталей, особливо тих, що виготовлені з високоміцних чавунів [3]. Результати ідентифікації типових технологічних дефектів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Класифікація технологічних дефектів та механізми їх попередження

Назва дефекту	Технологічний чинник утворення	Наслідки для експлуатаційної надійності	Заходи метрологічного та технологічного контролю
Термічні мікротріщини	Порушення швидкості нагріву/охолодження	Ініціювання втомного руйнування матеріалу	Автоматизований пірометричний моніторинг зони обробки
Недостатня адгезія	Невідповідність параметрів шорсткості підкладки	Відшарування зміцненого шару під навантаженням	Контроль параметрів шорсткості та чистоти поверхні
Відхилення геометричної форми	Похибки базування або знос різального інструменту	Порушення умов посадки, інтенсифікація вібрацій	Застосування каліброваних ЗВТ та атестація обладнання
Зміна мікроструктури	Недотримання параметрів кристалізації наплаву	Неоднорідність твердості та прискорений знос	Інструментальний контроль режимів енергопідводу

Аналіз представлених даних свідчить про метрологічну природу більшості відхилень, що виникають у процесі реновації. Зокрема, термічні дефекти та невідповідність мікрорельєфу поверхні є наслідком некерованих технологічних циклів. Це зумовлює необхідність впровадження систем безперервного моніторингу параметрів середовища та інструментального контролю шорсткості безпосередньо у робочій зоні.

Для стабілізації якісних показників на ремонтних підприємствах залізничної галузі доцільним є перехід до управління на основі стандартизованих процедур оцінки відповідності. Фундаментальну роль у забезпеченні достовірності діагностики відіграє метрологічне підтвердження придатності вимірювальних систем. Впровадження стандартних операційних процедур (СОП) дозволяє мінімізувати вплив суб'єктивних чинників, що є

критично важливим при неруйнівному контролі вузлів зі складною структурою відновленого шару.

Вдосконалення метрологічного забезпечення та жорстка регламентація технологічних операцій є обов'язковими умовами підвищення якості ремонту рухомого складу. Впровадження системного підходу до контролю відновлених деталей забезпечує підвищення достовірності оцінки технічного стану вузлів за рахунок мінімізації похибок вимірювання та врахування впливу мікрогеометрії поверхні на триботехнічні характеристики елементів. Завдяки ранньому виявленню латентних технологічних дефектів, таких як приховані мікротріщини та зони термічного впливу, досягається зниження імовірності виникнення раптових втомних руйнувань у процесі експлуатації. Застосування науково обґрунтованого прогнозування залишку ресурсу на основі фактичних параметрів якості дозволяє оптимізувати міжремонтні інтервали. Практична реалізація розроблених рекомендацій та дотримання вимог стандартів управління якістю створюють підґрунтя для гарантування безпеки руху поїздів за одночасного підвищення економічної ефективності роботи залізничного транспорту в умовах дефіциту комплектуючих.

Перелік посилань

1. Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2015, IDT) : ДСТУ ISO 9001:2015. — [Чинний від 2016-07-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 22 с. (Національний стандарт України).

2. Метрологічне забезпечення контролю функціональних параметрів наноструктурованих матеріалів для інтелектуальних транспортних технологій / Е. С. Геворкян та ін. // Прогресивні технології засобів транспорту : тези доповідей 3-ї міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 03–04 груд. 2025 р.). Харків : УкрДУЗТ, 2025.

3. Вплив параметрів шорсткості на умови тертя і зносу деталей високоміцного чавуну / Н. Лалазарова та ін. // Scientific Progress: Theories, Applications and Global Impact : proc. of the 3rd Intern. Sci. And Pract. Conf. (Braga, Portugal, March 2–4, 2026). Braga : European Open ScienceSpace, 2026. С. 293–296. doi: 10.70286/EOSS-02.03.2026.

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ ВИПРОБУВАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЙ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ РЕГЛАМЕНТІВ

д-р техн. наук, професор Коробко Андрій Іванович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Введення в дію технічних регламентів на вимоги до продукції передбачає формування випробувальних лабораторій, що будуть виконувати

її випробування. Це передбачає не лише формальну наявність випробувальної інфраструктури, а й підтверджену здатність лабораторії забезпечувати достовірність, простежуваність та відтворюваність результатів вимірювань. Розглянемо поняття «метрологічна готовність» як інтегральну характеристику стану випробувальної лабораторії, що визначає її здатність коректно реалізовувати вимоги регламенту.

Метрологічна готовність розглядається як системна властивість, що формується сукупністю організаційних, технічних, методичних та кадрових факторів [1]. Вона відображає ступінь відповідності лабораторії вимогам нормативної бази (Технічних регламентів, стандартів) та акредитації.

Запропонована модель містить п'ять взаємозалежних підсистем:

- 1) нормативно-методична підсистема (N);
- 2) технічна підсистема (вимірювання) (M);
- 3) підсистема оцінювання невизначеності (U);
- 4) компетентнісна підсистема (C);
- 5) підсистема управління метрологічними ризиками (R).

Кожна підсистема оцінюється набором показників, що формують часткові коефіцієнти готовності.

Показник метрологічної готовності R_m представимо у виді зваженої функції окремих коефіцієнтів:

$$R_m = q_N N + q_M M + q_U U + q_C C + q_R R, \quad (1)$$

де q_N , q_M , q_U , q_C , q_R – коефіцієнти вагомості підсистеми нормативної, технічної, оцінювання невизначеності, компетентнісної, управління ризиками відповідно.

Значення окремих коефіцієнтів нормуються в діапазоні $[0;1]$.

Чим вище здатність лабораторії кількісно оцінювати ризик, тим вище значення коефіцієнту R .

На основі значення R_m пропонується виділити три рівні:

- високий (0,80–1,00) – лабораторія повністю готова до застосування регламенту; ризик помилкових рішень мінімізовано;
- середній (0,60–0,79) – необхідно вдосконалення окремих підсистем;
- низький (<0,60) – застосування регламенту має формальний характер; необхідна модернізація системи.

Розроблена модель може використовуватись:

- під час само оцінювання лабораторії щодо готовності до застосування регламенту;
- під час підготовки до акредитації – формування сфери акредитації та матеріально-технічної бази;
- при призначенні органів затвердження типу (технічних служб);
- як інструмент аудиту метрологічної діяльності.

Перелік посилань

1. Коробко А., Подригало М., Радченко Ю. Система метрологічного

забезпечення випробувальної лабораторії. *Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал*. 2014. № 6 (50). С. 24–28.

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РОЗРАХУНКУ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

д-р техн. наук, професор Коробко Андрій Іванович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Розрахунок невизначеності вимірювання є невід'ємною процедурою під час оброблення результатів вимірювання при випробуваннях. На основі встановленої невизначеності вимірювання приймається рішення щодо відповідності об'єкту випробувань встановленим вимогам [1]. Крім цього, лабораторія повинна звітувати щодо невизначеності вимірювання, отриманої в ході випробувань [1]. З огляду на це, автоматизація процесу розрахунку невизначеності є актуальним питанням, розв'язання якого в сумісності з автоматичним формуванням звіту про невизначеність забезпечить ефективну роботу системи управління лабораторії у цьому напрямку. В роботі [2] запропоновано інформаційну модель випробувальної лабораторії. У цій моделі передбачені усі функції роботи лабораторії, від прийняття заявки до видачі результатів, та передбачено автоматизацію роботи системи менеджменту. Окремим модулем представлено блок розрахунку невизначеності вимірювання. Віртуальна лабораторія, що представлена у [2] побудована з використанням бази даних Microsoft Access. Ця платформа вибрана через її доступність широкому загалу, легкість в освоєнні інтерфейсу та можливість працювати у віддаленому доступі.

Структурно модуль оцінювання невизначеності складається з:

- таблиць: «Запис», «Результат», «Вид вимірювань»; причому, таблиці «Запис» і «Результат» поєднані відношенням «Один до багатьох» за полем «Код Запису» із забезпеченням цілісності даних та каскадним оновленням;
- запитів: «Невизначеність», «Невизначеність А», «Невизначеність А_STDev», «Невизначеність В», «Невизначеність Звіт», що забезпечують розрахунок невизначеності за її видами;
- звіту «Журнал», що побудований за формою встановленою в лабораторії;
- форм: «Вид вимірювань», «Запис», «Невизначеність», «Результат».

Вхідними даними для розрахунку невизначеності у модулі є: засіб вимірювальної техніки, безпосередньо результати вимірювання (не менше трьох), коефіцієнт охоплення та прізвище особи, що здійснює розрахунок. Після натискання кнопки «Розрахунок» на екран виводиться уся інформація, що необхідна для складання бюджету невизначеності. Натискання кнопки

«Журнал» виводить на екран бюджет невизначеності за встановленою формою та може бути надрукований.

Перелік посилань

1. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Acting on 2021-07-01.
2. Коробко А. І., Шатіхіна В. Є. Віртуальний тренажер акредитованої випробувальної лабораторії. *Перспективні технології та прилади*. 2020. Випуск 17. С. 72–78

ПРОБЛЕМА ФОРМУВАННЯ КОМПЕТЕНТНОСТІ МЕНЕДЖЕРА З ЯКОСТІ

д-р техн. наук, професор Коробко Андрій Іванович
канд. техн. наук, доцент Костенко Юрій Олексійович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

В умовах посилення вимог до якості продукції та послуг, гармонізації стандартів з міжнародними нормами та постійного оновлення нормативної бази особливої значущості набуває не лише впровадження систем управління якістю (СУЯ), а й якісна підготовка фахівців, які здатні ефективно їх реалізовувати. Ключовою особою у цьому процесі виступає менеджер з якості. Його професійна компетентність багато в чому визначається рівнем його знань та здатністю передавати ці знання іншим учасникам виробничих та управлінських процесів.

Сучасний менеджер з якості – це не лише «знавець» (фахівець) нормативних вимог, методів контролю та оцінювання відповідності. В організації він є «внутрішнім провідником культури якості». Він виконує важливу навчальну та консультативну функцію. Саме через навчання персоналу, формування розуміння процесного підходу, ризик-орієнтованого мислення та принципів постійного покращення менеджер з якості забезпечує реальне, а не формальне функціонування СУЯ. Формування його компетентності є безперервним освітнім процесом. Цей процес складається, зокрема, і з розвитку педагогічних умінь. Здатність організувати навчання співробітників, розробляти методичні матеріали, проводити внутрішні тренінги та аудити стає невід'ємною частиною професійного профілю менеджера з якості.

Таким чином, проблема формування компетентності менеджера з якості тісно пов'язана з питаннями його навчання та педагогічної діяльності, що робить цей напрямок актуальним як у науковому, так і в прикладному аспектах.

Існуючі літературні джерела утворюють логічно пов'язаний масив досліджень, у якому компетентність в управлінні якістю розглядається з трьох різних ракурсів: концептуального, практико-діяльнісного та освітнього. Такий поділ дозволяє побачити еволюцію наукового розуміння: від визначення «що таке компетентність» через призму «як вона проявляється в роботі» до «як готують фахівців». Водночас, саме між цими групами і виникає наукова прогалина. Відсутня ланка, що поєднує ці три площини: як побудувати системний процес формування компетентності менеджера з якості в навчанні з урахуванням реальної діяльності та з урахуванням того, що менеджер з якості сам виступає суб'єктом навчання персоналу.

ЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

д-р. техн. наук, професор Коробко Андрій Іванович
аспірант Семенов Ілля Владиславович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Транспортні системи на основі вантажних автомобілів розглядаються в сучасній літературі як складні багаторівневі організаційно-технічні системи. Ефективність таких систем визначається не лише характеристиками рухомого складу, а й структурою транспортної мережі, параметрами вантажопотоків, конфігурацією логістичних вузлів, якістю інформаційного забезпечення та умовами інформаційного забезпечення. У дослідженнях, присвячених оцінюванню функціонування таких систем, обґрунтовано необхідність застосування багатокритеріального підходу, що враховує продуктивність, надійність, своєчасність доставки, рівень використання ресурсів, економічну результативність, екологічні наслідки та якість транспортної послуги. Сучасні роботи також демонструють перехід від традиційних показників транспортної роботи до комплексніших моделей аналізу, заснованих на мережевому поданні вантажних потоків, цифровому моніторингу, обробці великих даних та системній оцінці ефективності функціонування вантажного автомобільного транспорту.

Аналіз літературних джерел [1–10] показує, що в сучасній науковій літературі ефективність транспортних систем та вантажних перевезень розглядається як багатокритеріальна категорія, яка оцінюється не за одним показником, а через декілька груп факторів та індикаторів. Зокрема, у роботах [1–3] акцент робиться на сервісно-економічних та експлуатаційних показниках: своєчасності доставки, надійності транспортного обслуговування, вартості перевезень, продуктивності, рівні використання

ресурсів, якості логістичного сервісу, а також екологічних та соціальних ефектах. Такий підхід демонструє, що ефективність перевізного процесу формується під впливом як прямих витрат і результатів, а й ширших характеристик функціонування транспортної системи.

Інша група досліджень [4–7] розглядає ефективність на рівні методології, моделей оцінювання та організаційно-управлінських факторів. Тут аналізуються підходи щодо вимірювання ефективності транспортних систем, стійкості міської логістики, бар'єрів трансформації транспортних процесів, а також можливості використання великих даних для опису та прогнозування поведінки вантажних потоків. Ці роботи підтверджують, що в практичній діяльності оцінювання, зазвичай, виділяються структурно-організаційні, інформаційно-аналітичні, інфраструктурні та управлінські чинники, що визначають результативність транспортної діяльності.

Окремий напрямок досліджень [8–10] зосереджений на просторово-мережових та транспортно-технологічних аспектах ефективності. Автори цих досліджень пов'язують ефективність зі зміною вантажних потоків, розміщенням зон навантаження-розвантаження, динамікою руху вантажного транспорту, взаємодією учасників транспортної мережі та оптимізацією рішень лише на рівні міської логістики. Таким чином, у літературі досить повно розкрито зовнішні умови функціонування процесу перевезень: маршрутна організація, інфраструктурні обмеження, розподіл попиту, транспортна політика, цифровізація та взаємодія елементів логістичної мережі.

Однак, за всієї широти охоплення, більшість розглянутих робіт поєднує одне суттєве обмеження: об'єктом оцінювання виступає переважно транспортна система, процес перевезень або логістична мережа, але не сам транспортний засіб, зокрема автомобільний, (АТЗ) як функціональний носій перевезення. Навіть коли згадуються надійність, стійкість чи продуктивність перевезень, ці характеристики, зазвичай, трактуються лише на рівні сервісу, операцій, потоків чи організаційних рішень, а не лише на рівні технічного стану, працездатності й функціональної стабільності конкретного АТЗ.

Тож, можна констатувати, що існуючі підходи до дослідження ефективності функціонування транспортних систем недостатньо враховують вплив внутрішнього стану транспортного засобу на підсумкову ефективність процесу перевезень. Тим не менше, саме технічний стан вузлів та систем, надійність агрегатів, залишковий ресурс, стійкість параметрів, що регулюються, ймовірність відмов, здатність зберігати експлуатаційні властивості в різних режимах та умовах експлуатації безпосередньо визначають, чи зможе АТЗ забезпечити необхідну продуктивність, регулярність, безпеку та економічність перевезення. Тобто, ефективність транспортної системи у відомій літературі найчастіше оцінюється як функція зовнішньої організації перевезень, але не як результат спільної дії зовнішніх умов та внутрішньої функціональної стабільності транспортного засобу.

Перелік посилань

1. Blanquart Corinne, & Burmeister Antje. (2009). Evaluating the performance of freight transport: A service approach. *European Transport Research Review*. 1. 135-145. [10.1007/s12544-009-0014-5](https://doi.org/10.1007/s12544-009-0014-5).
 2. Krishna Kumar Dadsena, S.P. Sarmah, V.N.A. Naikan, K. Mathiyazhagan, & Vasco Sanchez Rodrigues. (2023). Performance measurement of road freight transportation: A case of trucking industry. *Transport Policy*. 137. 125-140. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.04.015>.
 3. Paula Morella, María Pilar Lambán, Jesús Royo, & Juan Carlos Sánchez. (2022). Evaluating the impact of new trends in urban freight transportation attending the triple bottom line: A case study. *Computers & Industrial Engineering*. 174. 108756. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108756>.
 4. Victorino T., & Peña C. R. (2023). The Development of Efficiency Analysis in Transportation Systems: A Bibliometric and Systematic Review. *Sustainability*. 15(13). 10300. <https://doi.org/10.3390/su151310300>
 5. Kaszubowski D. (2019). A Method for the Evaluation of Urban Freight Transport Models as a Tool for Improving the Delivery of Sustainable Urban Transport Policy. *Sustainability*. 11(6). 1535. <https://doi.org/10.3390/su11061535>
 6. Kervall M., & Pålsson H. Barriers to change in urban freight systems: a systematic literature review. *Eur. Transp. Res. Rev.* 14. 29 (2022). <https://doi.org/10.1186/s12544-022-00553-2>
 7. Shoman W., Yeh S., & Sprei F. et al. (2023). A Review of Big Data in Road Freight Transport Modeling: Gaps and Potentials. *Data Sci. Transp.* 5, 2. <https://doi.org/10.1007/s42421-023-00065-y>
 8. Yitao Yang, Bin Jia, Xiao-Yong Yan, Yan Chen, Lóránt Tavasszy, Michiel de Bok, Zhuotong Bai, Erjian Liu, & Ziyu Gao. (2024). Structure and dynamics of urban freight truck movements: A complex network theory perspective. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 158. 104442. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2023.104442>.
 9. Diana M., Pirra M. & Woodcock A. (2020). Freight distribution in urban areas: a method to select the most important loading and unloading areas and a survey tool to investigate related demand patterns. *Eur. Transp. Res. Rev.* 12, 40. <https://doi.org/10.1186/s12544-020-00430-w>
 10. Zhang Bo, Yao Tao, Friesz Terry, & Liu Hongcheng. (2012). Urban Freight Transportation Planning: A Dynamic Stackelberg Game-Theoretic Approach. <https://arxiv.org/abs/1211.3950>
-

КОНЦЕПЦІЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ АДАПТАЦІЇ АВТОПОЇЗДІВ-ЗЕРНОВОЗІВ ДО УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗА НЕСТАБІЛЬНОЇ МАСИ ВАНТАЖУ

д-р техн. наук, професор Коробко Андрій Іванович
аспірант Семенов Ілля Владиславович
Харківській національній автомобільно-дорожній університет

Проблема підвищення ефективності перевезення зернових культур в Україні тісно пов'язана з необхідністю врахування специфічних характеристик вантажу. Ключовою особливістю зерна є значна варіативність його насипної щільності, яка залежить від виду культури (пшениця, ячмінь, овес, соняшник), вологості та умов завантаження. Для автопоїздів типу КрАЗ «Караван-2» [1] це створює ситуацію, коли при незмінному об'ємі кузова повна маса транспортного засобу може змінюватися майже вдвічі, що докорінно змінює його динамічні та економічні показники.

Об'єктом дослідження є процес руху автопоїзда у складі самоскида КрАЗ-6511 С4 та причепа РСWi-33. Головна наукова проблема полягає у втраті функціональної стійкості системи при роботі з «легкими» або «важкими» вантажами, якщо стратегія керування залишається незмінною. Нестабільна маса призводить до зміщення центру мас, зміни інерційності та перерозподілу навантажень на ведучі осі, що безпосередньо впливає на зчеплення коліс із дорогою та витрату палива.

У роботі пропонується підхід, за якого зерновоз розглядається як адаптивна система, що здатна коригувати свої вихідні параметри (швидкість, потужність) залежно від вхідних змінних (щільність вантажу). Функціональна адаптація реалізується через зміну режиму роботи двигуна Weichai Power та вибір раціональних передач у трансмісії Fast Gear [2].

Основними аспектами моделі адаптації є:

1) динамічна адаптація: врахування поточної ваги вантажу для запобігання буксуванню. При низькій щільності зерна знижується нормальний тиск на ведучі колеса, що обмежує можливість реалізації максимальної тяги на підйомах;

2) енергетична адаптація: оцінка інерційності автопоїзда через приведену масу. Система має підбирати такий швидкісний режим, який забезпечує мінімальні втрати енергії на подолання опорів руху, що особливо важливо в перехідних режимах (розгін, гальмування).

Аналіз експлуатаційних показників підтвердив, що адаптивне керування дозволяє нівелювати негативний вплив нестабільної маси. Встановлено, що при транспортуванні різних агрокультур витрата палива коливається в широкому діапазоні (понад 15 літрів на 100 км), проте впровадження алгоритмів функціональної адаптації дозволяє оптимізувати ці витрати. Використання методу оцінки прискорень дозволяє системі або

водієві ідентифікувати поточний стан навантаження та обирати найбільш безпечну і економічну швидкість руху на кожній ділянці маршруту.

Функціональна адаптація зерновоза є необхідною умовою забезпечення стабільності транспортного процесу в аграрному секторі. Запропонована модель дозволяє теоретично обґрунтувати параметри керування автопоїздом в умовах неповної інформації про вантаж, що сприяє підвищенню паливної економічності, збереженню ресурсу техніки та підвищенню безпеки дорожнього руху.

Перелік посилань

1. Стеганцева Д. «АвтоКрАЗ» створив для хліборобів унікальний зерновозний автопоїзд КрАЗ-6511С4 «Караван». Техніка і технології АПК. 2013. № 10 (49). С. 22-23.

2. Занько Р.В., Крайник Л.В., Горбай О.З. Основи конструктивного синтезу та динаміка спеціальних автомобілів і технологічних машин [монографія]. Львів: Вид-во Львівської політехніки. 2019. 256 с.

ДЕФЕКТИ ЗВАРНИХ ШВІВ ТА МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

канд. техн. наук, доцент Криворот Анатолій Ігорович
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Дефектами зварних швів називають відхилення від норм, установлених державними стандартами та технічними умовами на зварні з'єднання.

Основні причини утворення дефектів – порушення технології обробки, неправильна підготовка крайків, використання оснастки, наявність у зварюваному металі розшарувань, тріщин, погана зварюваність основного металу, невідповідність хімічного складу і властивостей присаджувального матеріалу, порушення режимів зварювання, низька кваліфікація зварника.

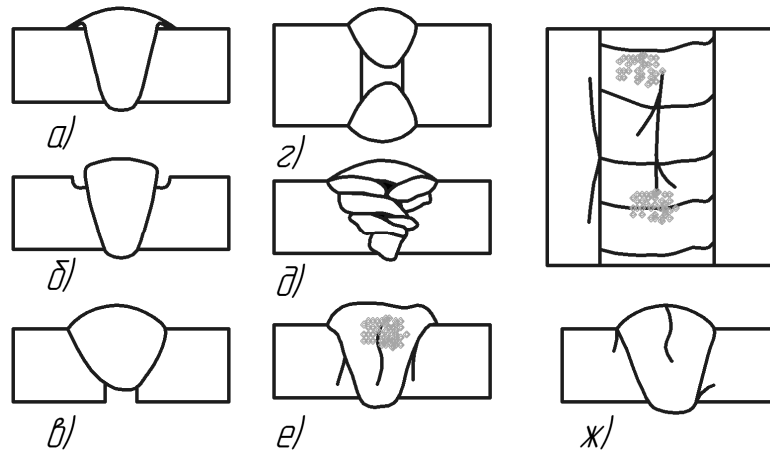
Дефекти швів бувають зовнішні та внутрішні. Зовнішні дефекти виявляються візуально, внутрішні – за допомогою відповідної апаратури.

Наплив (рис. 1, а) утворюються в разі дуже швидкого плавлення електрода і натікання рідкого металу на недостатньо нагріту поверхню основного металу. Утворюються під час зварювання горизонтальних швів. У місці напливів зварювання фактично не відбувається, тому їх видаляють і зварювання виконують знову.

Підрізи (рис. 1, б) – зменшення товщини основного металу в місцях переходу до наплавленого. Вони знижують міцність шва. Усуваються додатковим зварюванням вузьким стрічковим швом.

Непровар (рис. 1, в, г) кореня шва зменшує переріз металу і знижує міцність з'єднання. Причиною непровару є недостатня потужність джерела теплоти або дуже швидке його переміщення, малий нахил крайків, їх,

забруднення. Непровар по крайках (рис. 1, г) або між шарами – дуже небезпечний дефект, оскільки основний метал з наплавленим не зварюється.



а) наплив; б) подріз; в) не провар; г) внутрішній непровар; д) внутрішні тріщини і пори; е) внутрішні тріщини; ж) зовнішні тріщини і пори

Рисунок 1 – Види дефектів у зварних з'єднаннях

Пористість (рис. 1, д) утворюється внаслідок поганого очищення крайків від масла, фарби та ін., під час згоряння яких утворюються гази, що пінять метал. Пори утворюються також у результаті виділення шлаків, оксидів. Вони знижують герметичність. Їх виводять проковкою з нагріванням до світло-червоного кольору, або вирубують і зварюють знову.

Тріщини (рис. 1, е, ж) – найнебезпечніші дефекти зварного шва. Вони можуть виникати як при зварюванні – гарячі, так і після нього – холодні. Найчастіше тріщини з'являються в зоні термічного впливу через дуже великі напруження. Тріщини можуть бути зовнішніми та внутрішніми, розміщуватись вздовж або поперек шва. Тріщини недопустимі, тому їх необхідно вирубувати і заварити знову.

Контроль якості складається з методів, які попереджують утворення дефектів і виявляють допущені дефекти. Щоб забезпечити високу якість і надійність зварних з'єднань, необхідно виконати попередній, поопераційний та остаточний контроль.

У процесі попереднього та поопераційного контролю перевіряється якість основного металу і матеріалів, які зварюються, а також справність обладнання, приладів, інструменту, правильність складання, кваліфікація зварників і контролерів, дотримання технології та режимів зварювання, правильність положення швів, їх вид, розміри.

Контроль якості готових з'єднань проводиться відповідно до ДСТУ ISO 5817:2016 [1] і передбачає:

– візуальний контроль – зовнішній огляд зварних швів та визначення їх розмірів. Виконується після зачистки швів від шлаку неозброєним оком або за допомогою лупи з 10-ти кратним збільшенням. Дає змогу виявити зовнішні дефекти, відхилення до 0,1 мм;

– випробовування механічних властивостей наплавленого металу і зварних з'єднань, яке проводиться на зразках із пластин, зварених із того самого матеріалу і на тих самих режимах, що й виріб. Перевіряють тимчасовий опір відносно видовження, ударну в'язкість, твердість, а також технологічні проби на згин, злам та кручення;

– засвердлювання шва, що здійснюється при визначенні непровару крайків і кореня шва, наявності тріщин і перепалу. Свердло беруть на 3 мм більше від ширини шва з кутом заточки, який дорівнює куту розкриття шва. Поверхню отвору протравлюють 10 % розчином подвійної солі хлористої міді та амонію. Непровар стає видимим. Отвір після досліду заварюють;

– металографічний контроль, передбачає макро- і мікроаналіз зварного шва і проводиться на шліфах після їх протравлення 2-5 % спиртовим розчином азотної кислоти. Дає змогу виявити глибину і форму зварювальної ванни, напрям і розмір стовпчикових кристалів, розмір зони термічного впливу, характер і розміри дефектів, структурних складових металу;

– просвічування рентгенівськими і гамма-променями, яке дає змогу без руйнування зварного з'єднання виявити в ньому внутрішні дефекти і зафіксувати їх на плівці. Рентгенівськими променями просвічуються шви товщиною 50-100 мм, гамма-променями товщиною 300-350 мм. Застосовується в особливо відповідальних випадках;

– магнітні методи контролю, що складаються з порошкової і магнітографічної дефектоскопії і застосовуються для феромагнітних матеріалів, і базуються на виникненні полів розсіяння в дефектних місцях на невеликій глибині (2-8 мм);

При магнітопорошкової дефектоскопії (ДСТУ EN ISO 17638:2018 [1]) шов покривають сумішшю залізного порошку з мінеральним маслом, намагнічують виріб і спостерігають, як під дією магнітного поля часточки порошку збираються густіше біля дефектів. Це пояснюється утворенням у вказаних місцях магнітних полюсів. Дефекти на великій глибині не виявляються. Магнітографічний метод полягає у фіксуванні дефектів на феромагнітній плівці. Контролюється товщина до 25 мм.

Ультразвуковий метод контролю (ДСТУ EN ISO 17640:2018 [1]) заснований на здатності високочастотних звукових коливань (15-20 кГц) проникати в метал шва і відбиватися від поверхні різних середовищ (дефектів) у зворотному напрямі. Відбиті коливання уловлюються щупом приладу і перетворюються в електроімпульси, видимі на екрані. Виявляються дефекти площею понад 2 мм² при товщині металу понад 15 мм.

Випробування гасом (ДСТУ EN ISO 3452-1:2022 [1]) проводиться на металі товщиною понад 6 мм. Цей метод базується на здатності гасу просочуватися невидимими капілярами пор і тріщин. Шов з одного боку білять водним розчином крейди, а з другого змочують гасом. У разі наявності дефектів гас просочується через пори і утворює добре видимі плями у місцях

дефекту. Час випробувань залежить від товщини виробів або швів і становить від 40 хв до 2 год.

Вакуумний метод контролю полягає в тому, що шов змочують мильним розчином і на відрізок, де перевіряють якість, установлюють вакуумну камеру з кришкою з оргскла. При відкачуванні вакуумнасосом повітря із камери в ній будуть спостерігатись бульбашки в місцях розташування дефектів. Цей метод використовується згідно з ДСТУ EN 1593:2005 [1] і дає змогу виявити окремі пори діаметром 0,004 мм.

Люмінесцентний метод полягає в тому, що деталь опускають на 20-30 хв. у суміш гасу та масла, потім насухо витирають і занурюють у порошок магnezії, який прилипає в місцях, де з'явилося масло над тріщинами та мікропорами.

Корозійні випробування дають можливість оцінити стійкість зварних з'єднань проти загальної та міжкристалітної корозії. Перевіряють відповідальні вироби із нержавіючої сталі, алюмінієвих та інших сплавів.

Перелік посилань

1. Будстандарт. Нормативні документи України: онлайн-сервіс. URL: budstandart.com (дата звернення: 03.04.2026).

ОЦІНКА І ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ НА МАШИНОБУДІВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

доктор філософії (Ph.D) Кусков Микита Андрійович
Державний біотехнологічний університет

В умовах сучасності якість продукції стає вирішальним фактором, що визначає конкурентоспроможність машинобудівних підприємств. Посилення вимог споживачів та нормативних стандартів вимагають від виробників постійно оновлювати та вдосконалювати свої системи управління якістю.

Як одна з провідних галузей промисловості машинобудування займає ключову позицію в технічному переозброєнні економіки та в інноваційному зростанні країни. Продукція цієї галузі характеризується високим ступенем технічної складності, наукомісткістю та різноманітністю матеріалів, що використовуються, що обумовлює особливості підходів до забезпечення її якості.

Актуальність даного дослідження наголошується на необхідності розробки комплексних підходів до оцінки та підвищення якості продукції в машинобудуванні на тлі цифрової трансформації виробничих процесів та посилення глобальної конкуренції.

У машинобудуванні якість продукції має низку специфічних аспектів, пов'язаних із багатокomпонентністю виробів, складністю технологічних

процесів та довговічністю експлуатації. Параметри якості, які є базовими критеріями оцінки, різноманітні і взаємопов'язані. Визначення та управління цими параметрами вимагають комплексного підходу, що включає різноманітні методи.

Основні показники якості продукції:

- показники призначення (продуктивність, потужність, вантажопідйомність, точність роботи механізмів);
- показники надійності (довговічність, ремонтпридатність);
- показники технологічності (трудомісткість виготовлення, матеріалоємність, енергоємність);
- показники стандартизації та уніфікації (коефіцієнти застосування, повторюваності, взаємозамінності);
- ергономічні показники (гігієнічні, фізіологічні);
- естетичні показники (інформаційна виразність, раціональність форми, цілісність композиції);
- показники безпеки (механічної, електричної, термічної, екологічної);
- патентно-правові показники (патентний захист);
- економічні показники (собівартість, рентабельність).

На машинобудівних підприємствах застосовуються унікальні методи оцінки якості. Далі будуть розглянуті основні методики, які використовуються для аналізу та оцінки якості (таблиця 1).

Таблиця 1 – Методики оцінки якості продукції

Методи оцінки якості	Опис
SPC, Statistical Process Control	Метод статичного контролю процесів з метою оцінки стабільності процесів
FMEA, Failure Mode and Effects Analysis	Метод аналізу видів дефектів та їх наслідків для виявлення та запобігання можливим дефектам
Six Sigma	Якість за методом шести сигм для мінімізації дефектів у виробничому процесі
MSA, Measurement System Analysis	Метод, покликаний дати висновок щодо прийнятності використовуваної вимірювальної системи через кількісний вираз її характерності

Суть даних методик дозволяє не тільки виявляти недоліки та дефекти, а й значно скорочувати час на їх усунення, що зрештою сприяє підвищенню загальної ефективності виробничих процесів.

З метою підвищення рівня якості продукції на машинобудівному підприємстві активно використовуються сучасні підходи, такі як:

- впровадження системи менеджменту якості (СМЯ). Стандарт ISO 9001 є основою для створення та впровадження системи управління якістю на підприємстві. Система включає процеси, спрямовані на задоволення потреб споживачів, постійне поліпшення продукції та процесів виробництва;

– метод ощадливого виробництва (Lean Manufacturing). Бережливе виробництво спрямоване на усунення втрат та підвищення ефективності процесів. Основні інструменти:

- 1) система 5S (сортування, дотримання порядку, зміст у чистоті, стандартизація, вдосконалення);
- 2) канбан – система організації виробництва та постачання;
- 3) кайдзен – система безперервного вдосконалення;
- 4) пока-еке (PoKa-yoke) – методи запобігання помилкам;
- 5) TPM (Total Productive Maintenance) – загальний догляд за обладнанням;
- 6) SMED (Single-Minute Exchange of Die) – швидка переналагодження обладнання;

– автоматизація та цифровізація виробництва. Застосування сучасних технологій, таких як системи автоматизованого управління виробничими процесами (SCADA), сенсори та датчики, а також впровадження технологій штучного інтелекту та машинного навчання для прогнозування дефектів та підвищення якості продукції. Системи моніторингу, які використовують контрольні карти та інші статистичні інструменти, допомагають прогнозувати можливі майбутні проблеми, що дозволяє підприємству бути більш проактивним в управлінні якістю. Використання нейронних мереж для аналізу зображень дозволяє здійснювати візуальний контроль якості продукції, зводячи до мінімуму людський фактор та значно прискорюючи процес перевірки;

– призначення підходу Total Quality Management (TQM). Цей спосіб передбачає залучення всіх співробітників підприємства до процесів забезпечення якості, включаючи навчання, участь у прийнятті рішень та спільну роботу з покращення якості. Важливими аспектами ролі співробітників є їх поінформованість про стандартів та критерії якості, також систематичний збір зворотного зв'язку від співробітників має значення для виявлення проблемних областей та можливості їх оперативного усунення. Створення оточення, в якому кожен співробітник усвідомлює свою значущість і може брати активну участь у забезпеченні якості продукції, є забезпеченням конкурентоспроможності підприємства на ринку.

ОКРЕМІ АСПЕКТИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ МАШИН КРАЇН-ПАРТНЕРІВ В УМОВАХ ОСОБЛИВОГО ПЕРІОДУ

канд. техн. наук, доцент Леоненко Олександр Миколайович

Овчаренко Євген Іванович

Скобовят Юрій Миколайович

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Особливості використання автомобільної та електрогазової техніки (А та ЕГТ) в авіаційних частинах Повітряних Сил Збройних Сил України (ЗС України) в умовах особливого періоду (бойових дій) обумовлюються необхідністю в першу чергу вирішувати бойові задачі. Проте за будь-яких умов техніка повинна експлуатуватися відповідно до штатного призначення з дотриманням установлених технічних норм і правил, що передбачається прийнятою у ЗС України планово-попереджувальною системою технічного обслуговування (ТО) та ремонту машин [1]–[4].

Проведення ТО та ремонту озброєння та військової техніки (ОВТ) є однією з основних функцій логістичного забезпечення [5], [6].

У процесі експлуатації машин, зокрема в умовах виконання бойових завдань, на їх агрегати і системи діє велика кількість різних зовнішніх та внутрішніх факторів, причому вплив їх на надійність неоднаковий [7].

Своєчасне діагностування технічного стану машин дозволяє підтримувати на високому рівні їх надійність, зменшувати витрати запасних частин, матеріалів та трудових витрат на ТО і ремонт [3]. Для зразків А та ЕГТ діагностичні роботи становлять близько 30 % трудомісткості ТО і регламентних робіт (РР) та разом із регульовальними роботами включають до (17–20) % трудомісткості поточного ремонту (ПР) машини. Однак більш важливим є те, що потреба у регульовальних роботах ТО (РР), а також у ремонті машини, виявляється саме за результатами діагностичних робіт, а не під час руху чи у процесі використання за призначенням під час аеродромно-технічного забезпечення польотів (обслуговування повітряних суден).

В контексті війни російської федерації проти України у підрозділи ЗС України активно інтегрують зразки ОВТ іноземного виробництва, отримані від країн-партнерів. Цей процес охоплює також автомобільну техніку та автомобільні базові шасі зразків ОВТ різного призначення.

Аналогічно з вітчизняною планово-попереджувальною системою ТО та ремонту для зазначеної категорії машин застосовується схожа планово-попереджувальна модель ТО.

Проте особливістю експлуатації іноземних зразків ОВТ є дотримання певних фундаментальних принципів, зокрема стандартизації відповідно до норм НАТО (STANAG) та забезпечення здатності різних систем, пристроїв, програм ефективно взаємодіяти між собою. Це гарантує повну сумісність процедур, компонентів, обладнання та документації, що дозволяє силам НАТО спільно використовувати ресурси, логістику та технічну підтримку. Однак за поточних умов війни в Україні актуальним постає питання отримання повного комплексу подібної документації фактично для кожного з іноземних зразків ОВТ та їх імплементація до вітчизняної системи ТО та ремонту машин.

На підставі моніторингу порядку експлуатації, ТО і ремонту зразків ОВТ держав-партнерів в ЗС України та системного аналізу типових відмов і результатів їх бойового застосування опрацьовуються обґрунтовані комплексні заходи, спрямовані на підвищення експлуатаційної надійності,

бойової стійкості та ремонтпридатності з урахуванням актуальних бойових загроз (мінно-вибухові пристрої, FPV-БпЛА тощо) та логістичних обмежень.

Узагальненими та актуальними щодо удосконалення системи ТО і ремонту зразків ОВТ держав-партнерів слід розглядати такі пропозиції:

- організація локаційних центрів постачання основних агрегатів, запасних частин та приладдя (ЗІП);
- впровадження сучасних цифрових платформ на основі ІІІ, які забезпечують моніторинг стану техніки в реальному часі, автоматизоване планування ТО та швидке прийняття рішень;
- створення мобільних ремонтних груп, оснащених діагностичним обладнанням для виконання оцінки бойових ушкоджень, та запасів комплектів найбільш необхідних ЗІП для швидкого ремонту в бойових умовах;
- опрацювання стандартизованих інструкцій з ремонту в польових умовах, імплементованих до реальних умов виконання бойових завдань підрозділами ЗС України.

Перелік посилань

1. Наказ Міністерства оборони України від 01.07.2002 р. № 219 «Про затвердження Керівництва з експлуатації автомобільної техніки в ЗС України».
 2. Наказ Міністерства оборони України від 16.02.2016 р. № 77 «Про затвердження Інструкції з експлуатації електрогазової техніки в державній авіації України». – Режим доступу : <https://ips.ligazakon.net>.
 3. ДСТУ 9050:2020 «Система технічного обслуговування та ремонтування техніки. Терміни та визначення понять» (чинний від 01.04.2021 р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html>.
 4. Наказ Міністерства транспорту України «Про затвердження Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту» № 102 від 30.03.1998 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0268-98#Text>.
 5. Наказ Міністерства оборони України від 11.10.2016 р. № 522 «Про затвердження основних положень логістичного забезпечення ЗС України».
 6. ВКП 4-32(41).01 Доктрина «Сили логістики». – КСЛ ЗСУ, 2021. – 28 с.
 7. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://dnaop.com/html/2273/doc-ДСТУ_2860-94.
-

ОСОБЛИВОСТІ МОДАЛЬНОГО АНАЛІЗУ КУЗОВА НАПІВВАГОНА ІЗ ОБШИВКОЮ, УТВОРЕНОЮ ХВИЛЬОПОДІБНИМИ ЛИСТАМИ

д-р. техн. наук, професор Ловська Альона Олександрівна
аспірант Семенов В'ячеслав Петрович
Український державний університет залізничного транспорту

Залізничний транспорт є ключовим фактором успішного розвитку економіки Європи. На долю залізничного транспорту припадає привальований сегмент перевезень різнотипних вантажів [1–3]. Серед таких вантажів найбільш поширеними є насипні та навалювальні. Перевезення їх здійснюється в напіввагонах. Одним із найбільш пошкоджуваних елементів несучої конструкції напіввагонів є обшивка. Типову обшивку напіввагонів утворюють листи-виштамповки, які мають змінну за висотою товщину – від 5 мм знизу до 3 мм зверху. Наявність пошкоджень обшивки може волікти за собою не лише втрату вантажів на шляху прямування, а і загрожувати безпеці руху. Тому важливим є створення рішень, спрямованих на удосконалення обшивки несучих конструкцій напіввагонів.

Для покращення міцності обшивки несучої конструкції напіввагона пропонується її виготовлення із листів, які мають хвильоподібну конфігурацію (рис. 1).

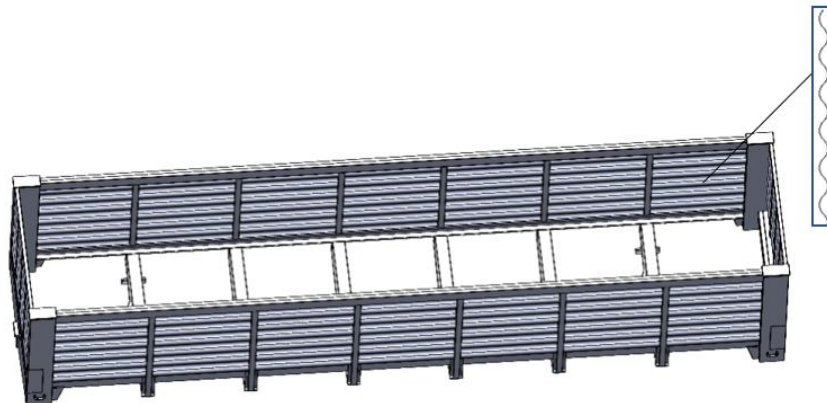


Рисунок 1 – Кузов напіввагона із обшивкою, утвореною хвильоподібними листами

Проведені теоретичні розрахунки щодо оптимізації геометричних параметрів такого листа, а також визначення міцності кузова підтвердили доцільність запропонованого рішення. Дослідження проведено на прикладі напіввагона моделі 12-757, який експлуатується на колії 1520 мм.

При використанні хвильоподібних листів в якості обшивки стін напіввагона маса його несучої конструкції зменшиться на 3,5 % у порівнянні із типовою. У зв'язку із цим, для забезпечення безпеки руху напіввагона важливим є модальний аналіз його конструкції. Для проведення модального аналізу застосовано програмний комплекс SolidWorks Simulation, який реалізує метод скінчених елементів. Розрахункова схема кузова напіввагона

враховувала такі силові фактори: вертикальне навантаження, яке діє на раму; тиск від насипного вантажу на бокові та торцеві стіни кузова; повздовжню силу, яка прикладалася до заднього упору автозчепу; реакцію на повздовжню силу, яка прикладалася до протилежного заднього упору автозчепу. Як насипний вантаж розглянуто кам'яне вугілля. Враховано, що тиск вантажу на бокові стіни розподілено за законом трикутника, який має максимум у основи. Скінчено-елементну модель сформовано тетраедрами. Вона налічує 403191 елемент та 133042 вузлів. Максимальний розмір елемента склав 80 мм, а мінімальний 16 мм.

Проведені розрахунки встановили, що значення першої власної частоти коливань несучої конструкції напіввагона складає 14,4 Гц (рис. 2). Тобто безпека руху з точки зору модального аналізу дотримується.

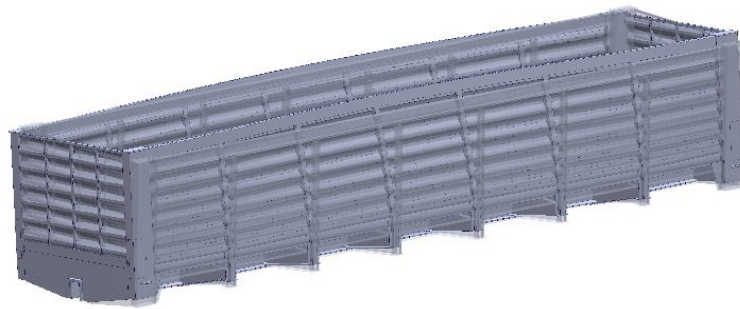


Рисунок 2 – Форма коливань кузова напіввагона при частоті 14,4 Гц

Подальшим розвитком даного дослідження є визначення втомної міцності несучої конструкції напіввагона із обшивкою, утвореною хвильоподібними листами.

Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо покращення техніко-економічних показників залізничних вагонів.

Перелік посилань

1. Woo Geun Lee, Jung-Seok Kim, Seung-Ju Sun, Jae-Yong Lim. The next generation material for lightweight railway car body structures: Magnesium alloys. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. 2018. Vol. 232. Issue 1. P. 25 – 42.
2. Alyona Lovska, Oleksandr Stanovskyi, Oksana Zharova, Yevheniia Naumenko, Yevhen Pelypenko. Identifying patterns in loading a gondola car body with reinforcing belts in the structure of side walls. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. №3/7 (129). P. 17 – 25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.303987>
3. Wenfei Liu, Liang Zhang, Cheng Bi, Yanling Huo, Ren Zhang, Zhengchu Wang. The Anti-Fatigue Design of 80 t Depressed-Center Gondola Car Body. *Processes*. 2022. Vol. 10, 1618. <https://doi.org/10.3390/pr10081618>

ПРО ОСОБЛИВОСТІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ J8 «АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ» ТА ЇХ ВПЛИВ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ І ГЛИБИНУ ОВОЛОДІННЯ СТУДЕНТАМИ КОМПЕТЕНЦІЯМИ БАКАЛАВРА

д-р техн. наук, професор Макаров Володимир Андрійович

канд. техн. наук, доцент Борисюк Дмитро Вікторович

Вінницький національний технічний університет

Вдовиченко Олександр Володимирович

Вінницький національний технічний університет

ГО «Вінницький музей моделей транспорту, ретротехніки, колекцій та мініатюр»

Вступ. Якщо розглянути перший семестр занять здобувачів спеціальності J8 «Автомобільний транспорт» (АТ), які тільки можуть бути переформованими зі школярів у студенти, то можна побачити різні «коріння» знання осіб для старту в процесі пізнання суті та діючої практики АТ. Колісні транспортні засоби (КТЗ) є самими важливими для переміщення вантажів та пасажирів планети. Загальна кількість КТЗ перевищує 1,5 мільярдів автомобілів, вагонів, мотоциклів, електричних самокатів тощо.

Найбільші господарчі та суспільні задачі Землі розв'язують автомобільні транспортні засоби (АТЗ). Таким чином, означені першокурсники вибрали перспективну спеціальність і треба дуже відповідально організувати і провести заняття по «Вступу до фаху», щоб забезпечити в майбутньому прогрес країні та щасливе життя випускникам, використанням отриманих в університеті компетенцій.

Основна частина. Мета подальшого процесу освіти – формування у першому семестрі навчання низки «доріг до студентів» з боку викладачів вищого навчального закладу (ВНЗ) для ініціювання та організації процесу пізнання транспортних наук та отримання необхідних компетенцій в кінці навчання.

Означене набуття знань і умінь може бути обумовлене спілкуванням студентів та зацікавлених вчителів університету, які невпинно слідкують за прогресом функціонування автомобільного транспорту та розвивають автомобільну науку сумісно з учнями. З першої лекції вони формують у студентів відчуття (спочатку незрозуміле і початкове), що слухачі є не тільки учнями, а разом з викладачем створюють нове знання для поліпшення рівня експлуатації рухомого складу автомобільного транспорту. В наведеній системі навчання існує також вагомий зворотній зв'язок. Видатний фізик П. Капиця наголошував про значущість спілкування вчених зі студентами та іншими зацікавленими наукою особами. Він привів два суттєвих приклади: Дмитро Менделєєв створив відому у всьому світі періодичну систему елементів (ПСЕ), коли треба було донести до слухачів інформацію, яка логічно пояснює місце кожного елемента в чисельному хаосі елементів в первинній природі планети; наявність ПСЕ дозволила прогнозувати появу нових, ще невідомих раніше елементів; інший приклад висвітлює процес

створення видатним математиком М. Лобачевським неевклідової геометрії. Він пояснював маститим царським чиновникам, що паралельні прямі лінії ніколи не пересікаються, а вони не вірили в можливість наявності такої події. Талановитий і амбіційний учений створив нову геометрію!

Таким чином, зазначене вище творче співробітництво може сприяти прогресу різних вагомих складових великої системи пізнання, що функціонує в навчальному закладі: вірно і практично діючим вченим університету – поглиблювати розв’язання наукових проблем з одночасним вихованням кваліфікованих послідовників – дослідників.

Аналіз життєвого циклу навчання студентів спеціальності J8 свідчить про тенденцію появи необхідності у молодих осіб стійкого бажання прийняти участь в практичній діяльності АТ. Означене вище обумовлене наступними чинниками:

- можливістю студента-водія здійснювати мобільне переміщення вантажів та пасажирів у просторі з допомогою автомобільного транспортного засобу;

- зростанням коштів, що витрачають для забезпечення життєвих потреб і освіти;

- великим запасом енергії та терпіння у молодих людей.

Вони закінчують автошколу і мають підтримку у вигляді прав на володіння автомобіля. Якщо є можливість отримати АТЗ на певний термін чи на постійно, то задумки по прийняттю участі безпосередньо в корисному русі автомобіля можна здійснити. Спостерігаються приклади успішного використання компетенцій спеціаліста АТ і водія, в деяких випадках також – підприємця.

Важливу підтримку студентам АТ для пізнання, формування та дослідження сучасних транспортних систем мають технічні музеї (рис. 1), які висвітлюють успішні та вольові рішення минулих автомобільних проблем (рис. 2). Вони можуть ініціювати у творчої людини уявлення про нові матеріальні структури з перспективними функціональними схемами управління процесами. Зазначені схеми можуть обумовити важливі поліпшення властивостей КТЗ щодо їх технічної експлуатації та подальшого ефективного використання в транспортній логістиці.

З цією метою у м. Вінниця функціонує тристоронній договір про співпрацю між Департаментом маркетингу міста та туризму Вінницької міської ради, Громадською організацією «Вінницький музей моделей транспорту, ретротехніки, колекцій та мініатюр» та Вінницьким національним технічним університетом.

Слід також урахувати значущі питання зниження рівня аварійності на автомобільних дорогах країни. Безпека дорожнього руху (БДР) є одним з ключових аспектів державної політики у сфері транспорту. БДР безпосередньо впливає на наступне: рівень життя населення, систему стабільності та розвиток країн [1, 2].

Висновок. Отже, спеціальність J8 «Автомобільний транспорт» пропонує стабільні кар'єрні перспективи, поєднуючи інженерію та сучасні технології. Випускники є затребуваними фахівцями з експлуатації, технічного обслуговування, ремонту автомобілів, а також організації перевезень.



Рисунок 1 – Проходження навчальної практики здобувачами вищої освіти спеціальності J8 «Автомобільний транспорт» Вінницького національного технічного університету



Рисунок 2 – Виставка «Ретро по-Вінницьки»

Перелік посилань

1. Варюхно С. Г., Михайлова М. Є., Сосіда В. В., Іванов В. І. Аналіз стану безпеки дорожнього руху в Україні в контексті реалізації стратегії підвищення рівня безпеки дорожнього руху. *Автошляховик України. Науково-виробничий журнал*. 2025. 3 (284). 9–16.
2. Бруннер Х., Лірс Х., Макаров В. А., Макарова Т. В. До необхідності та можливості зниження аварійності на автомобільних дорогах регіону України. *Автошляховик України. Науково-виробничий журнал*. 2025. 3 (284). 17–25.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ КОЛІСНИХ МАШИН У ПРОЦЕСІ ПОТОЧНОГО ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ

д-р техн. наук, доцент Молодан Андрій Олександрович
аспірант Соколовський Олег Валентинович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Ефективність експлуатації колісних машин істотно залежить не лише від справності окремих вузлів, а й від здатності транспортного засобу

зберігати передбачувані динамічні властивості, керованість і стійкість у змінних умовах руху. На практиці погіршення функціональної стабільності формується поступово під дією сукупності чинників: варіації дорожнього зчеплення, зміни навантаження, нерівномірності режимів роботи силової установки, зносу елементів ходової частини, відхилень у роботі гальмівної системи та рульового керування. У більшості випадків традиційний технічний контроль фіксує вже наявне відхилення параметра від допустимого рівня, але не дає достатньої інформації для завчасного виявлення тенденції до втрати функціональної стабільності. Саме тому перспективним напрямом є перехід від епізодичної діагностики до безперервного аналітичного супроводу технічного стану на основі інтелектуальної обробки даних [1–3].

Для задач автомобільного транспорту особливу цінність мають ті підходи, які дозволяють одночасно враховувати параметри технічного стану, поточний режим експлуатації та приховані змінні руху, що не вимірюються безпосередньо штатними засобами. У сучасних дослідженнях такий підхід реалізується через поєднання методів state estimation, засобів бортового моніторингу, OBD-орієнтованої аналітики та алгоритмів машинного навчання, здатних виявляти слабко виражені закономірності у часових рядах експлуатаційних параметрів [3–6]. Для колісних машин це відкриває можливість перейти від оцінювання окремих несправностей до інтегрального аналізу ризику погіршення динамічної поведінки транспортного засобу в реальних умовах використання.

Метою роботи є формування підходу до інтелектуального оцінювання та прогнозування функціональної стабільності колісних машин за даними поточного технічного контролю. На відміну від підходів, у яких аналіз здійснюється за одиничними параметрами, запропоновано розглядати функціональну стабільність як узагальнений стан системи «машина – середовище – режим руху», що змінюється у часі та може бути описаний інтегральним показником. Такий показник доцільно формувати на основі сукупності контрольованих і розрахункових величин, серед яких: швидкість руху, поздовжнє та поперечне прискорення, частота обертання коліс, частота обертання колінчастого вала, навантаження двигуна, температура робочих середовищ, параметри гальмування, характер рульових впливів, коди діагностичних несправностей та швидкість зміни цих параметрів у часі.

Інформаційну основу такого підходу складають дані бортових систем спостереження, OBD-II, CAN-повідомлень, а також сигнали додаткових вимірювальних каналів. Важливо, що навіть за обмеженого набору прямих вимірювань можливо відновлювати інформативні змінні стану, зокрема оцінки бічного ковзання, запасу курсової стійкості, відхилення від номінальної траєкторії руху та індикаторів узгодженості між діями водія і реакцією машини. Для цього доцільно застосовувати комбіновані спостерігачі, побудовані на базі модифікованих алгоритмів Калмана, рекурсивних процедур ідентифікації та адаптивного уточнення параметрів

моделі [3–5]. У результаті формується не набір розрізнених сигналів, а впорядкований вектор ознак, придатний для подальшого інтелектуального аналізу.

Запропонований підхід передбачає три послідовні етапи. Перший етап пов'язаний із підготовкою даних: синхронізацією часових рядів, усуненням шумових компонентів, нормалізацією параметрів та побудовою похідних ознак, чутливих до початкових проявів деградації. На другому етапі здійснюється оцінювання поточного рівня функціональної стабільності шляхом об'єднання діагностичних параметрів у єдиний інтегральний індекс. Його зміна дозволяє характеризувати не лише факт погіршення технічного стану, а й швидкість наближення системи до небезпечної зони експлуатації. На третьому етапі формується прогностична модель, яка використовує історію зміни інтегрального індексу та структуру вектора ознак для короткострокового або середньострокового передбачення подальшого стану машини.

Для побудови такої моделі можуть використовуватися методи градієнтного бустингу, опорних векторів, рекурентні нейронні мережі та LSTM/GRU-архітектури, орієнтовані на аналіз часових послідовностей. Їх перевага полягає у здатності працювати з нелінійними залежностями та виявляти комбінації параметрів, які окремо можуть не свідчити про загрозу, але в сукупності вказують на зростання ризику втрати функціональної стабільності [2, 7]. Водночас для транспортних застосувань залишається актуальною проблема малих і нерівномірно розмічених вибірок, тому особливої уваги потребує відбір ознак, адаптація моделей до умов обмеженої навчальної вибірки та використання гібридних схем, у яких фізична інтерпретованість поєднується з гнучкістю алгоритмів машинного навчання.

Науковий інтерес запропонованого підходу полягає в тому, що об'єктом оцінювання виступає не окрема несправність і не одиничний динамічний параметр, а загальний рівень функціональної стабільності колісної машини як інтегрована характеристика її поточного стану. Це дозволяє поєднати задачі технічної діагностики, контролю динаміки руху та прогнозування деградаційних процесів в єдиній інформаційній моделі. Практична цінність такого рішення полягає у можливості використання прогностичного індексу функціональної стабільності в системах підтримки прийняття рішень щодо технічного обслуговування, у бортових інформаційно-діагностичних комплексах та у цифрових моделях транспортних засобів. У сучасних дослідженнях саме інтеграція моніторингу, прогностичної аналітики та технології digital twin розглядається як одна з найбільш перспективних основ підвищення безпеки і ефективності експлуатації транспортних систем [6–8].

Таким чином, інтелектуальне оцінювання та прогнозування функціональної стабільності колісних машин у процесі поточного технічного контролю є науково й практично обґрунтованим напрямом для подальших

досліджень у межах спеціальності 274 «Автомобільний транспорт». Реалізація такого підходу дозволяє своєчасно виявляти приховані тенденції до погіршення динамічної поведінки транспортного засобу, зменшувати імовірність розвитку відмов, раціоналізувати технічне обслуговування та підвищувати експлуатаційну безпеку. Подальша робота має бути спрямована на експериментальне формування репрезентативної бази експлуатаційних даних, уточнення структури інтегрального показника та перевірку прогностичних моделей на реальних зразках колісних машин.

Перелік посилань

- 1 Liu D., Peng L., Zhao Z. A review of intelligent methods of health assessment technology. *Intelligence & Robotics*. 2023. Vol. 3, No. 3. P. 355–373. DOI: 10.20517/ir.2023.16.
- 2 Li C., Li S., Feng Y., Gryllias K., Gu F., Pecht M. Small data challenges for intelligent prognostics and health management: a review. *Artificial Intelligence Review*. 2024. Vol. 57. Art. 214. DOI: 10.1007/s10462-024-10820-4.
- 3 Wang X., Chen T., Wang R., Lu J., Dou G. Review of State Estimation Methods for Autonomous Ground Vehicles: Perspectives on Estimation Objects, Vehicle Characteristics, and Key Algorithms. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 13. Art. 3927. DOI: 10.3390/s25133927.
- 4 Chen Y., Huang Y., Song Z. Vehicle State Estimation by Integrating the Recursive Least Squares Method with a Variable Forgetting Factor with an Adaptive Iterative Extended Kalman Filter. *World Electric Vehicle Journal*. 2024. Vol. 15, No. 9. Art. 399. DOI: 10.3390/wevj15090399.
- 5 Li Q., He H., Chen X., Gao J. Learning-Based Vehicle State Estimation Using Gaussian Process Regression Combined with Extended Kalman Filter. *Journal of the Franklin Institute*. 2024. Vol. 361, No. 9. Art. 106907. DOI: 10.1016/j.jfranklin.2024.106907.
- 6 Michailidis E. T., Panagiotopoulou A., Papadakis A. A Review of OBD-II-Based Machine Learning Applications for Sustainable, Efficient, Secure, and Safe Vehicle Driving. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 13. Art. 4057. DOI: 10.3390/s25134057.
- 7 Errezgouny A., Chater Y., Barranco González C. D., Cherkaoui A. An integrated deep learning approach for predictive vehicle maintenance. *Decision Analytics Journal*. 2025. Vol. 16. Art. 100597. DOI: 10.1016/j.dajour.2025.100597.
- 8 Yalavarthy U. R. S., Kumar N. B., Vijay Babu A. R., Narasipuram R. P., Padmanaban S. Digital twin technology in electric and self-navigating vehicles: Readiness, convergence, and future directions. *Energy Conversion and Management: X*. 2025. Vol. 26. Art. 100949. DOI: 10.1016/j.ecmx.2025.100949.

ОЦІНЮВАННЯ МАНЕВРНОСТІ БЕЗПЛОТНИХ НАЗЕМНИХ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ З ПОВОРОТНИМИ ПЛАТФОРМАМИ

канд. техн. наук, доцент Нікорчук Андрій Іванович
Національна академія Національної гвардії України

Сучасні безпілотні наземні роботизовані комплекси (БпНК) характеризуються різноманіттям конструктивно-компонувальних схем та складними кінематичними режимами руху [1, 2, 3]. Особливо це стосується БпНК із поворотними платформами, які здатні реалізовувати різні типи маневрування, зокрема поворот, розворот на місці та рух крабом. У таких умовах традиційні показники маневреності, зокрема мінімальний радіус повороту та ширина габаритного коридору, не забезпечують однозначного кількісного оцінювання, оскільки однакові їх значення можуть відповідати різним режимам руху. Тому виникає необхідність в удосконаленні існуючого науково-методичного апарату оцінювання маневреності БпНК з поворотними платформами на основі кінематично-геометричного аналізу.

Проведений кінематично-геометричний аналіз маневреності БпНК із двома поворотними платформами дозволив встановити закономірності формування траєкторій характерних точок корпусу та отримати залежності радіусів повороту від кута повороту платформ. Також встановлено, що при зміні кута повороту відбувається зміна геометрії маневрування, зокрема перехід від руху з ненульовим внутрішнім радіусом до режиму, при якому центр повороту розташовується всередині контуру корпусу.

Визначено граничний кут повороту платформ, при якому внутрішній радіус габаритного коридору дорівнює нулю. Досліджено залежність ширини габаритного коридору від кута повороту платформ та встановлено її нелінійний характер із наявністю області неоднозначності, в якій однакові значення цього показника відповідають різним умовам маневрування.

Разом з тим встановлено, що навіть використання радіуса повороту по зовнішньому габариту не забезпечує повної оцінки маневреності, оскільки цей показник характеризує лише зовнішню межу руху та не враховує внутрішній габарит і форму займаної області.

З метою усунення зазначених недоліків запропоновано узагальнений показник – площу місця маневрування, який враховує реальні просторові межі руху БпНК під час виконання повороту та розвороту. Отримано аналітичні залежності площі маневрування від кута повороту платформ та встановлено характер її зміни в усьому робочому діапазоні.

Аналіз отриманих залежностей показав, що найбільш інтенсивне зменшення займаного простору досягається у діапазоні малих і середніх кутів повороту платформ, тоді як при подальшому збільшенні кута площа маневрування зменшується не так інтенсивно.

Таким чином запропоновано удосконалений метод оцінювання маневреності БпНК шляхом введення узагальненого просторового показника – площі місця маневрування, який, на відміну від відомих підходів, дозволяє врахувати як зовнішні, так і внутрішні габаритні обмеження та забезпечує однозначну кількісну оцінку маневреності для БпНК зі складними кінематичними схемами руху.

Запропонований підхід може бути використаний для порівняльної оцінки маневреності БпНК різного компонування; обґрунтування раціональних геометричних параметрів платформ; вибору параметрів керування рухом.

Перелік посилань

1. Гармаш В.П., Подригало М.А.; Кайдалов Р.О.; Нікорчук А.І., та ін. Керований поворотний міст колісного транспортного засобу : пат. 151646 Україна. № у 202107655; заявл. 28.12.2021; опубл. 25.08.2022. Бюл. № 34.

2. Байцур М.В., Гармаш В.П., Подригало М.А., Кайдалов Р.О., Нікорчук А.І., Третьяк В.М. Спосіб керування поворотом транспортного засобу : пат. 151647 Україна. № у 202107664; заявл. 28.12.2021; опубл. 25.08.2022. Бюл. № 34.

3. Аносов В.І., Богомолів В.О., Нікорчук А.І., Пивовар В.С., Подригало М.А. Спосіб керування поворотом транспортного засобу з шарнірно-зчленованою рамою : пат. 153068 Україна, МПК (2023.01) В60Т 1/00, В62Д 11/08 (2006.01). ; № у 2022 03847 ; заявл. 17.10.2022 ; опубл. 17.05.2023, Бюл. № 20.

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ РОЛИКОВИХ ПІДШИПНИКІВ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ У РЕМОНТНОМУ ЦИКЛІ

канд. техн. наук, доцент Нерубацький Володимир Павлович
д-р техн. наук, професор Геворкян Едвін Спартакович
канд. техн. наук, доцент Комарова Ганна Леонідівна
Український державний університет залізничного транспорту

Забезпечення стабільної якості продукції машинобудівних і ремонтних підприємств залізничного транспорту безпосередньо пов'язане з підвищенням надійності найбільш навантажених вузлів тягового обладнання. Одним із таких вузлів є роликові підшипники тягових електричних двигунів, які працюють в умовах змінних механічних навантажень, локальних теплових перевантажень, вібраційного впливу та дії паразитних електричних струмів. У процесі тривалої експлуатації саме підшипникові вузли значною мірою визначають ресурс електричної машини, а їх передчасне пошкодження

призводить до збільшення обсягів позапланових ремонтів, зростання витрат на технічне обслуговування та зниження експлуатаційної готовності рухомого складу [1, 2].

Технологічне забезпечення якості підшипникових вузлів повинно розглядатися не лише як контроль геометричних параметрів після ремонту, а як комплекс заходів, спрямованих на формування необхідних експлуатаційних властивостей виробу на всіх етапах відновлення. До таких заходів належать вхідний контроль матеріалів, оцінювання стану посадкових поверхонь, забезпечення точності монтажу, вибір мастильного середовища та контроль залишкових зазорів. Порушення хоча б одного з перелічених чинників може спричинити нерівномірний розподіл контактних напружень, прискорений знос тіл кочення та виникнення дефектів доріжок кочення.

Особливої уваги в умовах сучасного ремонту потребує проблема електроерозійного пошкодження підшипників тягових двигунів, яка виникає внаслідок проходження струму через контактні поверхні. Під дією імпульсних перенапруг на поверхнях кочення утворюються локальні зони оплавлення, що з часом формують хвилястий рельєф доріжок. Це супроводжується підвищенням вібрації, шуму та температури вузла [3, 4]. Для зменшення цього явища перспективним напрямом є використання гібридних підшипників, у яких тіла кочення виготовляються з електроізоляційних керамічних матеріалів. Завдяки діелектричним властивостям таких елементів виключається проходження струму через підшипник, що суттєво знижує інтенсивність електроерозійного зношування. Під час оцінювання перспективних матеріалів для підшипникових вузлів доцільно враховувати сукупність фізико-механічних характеристик, що безпосередньо впливають на експлуатаційну стійкість [5, 6]. Порівняльний аналіз традиційної підшипникової сталі та керамічних матеріалів (табл.) показує, що використання керамічних тіл кочення дозволяє знизити масу рухомих елементів, підвищити твердість контактних поверхонь і забезпечити стійкість до дії підвищених температур.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз традиційної підшипникової сталі та керамічних матеріалів

Показник	Підшипникова сталь	Керамічний матеріал
Густина	висока	нижча
Твердість	висока	вища
Електропровідність	наявна	практично відсутня
Теплостійкість	обмежена	підвищена
Стійкість до зносу	добра	вища

Зменшення маси тіл кочення сприяє зниженню динамічних навантажень на сепаратор і контактні поверхні, що особливо важливо для тягових двигунів, які працюють при значних частотах обертання. Підвищена твердість матеріалу зменшує ризик утворення поверхневих дефектів у разі

потрапляння частинок зносу в зону контакту. Одночасно теплостійкість кераміки забезпечує стабільність геометричних параметрів підшипника при локальному нагріванні, що позитивно впливає на точність роботи вузла після ремонту.

Не менш важливим чинником є технологія монтажу підшипників у процесі ремонту. Якість посадки визначає рівномірність розподілу навантаження між роликками та доріжками кочення. Перевищення монтажного натягу призводить до зростання внутрішнього тертя та перегріву, тоді як недостатній натяг може викликати повертання кілець у посадкових місцях. Тому під час ремонтного циклу необхідним є застосування контрольованого нагріву внутрішніх кілець, використання точних вимірювальних засобів і дотримання регламентованих параметрів складання. Саме технологічна дисципліна на етапі монтажу суттєво впливає на кінцеву якість відновленого вузла.

Результати сучасних матеріалознавчих досліджень підтверджують, що введення нанодисперсних зміцнювальних фаз у структуру частково стабілізованого діоксиду цирконію забезпечує підвищення тріщиностійкості, зносостійкості та термічної стабільності матеріалу, що є визначальним для деталей транспортного призначення [7, 8]. Підвищення довговічності роликкових підшипників тягових електричних двигунів досягається лише за умови комплексного поєднання конструктивних, матеріалознавчих і технологічних рішень. Використання сучасних матеріалів для тіл кочення, удосконалення методів контролю технічного стану та забезпечення стабільності параметрів складання створюють передумови для зростання ресурсу відремонтованих двигунів. Упровадження таких підходів у практику ремонтних підприємств сприяє підвищенню якості ремонту, зниженню експлуатаційних витрат і покращенню надійності тягового рухомого складу.

Перелік посилань

1. Liu Y., Chen Z., Wang K. et al. Surface wear evolution of traction motor bearings in vibration environment of a locomotive during operation. *Science China Technological Sciences*. 2022. Vol. 65. P. 920–931. <https://doi.org/10.1007/s11431-021-1939-3>.
2. Shang J., Dai J., Hu Y., Hu D., Zeng X., Yu T. Fault diagnosis method of traction motor bearings based on optimized weight local kurtosis. *Transportation Safety and Environment*. 2025. Vol. 7, Iss. 1. tdaf018. <https://doi.org/10.1093/tse/tdaf018>.
3. Liu Y., Chen Z., Li W., Wang K. Dynamic analysis of traction motor in a locomotive considering surface waviness on races of a motor bearing. *Railway Engineering Science*. 2021. Vol. 29. P. 379–393. <https://doi.org/10.1007/s40534-021-00246-x>.
4. Liu Y., Chen Z., Ning J., Wang K., Zhai W. Improved dynamics model of locomotive traction motor with elasticity of rotor shaft and supporting bearings.

Chinese Journal of Mechanical Engineering. 2022. Vol. 35. 90.
<https://doi.org/10.1186/s10033-022-00762-9>.

5. Геворкян Е., Нерубацький В., Комарова Г. Удосконалення експлуатаційних характеристик елементів транспортних систем за рахунок застосування нанокompatитів на основі діоксиду цирконію. Збірник тез VI всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції «Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем» (Рівне, НУВГП, 27–28 листопада 2025 р.). Рівне: НУВГП, 2025. С. 194–197.

6. Геворкян Е. С., Нерубацький В. П., Каграманян А. О., Комарова Г. Л., Волошина Л. В. Оптимізація експлуатаційних характеристик засобів залізничного транспорту за рахунок впровадження нанокompatиційних матеріалів на основі діоксиду цирконію. Тези 3-ї міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології засобів транспорту» (Харків, УкрДУЗТ, 03–04 грудня 2025 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2025. С. 126–128.

7. Нерубацький В. П., Геворкян Е. С., Комарова Г. Л., Волошина Л. В. Дослідження впливу нанодобавок на фізико-хімічні властивості частково стабілізованого діоксиду цирконію, що використовується у функціональних матеріалах транспортного призначення. Тези доповідей 6-ї міжнародної науково-технічної конференції «Інтелектуальні транспортні технології» (Харків, УкрДУЗТ, 24–26 листопада 2025 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2025. С. 292–294.

8. Нерубацький В. П., Геворкян Е. С., Комарова Г. Л. Сучасні технології створення поліфункціональної нанокераміки ZrO_2-WC для підвищення ресурсу деталей промислового обладнання і транспорту. Матеріали 26-го міжнародного науково-технічного семінару «Сучасні питання виробництва та ремонту в промисловості і на транспорті» (Київ, Асоціація технологів-машинобудівників України, 31 березня – 02 квітня 2026 р.). Київ: АТМ України; Житомир: ПП «Рута», 2026. С. 93–95.

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОМІЦНИХ КОМПОЗИТИВ СИСТЕМИ $ZrO_2(3 \text{ мол. \% } Y_2O_3)-WC$ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

канд. техн. наук, доцент Нерубацький Володимир Павлович
д-р техн. наук, професор Геворкян Едвін Спартаківич
канд. техн. наук, доцент Комарова Ганна Леонідівна
канд. техн. наук Волошина Людмила Володимирівна
Український державний університет залізничного транспорту

Підвищення якості технологічних процесів машинобудівних і ремонтних підприємств належить до пріоритетних завдань сучасного промислового виробництва, оскільки саме рівень виконання відновлювальних операцій безпосередньо визначає надійність, довговічність і безпечність експлуатації технічних систем. Для підприємств, діяльність яких пов'язана з відновленням деталей транспортного та енергетичного обладнання, особливого значення набуває забезпечення стабільності властивостей матеріалів, що працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування, змінних механічних навантажень і підвищених температур. За таких умов передчасне руйнування поверхневих шарів деталей призводить до збільшення витрат на ремонт, зростання тривалості простоїв обладнання та зниження техніко-економічної ефективності виробництва.

Актуальність застосування нових матеріалів у ремонтному виробництві зумовлена обмеженими можливостями традиційних конструкційних матеріалів, які не завжди забезпечують необхідне поєднання твердості, тріщиностійкості та термічної стабільності. Одним із перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є використання високоміцних керамічних композитів на основі діоксиду цирконію, стабілізованого оксидом ітрію, з додаванням карбїду вольфраму [1–3]. Така композиція забезпечує формування матеріалу з високою зносостійкістю, стійкістю до локального руйнування та здатністю зберігати структурну стабільність упродовж тривалої експлуатації [4, 5]. Підвищення механічної надійності цих матеріалів пояснюється поєднанням дисперсного зміцнення частинками WC і трансформаційного зміцнення цирконієвої матриці, що стримує розвиток мікротріщин у поверхневому шарі [6, 7].

Формування композитів системи $ZrO_2(3 \text{ мол. \% } Y_2O_3)-WC$ доцільно здійснювати методом електроконсолідації порошкових матеріалів [8, 9], який характеризується одночасною дією імпульсного електричного струму та механічного тиску. На відміну від традиційного спікання, зазначений метод забезпечує прискорене ущільнення порошкової суміші, обмежує ріст зерен і сприяє формуванню однорідної дрібнодисперсної структури. Це дозволяє отримувати матеріали з твердістю 14–16 ГПа та в'язкістю руйнування $8\text{--}12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, що суттєво перевищує характеристики багатьох традиційних керамічних матеріалів, які використовуються під час відновлення деталей. Одночасно скорочується тривалість технологічного циклу, що позитивно впливає на продуктивність ремонтного виробництва та зменшує питомі енерговитрати.

Важливою умовою практичного використання таких композитів є забезпечення стабільності їх властивостей у серійному виробництві. Це потребує комплексного контролю якості на всіх етапах технологічного процесу – від підготовки порошкової сировини до оцінювання структури та експлуатаційних характеристик готового матеріалу. Контролю підлягають гранулометричний склад порошків, рівномірність розподілу зміцнювальної

фази, температурно-силові параметри електроконсолідації та щільність отриманого матеріалу. Запровадження системного метрологічного супроводу дозволяє зменшити варіацію властивостей між партіями, знизити ризик прихованих дефектів і підвищити відтворюваність технологічного процесу [10, 11]. Саме стабільність структури є визначальною передумовою для впровадження нових композитів у практику ремонтних підприємств.

З економічної точки зору використання композитів системи $ZrO_2(3 \text{ мол.}\% Y_2O_3)-WC$ супроводжується певним збільшенням початкової собівартості відновлення деталей, що пов'язано з вищою вартістю вихідної сировини та необхідністю застосування спеціалізованого обладнання. Проте підвищення ресурсу робочих поверхонь у 2–3 рази забезпечує істотне скорочення витрат на повторні ремонти, зменшення тривалості простоїв обладнання та зниження експлуатаційних витрат. У результаті сумарні витрати протягом життєвого циклу виробу зменшуються, а інтегральний економічний ефект перевищує витрати на впровадження нової технології. Додатковою перевагою є зниження кількості дефектів завдяки стабільнішому формуванню структури матеріалу, що безпосередньо впливає на підвищення якості ремонтних робіт.

Отже, застосування високоміцних композитів системи $ZrO_2(3 \text{ мол.}\% Y_2O_3)-WC$ є перспективним напрямом підвищення якості ремонтного виробництва. Поєднання високих фізико-механічних характеристик, підвищеної довговічності та позитивного економічного ефекту створює передумови для їх ефективного використання у технологіях відновлення відповідальних деталей машин і транспортного обладнання. Практичне впровадження таких матеріалів сприяє підвищенню надійності відремонтованих вузлів і зростанню конкурентоспроможності ремонтних підприємств у сучасних умовах промислового виробництва.

Перелік посилань

1. Геворкян Е., Нерубацький В., Комарова Г. Удосконалення експлуатаційних характеристик елементів транспортних систем за рахунок застосування нанокompозитів на основі діоксиду цирконію. Збірник тез VІ всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції «Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем» (Рівне, НУВГП, 27–28 листопада 2025 р.). Рівне: НУВГП, 2025. С. 194–197.

2. Нерубацький В. П., Геворкян Е. С., Комарова Г. Л., Волошина Л. В. Дослідження впливу нанодобавок на фізико-хімічні властивості частково стабілізованого діоксиду цирконію, що використовується у функціональних матеріалах транспортного призначення. Тези доповідей 6-ї міжнародної науково-технічної конференції «Інтелектуальні транспортні технології» (Харків, УкрДУЗТ, 24–26 листопада 2025 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2025. С. 292–294.

3. Morozova O. M., Martyrosyan S. R., Nerubatskyi V. P. The determination of the dependence of mechanical characteristics of $ZrO_2-3 \text{ wt}\% Y_2O_3$ on the sintering mode of ceramics moulding by electroconsolidation method. Матеріали 4-ї міжнародної науково-технічної конференції «Інтелектуальні транспортні технології» (Харків, УкрДУЗТ, 27–28 листопада 2023 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2023. С. 329–330.

4. Ünal N., Kern F., Öveçoğlu M. L., Gadow R. Influence of WC particles on the microstructural and mechanical properties of 3 mol% Y_2O_3 stabilized ZrO_2 matrix composites produced by hot pressing. *Journal of the European Ceramic Society*. 2011. Vol. 31, Iss. 13. P. 2267–2275. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2011.05.032>.

5. Jiang D., Van der Biest O., Vleugels J. ZrO_2 -WC nanocomposites with superior properties. *Journal of the European Ceramic Society*. 2007. Vol. 27, Iss. 2–3. P. 1247–1251. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2006.05.028>.

6. Нерубацький В. П., Геворкян Е. С., Комарова Г. Л. Сучасні технології створення поліфункціональної нанокераміки ZrO_2 -WC для підвищення ресурсу деталей промислового обладнання і транспорту. Матеріали 26-го міжнародного науково-технічного семінару «Сучасні питання виробництва та ремонту в промисловості і на транспорті» (Київ, Асоціація технологів-машинобудівників України, 31 березня – 02 квітня 2026 р.). Київ: АТМ України; Житомир: ПП «Рута», 2026. С. 93–95.

7. Геворкян Е. С., Нерубацький В. П., Комарова Г. Л., Волошина Л. В. Наноструктуровані керамічні композити на основі SiC, ZrO_2 та WC для підвищення надійності та метрологічної стабільності транспортних систем. Тези доповідей 6-ї міжнародної науково-технічної конференції «Інтелектуальні транспортні технології» (Харків, УкрДУЗТ, 24–26 листопада 2025 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2025. С. 281–284.

8. Hevorkian E. S., Nerubatskyi V. P., Rucki M., Kilikevicius A., Mamalis A. G., Samociuk W., Morozow D. Electroconsolidation method for fabrication of fine-dispersed high-density ceramics. *Nanotechnology Perceptions*. 2024. Vol. 20, No. 1. P. 100–113. <https://doi.org/10.56801/nano-ntp.v20i1.363>.

9. Vovk R. V., Samociuk W., Hevorkian E. S., Nerubatskyi V. P., Chyshkala V. O., Komarova H. L., Voloshyna L. V. Modeling of density estimation during sintering of zirconium dioxide by the method of electroconsolidation. *Low Temperature Physics*. 2026. Vol. 52, No. 4. P. 510–516. <https://doi.org/10.1063/10.0043203>.

10. Комарова Г., Геворкян Е., Нерубацький В., Волошина Л. Підвищення ефективності метрологічного забезпечення якості виробництва на підприємствах залізничного транспорту. Тези доповідей VII міжнародної науково-практичної конференції «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи» (Львів, НУ «Львівська політехніка», 20–21 листопада 2025 р.). Львів: ЛА «Піраміда», 2025. С. 136–137.

11. Геворкян Е. С., Нерубацький В. П., Комарова Г. Л., Волошина Л. В., Сухорученкова А. І. Метрологічне забезпечення контролю функціональних параметрів наноструктурованих матеріалів для інтелектуальних транспортних технологій. Тези 3-ї міжнародної науково-технічної конференції «*Прогресивні технології засобів транспорту*» (Харків, УкрДУЗТ, 03–04 грудня 2025 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2025. С. 122–124.

ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИЩОЇ ОСВІТИ В УМОВАХ СУЧАСНИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

канд. с.-г. наук, доцент Панкова Оксана Володимирівна
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

У сучасних умовах реформування системи вищої освіти України особливої актуальності набуває питання підготовки фахівців, компетентних у сфері забезпечення якості освітньої діяльності. Розвиток внутрішніх систем якості у закладах вищої освіти, впровадження стандартів ESG-2015 та орієнтація на європейський освітній простір зумовлюють потребу у формуванні нового типу професійних компетентностей у науково-педагогічних працівників, керівників освітніх програм та фахівців структурних підрозділів із забезпечення якості.

Особливістю навчання таких фахівців є його міждисциплінарний характер, що поєднує педагогічні, управлінські, аналітичні та нормативно-правові знання. Важливим компонентом підготовки виступає формування здатності здійснювати моніторинг освітніх програм, аналіз результатів навчання, організацію внутрішнього аудиту якості та розроблення коригувальних заходів.

Суттєву роль у підготовці фахівців відіграє практико-орієнтований підхід. Як зазначає Anca Greere, ефективне навчання у сфері quality assurance повинно базуватися на моделюванні реальних професійних ситуацій, роботі з кейсами, аналізі індикаторів якості та розвитку навичок прийняття управлінських рішень. Особливе значення має адаптація програм підготовки до потреб конкретних груп стейкхолдерів — адміністративного персоналу, викладачів, гарантів освітніх програм та здобувачів освіти.

В умовах цифровізації освіти важливою особливістю навчання стає використання електронних платформ для збору та аналізу даних щодо якості освітнього процесу. Це дозволяє формувати у фахівців компетентності у сфері освітньої аналітики, роботи з інструментами зворотного зв'язку та системами моніторингу.

Таким чином, підготовка фахівців з питань забезпечення якості повинна орієнтуватися не лише на засвоєння нормативної бази, а й на

формування практичних навичок управління якістю, аналітичного мислення та культури безперервного вдосконалення освітнього процесу.

Перелік посилань

1. Greere A. Training for quality assurance in higher education: practical insights for effective design and successful delivery // *Quality in Higher Education*. 2022. Vol. 28(2). P. 165–191. DOI: 10.1080/13538322.2021.2020978

РОЗВИТОК ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ АВТОТРАКТОРНИХ КОЛІС

здобувач гр. АПМ-41-22 Пащенко Анатолій Олегович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Мета дослідження: проаналізувати етапи розвитку експериментальних методів дослідження напружено-деформованого стану (НДС) автотракторних коліс та визначити основні напрями вдосконалення підходів до оцінювання їх міцності й втомної довговічності в умовах експлуатаційних навантажень.

Проблематика міцності автотракторних коліс почала активно розвиватися з середини ХХ століття, коли з'явилися перші систематизовані експериментальні дослідження напруженого стану елементів колеса. На ранньому етапі такі дослідження були переважно спрямовані на виявлення зон концентрації напружень та локалізацію найбільш навантажених ділянок обода без побудови повноцінних розрахункових моделей.

Одними з перших фундаментальних експериментальних робіт стали дослідження М. Polzin, R.A.C. Fosberry та Н. Arldt [1, 2, 3, 4]. У роботах М. Polzin [1] було досліджено навантаження, що діють на колесо в умовах прямолінійного руху, повороту та гальмування. На основі аналізу тріщин у лаковому покритті поверхні колеса було локалізовано зони деформацій і визначено місця встановлення тензорезисторів. Подальші тензометричні вимірювання дали змогу отримати криві зміни деформацій за один оберт колеса для найбільш відповідальних ділянок конструкції.

R.A.C. Fosberry [2] дослідив вплив внутрішнього тиску в шині, вертикального навантаження та динамічних навантажень, що виникають при розгоні, русі по криволінійній траєкторії та гальмуванні. У результаті було побудовано епюри розподілу напружень по перерізу обода та встановлено вплив розміру шини на величину напружень. Було показано, що застосування шин, розміри яких перевищують стандартні, спричиняє зростання напружень в ободі.

У роботах Н. Arldt [3, 4] основну увагу приділено втомній міцності сталевих ободів. Встановлено, що максимальні напруження виникають у

зонах, де геометрія поперечного перерізу найбільше відхиляється від циліндричної форми, зокрема на внутрішніх радіусах посадкової полиці та бортової закраїни. Також підкреслено важливість урахування технологічних чинників виготовлення, форми кріпильних отворів і локальних концентраторів напружень.

Подальший розвиток експериментальних методів пов'язаний із роботами школи V. Grubisic у Fraunhofer Institut fuer Betriebsfestigkeit [5, 6, 7]. Ним було запропоновано систему втомних випробувань коліс на біговому барабані в одній та двох площинах, відому як Eurocycle, а також методику двовісних випробувань ZWARP. Ці підходи дали змогу перейти від локального вимірювання напружень до моделювання реальних експлуатаційних циклів навантаження, включаючи прямолінійний рух, повороти, наїзди на перешкоди та дію бокових сил. Важливим результатом стало врахування циклічного характеру навантаження, внутрішніх залишкових напружень, впливу монтажу шини, тиску повітря та температурних ефектів у процесі роботи колеса.

Сучасний етап розвитку експериментальних досліджень НДС коліс характеризується переходом до більш комплексного відтворення умов експлуатації, включаючи нестандартні режими роботи, дефекти кріплення, ударні навантаження та вплив сучасних адаптивних підвісок. Це свідчить про необхідність подальшого вдосконалення методів оцінювання НДС коліс з урахуванням реальних експлуатаційних сценаріїв.

Отже, розвиток експериментальних методів дослідження НДС автотракторних коліс пройшов шлях від локальних тензометричних вимірювань до комплексних стендових випробувань, максимально наближених до реальних умов експлуатації. Саме ці підходи формують основу сучасних досліджень міцності, довговічності та функціональної надійності коліс транспортних засобів.

Перелік посилань

1. Polzin M. Magnesium alloy truck wheels evaluated analytically / Polzin M. Warrendale, Pa. : Society of Automotive Engineers, 1952. 20 p. (SAE Technical Paper series 520056).
2. Fosberry R.A.C. An Investigation of Stresses in Public Service Vehicle Type Wheels / Fosberry R.A.C. *The Institution of Mechanical Engineers, Automobile division Proceedings*. 1952. Vol. 6, № 1. P. 91-103.
3. Arldt H. Der Scheibendauerversuch – ein Prueftest fuer Kraftfahrzeugraeder. *Automobiltechn. Z.* 1960. Vol. 62, № 10. P. 255-261.
4. Arldt H. Festigkeitsprobleme an Felgen und Kraftfahrzeugraedern. *Automobiltechn. Z.* 1959. Vol. 61, № 4. P.103-107.
5. Grubisic V. Bemessung und Pruefung von Fahrzeugrudern. Teil 1. *Automobiltechnische Zeitschrift*. 1973. № 1. P. 9-18.

6. Grubisic V. Bemessung und Prufung von Fahrzeugrudern. Teil 2. *Automobiltechnische Zeitschrift*. 1973. № 7. P. 252-258.

7. Grubisic V., Pavlovsky R. Bemessungsverfahren fur Radsterne und Felgen. *Automobiltechnische Zeitschrift*. 1973. № 9. P. 324-330.

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ПРУЖНОГО КОЛЕСА АВТОМОБІЛЯ НА ОПОРНУ ПОВЕРХНЮ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ ПАРЦІАЛЬНИХ ПРИСКОРЕНЬ

д-р техн. наук, професор Подригало Михайло Абович
магістрант Бобров Ілля Олексійович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Сучасні дослідження динаміки автомобілів і тракторів вимагають переходу від класичних підходів до більш точних методів, що базуються на прямих вимірюваннях. Традиційний принцип Д'Аламбера, який використовує фіктивні сили інерції для зведення динаміки до статички, («кінетостатика») часто призводить до теоретичних помилок та втрати фізичного змісту реальних процесів. Як сучасну альтернативу вчені пропонують метод парціальних прискорень, який базується на принципі «кінемодинаміки».

В основі методу лежить принцип суперпозиції: кожна активна чи реактивна сила розглядається через відповідне їй парціальне прискорення – тобто прискорення, яке отримала б точка системи під дією лише однієї конкретної сили. Це дозволяє замінити змішану систему сил і прискорень у рівняннях динаміки на однорідну векторну суму прискорень, що значно полегшує експериментальні дослідження за допомогою сучасних сенсорів.

Оцінка тягово-енергетичних показників методу парціальних прискорень дозволяє з високою точністю розділяти компоненти сумарного опору руху автомобіля без використання дорогих аеродинамічних труб чи стендів. Використовуючи метод вибігу, можна одночасно визначити коефіцієнт дорожнього опору та чинник обтічності, розв'язуючи систему диференціальних рівнянь.

Особливу цінність метод має для дослідження систем зі змінною масою, таких як тракторні потяги під час завантаження від комбайна. Він дозволяє розраховувати необхідну ефективну потужність двигуна в реальному часі для підтримання синхронної швидкості агрегатів, враховуючи динамічну зміну маси та сил опору.

У сфері безпеки руху метод парціальних прискорень пропонує нові критерії оцінки поперечної стійкості. Метод дозволяє визначити граничні умови перекидання машини під дією імпульсних збурень, розділяючи збурений рух на обертальний та плоскопаралельний. Критерієм динамічної

стійкості виступає здатність системи поглинути енергію збурення без перевищення граничного кута нахилу.

Для оцінки керованості введено передавальну функцію керування, яка відображає реакцію машини на керуючу дію. Особлива увага приділяється впливу бічної еластичності (пружності) шин. Метод дозволяє виділити додаткове парціальне прискорення, спричинене деформацією коліс, що дає змогу кількісно оцінити «поворотливість» автомобіля та виявити відхилення від ідеальної траєкторії ще на ранніх стадіях маневру.

Для практичної реалізації досліджень розроблено мобільний реєстраційно-вимірювальний комплекс (МРВК) на базі трикоординатних MEMS-акселерометрів. Встановлено, що для точного визначення параметрів плоскопаралельного руху (лінійних швидкостей, радіуса та полюса повороту) необхідно використовувати як мінімум два датчики, розташовані на поздовжній осі машини.

Для підвищення точності запропоновано метод паралельних спостережень, який передбачає одночасне вимірювання параметрів декількома датчиками, що дозволяє значно знизити випадкову похибку вимірювань, спричинену погодними умовами чи нерівностями дороги.

Дослідження підтвердили, що динаміка прискорень мобільних машин підпорядковується закону нормального розподілу. Це відкриває можливості для оперативної діагностики технічного стану в процесі експлуатації. Погіршення характеристик підвіски, знос шин або несправності рульового керування негайно відображаються на значеннях передавальних функцій та коефіцієнтів керованості, що реєструються бортовим комп'ютером.

Таким чином, впровадження методу парціальних прискорень трансформує підхід до випробувань мобільних машин, дозволяючи перейти від статичних розрахунків до динамічного аналізу в реальних умовах, що є критично важливим для підвищення паливної економічності, функціональної стабільності та активної безпеки сучасного транспорту.

Перелік посилань

1. Peter G. Bezgman. The Riddle of Gravitation New York : CHAPLES SCRYBNER'S SONS 1968.

2. Метод парціальних прискорень та його застосування в динаміці мобільних машин. Монографія [текст]. За ред. М. А. Подригало та М. П. Абрамова. Харків: Вид-во «Естет Прінт», 2025. 232с.

ВПЛИВ НА НЕРІВНОМІРНІСТЬ КРУТНОГО МОМЕНТУ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ВІДКЛЮЧЕННЯ ЧАСТИНИ ЦИЛІНДРІВ

д-р техн. наук, професор Подригало Михайло Абович
аспірант Вахнюк Сергій Анатолійович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Відключення частини циліндрів двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) при часткових навантаженнях є одним з напрямлень в підвищенні енергоефективності автомобілів [1, 2].

В роботі проведено дослідження впливу відключення частини циліндрів на нерівномірність індикаторного крутного моменту ДВЗ, під час якого вирішувалися завдання про зміну коефіцієнта нерівномірності індикаторного крутного моменту при відключенні частини циліндрів ДВЗ та визначення максимальної кількості циліндрів, яку можливо відключити при виконанні умови забезпечення руху автомобіля.

Для багатocyліндрового двигуна індикаторний крутний момент можна визначити як

$$M_{i\Sigma} = i_u \cdot \sum_{j=1}^{i_u} M_{ij}, \quad (1)$$

де $M_{i\Sigma}$ – сумарний індикаторний момент двигуна;

M_{ij} – індикаторний крутний момент, що утворюється одним ДВЗ.

При абсолютній рівномірності індикаторних крутних моментів по циліндрам можна прийняти

$$M_{i1} = M_{i2} = \dots = M_{ij} = \frac{M_{i\Sigma}}{i_u}, \quad (2)$$

де M_{i1} , M_{i2} , M_{ij} – індикаторні крутні моменти, що утворюються впершому, другому та в j -тому циліндрах.

Якщо розглядати зміни індикаторного крутного моменту по гармонійному закону [3, 4], то він має вигляд

$$M_i = \overline{M_{i\Sigma}} \left[1 + \frac{k_1}{2} \sin \left(\frac{\omega_e}{2} i_u t \right) \right], \quad (3)$$

де $\overline{M_{i\Sigma}}$ – середнє за цикл коливань значення сумарного індикаторного крутного моменту, що утворюється всіма циліндрами ДВЗ;

t – час.

Амплітуда коливань індикаторного крутного моменту в цьому випадку буде рівна

$$A_{Mi} = \overline{M_{i\Sigma}} \cdot \frac{k_1}{2}. \quad (4)$$

Прийнявши припущення того, що кут φ_B повороту колінчастого валу можливо визначити по середній кутовій швидкості колінчастого валу $\overline{\omega_e}$, отримали [3, 4]

$$\varphi_B = \overline{\omega_e} t. \quad (5)$$

Під час проведення дослідження визначено коефіцієнт нерівномірності індикаторного крутного моменту ДВЗ при відключенні частини циліндрів

$$k_1' = \frac{\overline{M_{il}}(i_u - m) \cdot \left(1 + \frac{k_1}{2}\right) - \overline{M_{il}}(i_u - m) \cdot \left(1 - \frac{k_1}{2}\right)}{\overline{M_{il}}(i_u - m)} = k_1. \quad (6)$$

При відключенні m циліндрів ДВЗ коефіцієнт нерівномірності індикаторного крутного моменту не змінюється. При цьому зменшуються як амплітуда коливань індикаторного крутного моменту, так і його середнє значення.

При відключенні частини циліндрів ДВЗ можливий випадок коли може збільшитися зовнішній опір руху автомобіля. Зробили оцінку можливості подолання цього опору за рахунок реалізації максимальної потужності в циліндрах, які залишилися працюючими.

В таблиці 1 приведені значення максимальної кількості m_{\max} відключених циліндрів в залежності від загальної кількості $i_{\text{ц}}$ циліндрів ДВЗ при збереженні умов реалізації рівня середньої індикаторної потужності

$$\overline{N_i} \leq N_{i_{\max}}. \quad (7)$$

В результаті проведеного дослідження визначено, що відключення частини циліндрів ДВЗ при зниженні навантаження на двигун автомобіля не тягне за собою збільшення коефіцієнта нерівномірності індикаторного крутного моменту. Визначено, що незалежно від кількості відключених циліндрів, коефіцієнт нерівномірності індикаторного крутного моменту не змінюється. Враховуючи наявність запасу потужності в циліндрах, що не відключаються, визначено максимально допущена кількість циліндрів, яку можна відключити без нанесення шкоди для реалізації необхідної для руху автомобіля індикаторної потужності двигуна. Показано, що при реалізації максимальної ефективної потужності двигуна $N_{\text{еmax}}$ та середньої ефективної потужності двигуна під час експлуатації N_e можливе відключення до половини циліндрів. Результати проведеного дослідження в подальшому можуть бути використані при оцінці енергоефективності автомобілів.

Таблиця 1– Розрахунок максимальної кількості m_{\max} відключених циліндрів для ДВЗ з різною кількістю циліндрів

$i_{\text{ц}}$	2	3	4	6	8	12
m_{\max}	1	1	2	3	4	6

Перелік посилань

1. Молодан А.О. Наукові основи забезпечення надійності і функціональної стабільності колісних машин в режимі відключення частини циліндрів: автореферат дис. на отримання наукового ступеня доктора технічних наук: спец. 05.22.20 Експлуатація та ремонт засобів транспорту. / А.О. Молодан. - Харків, 2021. 40 с.
2. Застосовність показників оцінювання енергоефективності транспортних засобів / С. І. Андрусенко, І. В. Будниченко, В. М. Дембіцький // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. - 2023. - № 1. - С. 60-70.
3. Динаміка машин з пружними ланками. На прикладі автомобілів і тракторів. Монографія [текст] / за ред. М.А. Подригало та О.С. Полянського. Харків. – Видавництво “Естет Прінт”, 2024. 272 с.
4. Подригало Н.М. Концепція забезпечення ефективності та контролю функціональної стабільності моторно-трансмісійних установок транспортно-тягових засобів: автореферат дис. на отримання наукового ступеня доктора технічних наук: спец. 05.22.20 Експлуатація та ремонт засобів транспорту. / Н.М. Подригало. - Харків, 2016. 36 с.

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ ГОЛОВОК БЛОКУ ЦИЛІНДРІВ ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ АВТОТРАНСПОРТУ

д-р техн. наук, професор Подригало Михайло Абович
Коява Дмитро Зурабович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Експлуатаційна надійність сучасних автомобілів значною мірою залежить від технічного стану головки блоку циліндрів (ГБЦ), яка працює в умовах екстремальних термомеханічних навантажень. Враховуючи значну вартість нових вузлів та необхідність подовження життєвого циклу техніки, якісне відновлення ГБЦ є стратегічним завданням для забезпечення готовності автопарків, особливо в умовах дефіциту ресурсів.

Близько 60 % автопарків країни становлять дрібні господарства зі змішаною формою власності, де обмежене фінансування робить ремонт ключових агрегатів економічно доцільнішим за їх заміну. Проте відновлення чавунних деталей пов'язане з технологічними складнощами, зокрема ризиком утворення крихких структур та тріщин у зоні термічного впливу через швидке тепловідведення.

Технологічні методи відновлення. Для забезпечення довговічності ГБЦ застосовується комплексний підхід, що включає:

– використання додаткових ремонтних деталей (ДРД): метод ефективний для відновлення зношених гнізд клапанів та різьбових з'єднань.

Кріплення здійснюється посадкою з натягом, іноді з додатковою фіксацією стопорними гвинтами;

– зварювання та наплавлення: для чавунних конструкцій використовується дрід ПАНЧ-11/12 або електроди ЦЧ-3А з обов'язковим попереднім підігрівом до 600 °С для зняття залишкових напружень. Алюмінієві сплави відновлюються аргонодуговим зварюванням;

– механічна обробка: розточування, розсвердлювання та шліфування привалочної площини забезпечують необхідну геометрію та шорсткість поверхонь;

– захисні покриття: застосування напилення та епоксидних композицій (ЕД16, ЕД20) дозволяє герметизувати мікротріщини та захистити неробочі поверхні від корозії.

Вирішальним етапом є гідравлічні випробування систем охолодження під тиском 0,4 МПа при температурі 60°C протягом двох хвилин. Особлива увага приділяється діагностиці тріщин у зонах концентрації напружень поблизу різьбових отворів – такі дефекти часто є підставою для вибракування через ризик катастрофічного руйнування. Фінальний контроль включає перевірку герметичності масляних магістралей та точності взаємного розташування функціональних поверхонь за допомогою індикаторних нутромірів.

Дослідження підтверджує, що якість ремонту ГБЦ безпосередньо визначає міжремонтний період двигуна. Лише суворе дотримання технологічної дисципліни (режими зварювання, параметри натягу ДРД та чистова обробка) дозволяє відновити експлуатаційні характеристики вузла до нормативних значень.

Перелік посилань

1. Проектування технологій машинобудівного та ремонтного виробництва / М.А. Подригало, Ю.В. Дудукалов, О.С. Полянський, Б.В. Савченков, Є.О. Дубінін, М.В. Байцур, Ю.В. Тарасов. Харків: ХНАДУ, 2019. 304 с.

2. Дерібо, О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2: практикум / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. І. Сухоруков. Вінниця: ВНТУ, 2015. 116 с.

3. Технологія відновлення деталей та ремонту автомобілів / [Полянський О.С., Савченков Б.В., Дубінін Є.О. та ін.]. Харків: ХНАДУ, 2013, 313 с.

4. Коваленко В. М. Діагностика і технологія ремонту автомобілів: підруч. / В. М. Коваленко, В. К. Щуріхін. Київ: Літера ЛТД, 2017, 224 с. URL: https://www.svpuprofi.lg.ua/pdf/library/diagnost_kovalenko.pdf

ВИКОРИСТАННЯ МАСШТАБНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ МОДЕЛЬНИХ РЯДІВ ТРАКТОРІВ І САМОХІДНИХ ШАСІ

д-р техн. наук, професор Подригало Михайло Абович
канд. техн. наук, доцент Краснокутський Володимир Миколайович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Вступ. Сучасне тракторобудування характеризується широкою номенклатурою машин, які відрізняються потужністю двигуна, масою, тяговими властивостями, швидкісними характеристиками та призначенням. Провідні виробники тракторів і самохідних шасі формують модельні ряди, що мають забезпечити потреби різних категорій споживачів – від малих фермерських господарств до великих агропромислових підприємств. Водночас надмірна кількість моделей ускладнює виробництво, підвищує витрати на проектування, серійне виготовлення, сервісне обслуговування та постачання запасних частин.

Традиційно модельні ряди тракторів будуються за принципом арифметичної прогресії, коли сусідні моделі відрізняються приблизно однаковим приростом потужності двигуна. У багатьох випадках такий крок становить 4–7 кВт, а іноді сягає 10 кВт. Такий підхід є простим для реалізації, проте він не завжди забезпечує раціональне охоплення всього діапазону параметрів, особливо коли йдеться про машини різних класів потужності.

Актуальність дослідження полягає у необхідності наукового обґрунтування структури модельних рядів тракторів і самохідних шасі. Оптимізація кількості моделей дозволяє зменшити виробничі витрати, спростити вибір техніки для користувачів і водночас зберегти достатню різноманітність машин для виконання основних технологічних операцій.

Вибір основного параметра стандартизації. Ключовим етапом побудови модельного ряду є вибір основного параметра стандартизації. Для різних видів транспортних засобів такий параметр визначається по-різному: для вантажних автомобілів – вантажопідйомність, для легкових автомобілів – робочий об'єм або потужність двигуна, для автобусів – пасажиромісткість чи довжина кузова. Для тракторів і самохідних шасі питання вибору основного параметра залишається дискусійним.

Традиційно для тракторів застосовували тягове зусилля, оскільки воно безпосередньо пов'язане з виконанням польових робіт. Проте цей показник не враховує швидкісні можливості машини. Два трактори з однаковим тяговим зусиллям можуть мати різну продуктивність через відмінності у швидкості руху, конструкції трансмісії та умовах взаємодії рушія з ґрунтом.

Поширеним показником також є максимальна ефективна потужність двигуна. Саме за цим параметром часто класифікують трактори на виставках,

у каталогах і технічній документації. Однак потужність двигуна не є абсолютно стабільною характеристикою під час експлуатації. Через втрати у трансмісії, зношування агрегатів і зміну технічного стану машини потужність на ведучих колесах може істотно зменшуватися. Тому більш об'єктивним параметром для стандартизації може бути експлуатаційна або повна маса машини, яка краще відображає конструктивний клас трактора та його потенційні тягові можливості.

Масштабне моделювання як основа формування ряду. Побудову модельного ряду доцільно розглядати як задачу масштабного моделювання. У цьому випадку один із елементів ряду приймається за базовий зразок або прототип, а інші моделі формуються шляхом масштабування його основних параметрів. Такий підхід базується на положеннях теорії подібності, яка дозволяє встановлювати закономірні зв'язки між геометричними, кінематичними та динамічними характеристиками об'єктів різних розмірів.

Використання масштабного моделювання дає можливість зберегти узгодженість параметрів у межах усього модельного ряду. Якщо зміна одного параметра здійснюється без урахування впливу на інші характеристики, виникає ризик створення конструктивно або експлуатаційно нераціональних машин. Навпаки, застосування коефіцієнтів масштабування забезпечує системний підхід до проектування, коли потужність, маса, габарити, тягові властивості та інші параметри розглядаються у взаємозв'язку.

Практична цінність такого підходу полягає у можливості прогнозування поведінки машин на етапі проектування. Це дозволяє зменшити обсяг дорогих експериментальних досліджень, скоротити терміни створення нових моделей і підвищити якість технічних рішень до виготовлення повномасштабного прототипу.

Запропонований метод побудови модельного ряду. Параметричний ряд машин можна подати як послідовність значень основного параметра: $b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b$. У традиційному арифметичному ряді приріст між сусідніми елементами є сталим за абсолютним значенням. Однак для технічних систем більш доцільним може бути врахування не абсолютного, а відносного приросту параметра.

Запропонований підхід передбачає використання постійного відносного приросту основного параметра, який можна трактувати як приріст умовної ентропії. У такому разі кожен наступний елемент ряду визначається за залежністю: $b_i = b_1(1+q)^{i-1}$, де b_i – значення параметра i -го елемента, b_1 – значення параметра базової моделі, q – відносний приріст параметра. Отже, замість арифметичної прогресії формується геометричний ряд із постійним знаменником $z=1+q$.

Перевага геометричного підходу полягає у тому, що він забезпечує більш рівномірне відносне покриття діапазону параметрів. Для малопотужних машин менший абсолютний крок є виправданим, оскільки навіть незначна різниця у потужності може суттєво впливати на

експлуатаційні можливості. Для потужніших машин допустимий більший абсолютний крок, адже відносна різниця між моделями залишається прийнятною.

Результати апробації методу. Ефективність запропонованого методу показано на прикладі модельного ряду тракторів Fendt. У вихідному ряді максимальна ефективна потужність двигуна змінювалася від 26 до 136 кВт, а кількість моделей становила 19. Після переходу до геометричного принципу побудови модельного ряду кількість елементів було зменшено до 12. Таким чином, скорочення становило 36,8 %, що свідчить про значний потенціал оптимізації.

Проведений аналіз модельних рядів 22 відомих виробників тракторів показав, що у більшості випадків застосування геометричної прогресії дозволяє скоротити кількість моделей. Найбільший ефект спостерігається у тих виробників, де початкові ряди містять значну кількість близьких за потужністю моделей. В окремих випадках кількість моделей не змінюється або навіть зростає, що пояснюється особливостями вихідного діапазону параметрів та початкового кроку між моделями.

Отримані результати демонструють, що запропонований метод не є механічним скороченням номенклатури. Він дає змогу сформувати збалансований модельний ряд, у якому кожна модель має чітко визначене місце, а весь діапазон потужностей або інших стандартизованих параметрів покривається без зайвого дублювання.

Практичне значення. Для виробників тракторів і самохідних шасі впровадження такого підходу дозволяє зменшити кількість конструктивних варіантів, уніфікувати агрегати, спростити виробничі процеси та знизити витрати на розробку. Менша кількість моделей також полегшує організацію сервісного обслуговування, складування запасних частин і технічний супровід машин упродовж життєвого циклу.

Для споживачів перевага полягає у простішому виборі техніки. Надмірна кількість близьких за параметрами моделей ускладнює прийняття рішення та може призводити до нераціонального формування машинно-тракторного парку. Оптимізований модельний ряд дозволяє підібрати машину, яка краще відповідає реальним виробничим потребам, без переплати за надлишкові або дублюючі характеристики.

Використання масштабного моделювання для побудови модельних рядів тракторів і самохідних шасі є ефективним науково обґрунтованим підходом. Він дозволяє розглядати кожен модель не ізольовано, а як частину єдиної системи, у якій параметри змінюються закономірно та взаємопов'язано.

Висновок. Перехід від арифметичної до геометричної прогресії з постійним відносним приростом основного параметра забезпечує більш раціональну структуру модельного ряду. На прикладі тракторів Fendt показано можливість скорочення кількості моделей з 19 до 12, тобто на

36,8 %. Аналіз інших виробників підтвердив загальну доцільність такого підходу.

Отже, запропонований метод може бути використаний під час проектування нових модельних рядів тракторів, самохідних шасі та інших мобільних машин. Його застосування сприяє зменшенню витрат, підвищенню рівня уніфікації, спрощенню вибору техніки та підвищенню ефективності експлуатації машинно-тракторного парку.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ АКТИВНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВТОМОБІЛЯ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

д-р техн. наук, професор Подригало Михайло Абович

д-р техн. наук, професор Полянський Олександр Сергійович

д-р техн. наук, професор Дубінін Євген Олександрович

д-р техн. наук, професор Клец Дмитро Михайлович

аспірант Полтавський Микола Володимирович

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Останній час ведуться активні дослідження в сфері електронної діагностики систем, агрегатів та вузлів авто [1]. Також ведеться розробка програм для комп'ютерної діагностики автомобіля, вдосконалення пристроїв для електронної діагностики [2].

Важливою частиною в дистанційній діагностиці надається методам збирання та обробки діагностичної інформації щодо технічного стану авто [2], а також дослідження ефективності базових програм ЕБК різноманітними вузлами автомобіля зокрема в двигуні. Активно ведеться розробка систем дистанційної діагностики, які використовують протоколи бездротової передачі даних по протоколам такі як Wi-Fi або 3G.

Принцип роботи даної системи полягає в тому, що до діагностичного роз'єму авто підключається спеціальний декодер, передатчик (adapter), котрий отримує експлуатаційні дані з ЕБК вузлів двигуна та інших компонентів електронної системи для подальшої передачі їх в реальному часі до серверу збору та обробки даних за допомогою бездротових технологій. Таким чином спеціаліст на станції технічного обслуговування має можливість провести діагностику майже в повній мірі якби автомобіль знаходився на СТО.

Великою перевагою даного методу є можливість дистанційно видаляти коди помилок, що блокують роботи інших систем, також при аварійних ситуаціях є можливість дистанційно розблокувати запуск двигуна якщо він був вимкнений в наслідок зіткнення. Цей формат взаємодії дозволяє оперативно виявляти помилки та заздалегідь планувати технічне обслуговування автомобіля.

Сервер, у свою чергу веде статистику режимів експлуатації автомобіля

[1], навантажень, витрати пального, можливих помилок, виявлених штатними ЕБК. Аналіз цих експлуатаційних даних дає можливість оптимізувати програми керування вузлами та агрегатами, використовуючи адаптивні багаторежимні ЕБК, для оптимального налаштування автомобіля під поточні умови експлуатації. Передача сигналів з контролерів управління та сигналів які входять в систему відбувається в первинній формі та протоколом, який підходить для обробки стандартними діагностичними пристроями. Сигнал, котрий передається в обох напрямленнях по засобам телекомунікаційного зв'язку відбувається з вторинною формою та протоколом по комутаційним засобам зв'язку [1].

Засобами технічного діагностування [1] є технічні пристрої, призначені для вимірювання кількісних значень діагностичних параметрів. У їх склад входять в різних комбінаціях наступні основні елементи: пристрої, що задають тестовий режим; датчики, що сприймають діагностичні параметри і що перетворюють їх в сигнал, зручний для обробки або безпосереднього використання; вимірювальний пристрій і пристрій відображення результатів (стрілочні прилади, цифрові індикатори, екран осцилографа) (рис.1).



Рисунок 1 – Інформаційно-аналітична схема дистанційного контролю технічного стану

Крім того, ЗТД може включати пристрої автоматизації завдання і підтримки тестового режиму, вимірювання параметрів і автоматизований логічний пристрій, що здійснює постановку діагнозу.

Залежно від їх пристрою і технологічного призначення можуть бути стаціонарними або переносними (рис. 2). Стаціонарні стенди встановлюють на фундаменти, як правило, в спеціальних приміщеннях, обладнаних відсмоктуванням відпрацьованих газів, вентиляцією, шумоізоляцією (гальмівний стенд, стенд для перевірки кутів установки коліс і ін.). Переносні прилади використовують як в комплексі із стаціонарними стендами, так і окремо для локалізації і уточнення несправностей на спеціалізованих

ділянках і постах ТО і ремонту (газоаналізатори, тестери, сканери і тому подібне) [1].



Рисунок 2 – Класифікація засобів діагностування по технологічному розташуванню

Зовнішні ЗТД, тобто що не входять в конструкцію автомобіля, вбудовані (бортові) ЗТД включають вхідні в конструкцію автомобіля датчики, пристрої вимірювання, мікропроцесори і пристрої відображення діагностичної інформації, що здійснюють контроль безперервно або періодично за певною програмою.

Наявність таких засобів дозволяє своєчасно виявляти настання перед відмовних станів і призначати проведення попереджувальних дій по фактичному стану (рис. 3). Широке використання вбудованих ЗТД на автомобілях масового випуску обмежується їх надійністю і економічними міркуваннями [3].

Встановлювані, які відрізняються від вбудованих конструктивного виконання засобів обробки, зберігання і видачі інформації, виконуваних у вигляді блоку, який встановлюється на автомобіль періодично. Оскільки планові і заявочні діагностування автомобіля проводяться відносно рідко, це дозволяє мати значно менше число встановлюваних ЗТД в порівнянні з вбудованими, що економічно вигідніше [2, 3].

Останнім часом набули поширення замість вбудованих ЗТД так частіше, використовують два способи діагностування. При першому способі в процесі діагностування на об'єкт діагностування, що не знаходиться в робочому стані, проводять певні механічні, електричні, гідравлічні і інші дії І за допомогою датчиків фіксують його реакцію у вигляді діагностичного

сигналу.

При другому способі об'єкт діагностування виводять на заданий режим роботи і також за допомогою датчиків приймають від нього сигнали, що характеризують діагностичні параметри [3].

Сигнали перетворюються (модуються) в електричні, наприклад, за допомогою аналого-цифрового перетворювача і аналогового мультиплікатора, поступають безпосередньо в засоби відображення інформації і відображають оператором або в мікропроцесор (мікропроцесори), де з урахуванням інформації, що міститься в блоці пам'яті, здійснюється аналіз, а у ряді випадків і прогноз. Отримана інформація передається в засоби відображення [1, 3].

Додаткове розділення на класи засобів технічного діагностування такі як: за ступенем охопту автомобіля, за функціональним призначенням та за ступенем автоматизації (рис. 3) [2].



Рисунок 3 – Пристрої для тестування параметрів автомобіля

По функціональному призначенню ЗТД розділяють на такі групи: комплексні - для діагностування машини в цілому; двигуна і його системи; органів керування, гальмових систем; системи зовнішніх світлових приладів; трансмісії; ходової частини й підвіски; електроустаткування; гідравлічних систем; робочого й спеціального оснащення. За ступенем охопту машин діагностуванням і видом застосовуваних систем діагностування ЗТД розділяють: на ті, що входять у загальні системи діагностування машин у цілому; які входять у локальні системи діагностування окремих складальних одиниць або складових частин машин; засобу діагностування, які застосовуються окремо. За ступенем автоматизації процесу керування ЗТД розділяють на автоматичні, напівавтоматичні, з ручним або ножним керуванням, комбіновані.

Якщо механічні системи автомобіля можуть діагностуватися за допомогою відносного простого загальноприйнятого устаткування, то зростаюча складність електронних систем в сучасному автомобілі привела до необхідності використання нових методів діагностики на базі пристроїв

електронної обробки даних (EDV) [2, 3].

Таким чином, проведені дослідження показують, що в даний час недостатньо досліджено проблему контролю швидкості зміни параметрів технічного стану шляхом організації дистанційного активного контролю цих параметрів за участю виробника, як цього вимагають міжнародні стандарти ISO 9000.

Перелік посилань

1. Біліченко В.В., Крещенецький В.Л., Кукурудзяк Ю.Ю., Цимбал С.В. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів: навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2012. 118 с.

2. Динамічні властивості і стабільність функціонування автотранспортних засобів / Д.В. Абрамов, Н.М. Подригало, О.С.Полянський та інші. Х. :, ХНАДУ, 2014. 204 с.

3. Клец Д.М. Застосування методу парціальних прискорень для оцінювання керованості автомобілів. *Вісник ТНТУ*. 2014. 2(74). 161–168.

СИСТЕМА МАСШТАБНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ З УРАХУВАННЯМ ШИРОТИ РОЗТАШУВАННЯ ОБ'ЄКТА ФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НА ПОВЕРХНІ ЗЕМЛІ

д-р техн. наук, професор Подригало Михайло Абович
канд. техн. наук, доцент Шеїн Віталій Сергійович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Фізичне масштабне моделювання широко використовується при проведенні наукових досліджень. При цьому, у відомих дослідженнях доказано, що масштабні коефіцієнти фізичних величин є величинами, які пов'язані між собою. Основним (вихідним) масштабним коефіцієнтом (масштабом) є лінійний масштабний коефіцієнт. Відносно його розраховуються інші масштаби. Прийнято, що при масштабному фізичному моделюванні в умовах Землі масштаб прискорення завжди дорівнює одиниці.

При проектуванні планетоходів, які призначені для руху в умовах тяжіння інших планет, вихідним масштабом є масштаб прискорення, який дорівнює відношенню прискорення вільного падіння в умовах планети, що розглядається до прискорення вільного падіння в умовах Землі. Але в умовах Землі прискорення вільного падіння, внаслідок нахилу осі обертання і виникнення відцентрових прискорень, змінюються в залежності від широти розташування об'єкту на поверхні Землі.

Таким чином, виникла необхідність побудови системи масштабів фізичних величин з урахуванням широти розташування об'єкта моделювання на поверхні Землі.

Масштабному моделюванню при проведенні експериментальних досліджень автомобілів присвячена робота [1]. В цій роботі показано, що при прийнятті в якості вихідного показника лінійного масштабного коефіцієнту інші масштаби фізичних величин є похідними від лінійного (табл. 1 [1]).

Таблиця 1 – Масштаби механічних величин

№ п/п	Найменування механічної величини	Розмірність	Масштаб подоби	Формула для розрахунку масштабу подоби
1	Лінійний розмір (характерний)	$[L]$, м	m_L	L_H / L_M
2	Час	$[t]$, с	m_t	$\sqrt{m_L}$
3	Маса	$[m]$, кг	m_M	m_L^3
4	Швидкість	$[L \cdot t^{-1}]$, м/с	m_V	$\sqrt{m_L}$
5	Сила	$[m \cdot L \cdot t^{-2}]$, Н	m_F	m_L^3
6	Потужність	$[F \cdot V]$, Вт	m_N	$m_L^{7/2}$
7	Робота (енергія)	$[N \cdot t]$, Дж	m_W	m_L^4
8	Момент інерції	$[m \cdot L^2]$, кг·м ²	m_Y	m_L^5
9	Коефіцієнт жорсткості	$[F / L]$, Н/м	m_c	m_L^2
10	Коефіцієнт загасання	$[F \cdot t \cdot L^{-1}]$, Н·с/м	m_β	$m_L^{5/2}$
11	Коефіцієнт відводу шин	$[F]$, Н/рад	$m_Y = m_\delta$	m_L^3
12	Коефіцієнт демпфування шини	$[F \cdot t]$, Нс	m_λ	$m_L^{5/2}$

Аналіз масштабів подоби, які наведені в таблиці 1, показує, що масштабний коефіцієнт прискорення та дорівнює одиниці. Це означає, що в умовах Землі у незалежності від лінійного масштабу моделі прискорення останньої не зміниться по відношенню до натурального зразка [1].

Коефіцієнт подоби прискорення не буде дорівнювати одиниці, якщо ми будемо створювати масштабну модель для інопланетного використання [2]. В цьому випадку вихідним параметром буде являтися не лінійний масштаб, а масштаб прискорення (табл. 2 [2]).

Але слід відзначити, що в умовах Землі величина прискорення вільного падіння не є постійною величиною, а залежить від широти положення об'єкта на поверхні Землі. Це вносить похибку при проведенні фізичного масштабного моделювання.

Метою дослідження є удосконалення системи масштабних коефіцієнтів для фізичного моделювання механічних систем з урахуванням положення на поверхні Землі.

Для досягнення поставленої мети необхідно визначити вплив широти положення об'єкта на масштабний коефіцієнт прискорення.

Таблиця 2 – Масштаб подоби для проектування роботів та планетоходів

№ п/п	Найменування механічної величини	Розмірність	Масштаб подоби	Формула для розрахунку масштабу подоби
1	Прискорення	$[g_3/g_{пл}], м/с^2$	m_g	$g_3/g_{пл}$
2	Лінійний розмір (характерний)	$[L], м$	m_L	1
3	Час	$[t], с$	m_t	$m_g^{-1/2}$
4	Маса	$[m], кг$	m_M	1
5	Швидкість	$[L \cdot t^{-1}], м/с$	m_V	$m_g^{1/2}$
6	Сила	$[m \cdot L \cdot t^{-2}], Н$	m_F	m_g
7	Потужність	$[F \cdot V], Вт$	m_N	$m_g^{3/2}$
8	Робота (енергія)	$[N \cdot t], Дж$	m_W	m_g
9	Момент інерції	$[m \cdot L^2], кг \cdot м^2$	m_I	1

Прискорення вільного падіння g залежить, як відомо, від широти Φ та висоти h над рівнем моря і визначається наступною залежністю

$$g(h, \Phi) \cong g_0(\Phi) \left(1 - \frac{2h}{R} \right), \quad (1)$$

де $g(h, \Phi)$ – прискорення вільного падіння на широті Φ і висоті h над рівнем моря;

R – середній радіус Землі ($R \cong 6371$ км);

$g_0(h, \Phi)$ – прискорення вільного падіння на рівні моря (залежить від широти),

$$g_0(\Phi) = 9,780327(1 + 0,0053024 \sin^2 \Phi - 0,0000058 \sin^2 2\Phi). \quad (2)$$

При $\Phi=0$ (екватор), $g=9,78$ м/с².

При $\Phi=90^\circ$ (поліс), $g=9,83$ м/с².

Будемо вважати, що натурний об'єкт механічної системи знаходиться на полюсі ($g=9,83$ м/с²), то масштаб прискорення може бути визначено як

$$m_a = m_g = \frac{g(90^\circ)}{g(\Phi_M)} = \frac{9,832186}{9,780327(1 + 0,0053024 \sin^2 \Phi_M - 0,0000058 \sin^2 2\Phi_M)} \quad (3)$$

$$= 1,0053024 \cdot (1 + 0,005324 \sin^2 \Phi_M - 0,0000058 \sin^2 2\Phi_M)^{-1},$$

де Φ_M – широта положення моделі на поверхні Землі.

Інші показники при $m_L=1$ можуть бути визначені за формулами, які наведено в таблиці 2 [2].

При знаходженні фізичної моделі об'єкту на полюсі ($\Phi_M=90^\circ$) рівняння (3) прийме вигляд

$$m_a = m_g = \frac{9,83}{9,78} = 1,0051112.$$

Масштабний коефіцієнт потужності (табл. 2 [2])

$$m_N = m_g^{3/2} = 1,0051112^{3/2} = 1,0076766.$$

Масштабний коефіцієнт роботи (енергії)

$$m_W = m_g = 1,0051112.$$

Отримані результати означають, що у порівнянні з екватором, витрати потужності об'єкта, який знаходиться на полюсі будуть вище у 1,0076766 рази, а енергія – у 1,0051112 рази.

Таким чином, використання масштабного моделювання дозволяє прогнозувати витрати потужності та енергії машин, які працюють у різних широтах на поверхні Землі.

Перелік посилань

1. Подригало М.А., Шеїн В.С. Масштабне моделювання при проведенні експериментальних досліджень автомобіля. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал*. 2023. 1(20). 187-197. doi: 10.36910/automash.v1i20.1048.

2. Подригало М.А., Шеїн В.С. Використання масштабного моделювання при проектуванні планетоходів. *Transport, Ekology – Sustainable Development : XXIX Scientific and Technical Conference with International Participation : сборник доклади, 18-20 травня 2023 р., м. Варна (Болгарія), Варна, 2023. 30. 122–126.*

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН СУЧАСНИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ РЕМОНТУ

д-р техн. наук, професор Полянський Олександр Сергійович
здобувач освіти, група АПМ-41-22 Мінайлов Олег Олексійович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Сучасні технології ремонту агрегатів розраховані на повне розбирання всіх деталей. Досвід досліджень показує, що при цьому порушується взаємне розташування пов'язаних поверхонь, погіршуються умови тертя спрацьованих деталей. Удосконалення технології ремонту агрегатів і вузлів є найбільш ефективним, якщо є точна оцінка фактичного технічного стану. Тому технологія ремонту має бути адаптивною до цього технічного стану, з яким агрегати надходять у ремонт. Один з основних методів оцінки технічного стану агрегатів є безрозбірне діагностування за параметрами вібраційних сигналів. [1].

Подефектно-групова маршрутна технологія є закінченим процесом ремонту агрегатів, вузлів і деталей, що передбачає найвигіднішу

послідовність виконання окремих операцій з обґрунтованих співвідношень дефектів, що входять до складу маршруту.

Таким чином, підефектно-груповий маршрут ремонту вузла, агрегату розуміють як співвідношення таких дефектів, що визначаються їх природним взаємозв'язком, єдністю технологічного маршруту та економічною доцільністю відновлення працездатності.

Маршрут ремонту агрегату визначається після віброакустичного діагностування при вхідному контролі комплектності та оцінки його вихідного технологічного стану. У тому випадку, коли агрегат за характером дефектів не може бути віднесений до жодного з зазначених маршрутів, ремонт виконується за індивідуальним маршрутом.

Основні недоліки підефектної технології [1, 2].

По-перше, дуже складно забезпечити робочий ритм ділянки з ремонту вузлів та деталей. Збереження проводиться у разі їх назвам, а чи не з наявності дефектів. Тому утруднено планування обсягів та видів ремонтних робіт, МТО, завантаження робочих місць.

Другим недоліком підефектної технології є відсутність збереження запущеної партії вузлів та деталей, що ремонтуються, враховуючи, що деталі та вузли вимагають різних способів усунення дефектів, які укомплектовані на складі партіями залежно від наявних дефектів змінюватимуться у міру їх усунення.

При підефектній технології ремонту правильну послідовність ремонтних операцій можна забезпечити лише по одному дефекту. Тоді коли маємо кілька дефектів, перелік їх впливає як на чергу виконання окремих операцій, а й у вибір способу ремонту. Вибір базових поверхонь може бути передбачено технологією, а залежить від кваліфікації виконавців і виробничих керівників (майстер, технолог, настройщик).

Оскільки у підефектної технології велика роль кваліфікації виконавців у визначенні обсягів робіт при ремонті кількох дефектів, то виконаний ремонт який завжди має витрати трудових і матеріальних ресурсів, а технологія – ресурсозберігальна.

Маршрутна технологія [1, 2] відображає важливу для якості та собівартості послідовність виконання операцій ремонту деталей та вузлів за групою дефектів у складі даного маршруту. У ній передбачено ремонт деталей та вузлів усієї партії у суворій послідовності.

На відміну від підефектної технології, послідовність операцій у маршрутній технології не розділена за дефектами, а єдина для всього переліку дефектів. Тому за маршрутної технології немає об'єктивних умов пропуску деталей і вузлів з полумками, чи порушенням послідовності проведення операцій.

Застосування маршрутної технології ремонту деталей та вузлів дозволяє забезпечити економічну доцільність ремонту загалом і з кожному маршруту.

Таким чином, переваги маршрутної технології перед піддефектною є явними. Маршрутна технологія та організація на її основі виробничого процесу сприяє скороченню виробничого циклу ремонту, та забезпечує підвищення техніко-економічних показників виробництва.

Спеціалізація робочих місць щодо усунення дефектів або їх з'єднання підвищує рівень оснащення цього робочого місця.

Ремонт агрегатів, вузлів та деталей за запропонованою технологією з оцінкою фактичного технічного стану при надходженні в ремонт та оцінка якості ремонту може забезпечити задані замовником ресурси зменшення витрат на запасні частини на 30–40 %, зменшення вартості ремонту на 20–30 %.

Встановлено, що представлення технологічного процесу ремонту в його динаміці, як процесу, що протікає і змінюється в часі, вимагає, звісно, відповідного підходу до визначення основних параметрів процесу. Необхідно враховувати, що значення якості ремонтного фонду не залишаються постійними, а залежать від часу і у різні моменти часу приймають різні значення, тому точнісні характеристики технологічного процесу в часі повинні дозволяти визначати точність його в окремі моменти, а основні параметри процесу повинні бути представлені у вигляді функцій часу.

Для оцінки точності діючого технологічного процесу і зіставлення її з теоретичними точнісними діаграмами і з розподілами $\Phi\Sigma(x)$ і $\Phi\Sigma\Sigma(x)$ необхідно побудувати емпіричну точнісну діаграму ходу процесу і визначити емпіричні значення основних параметрів (рис 1).

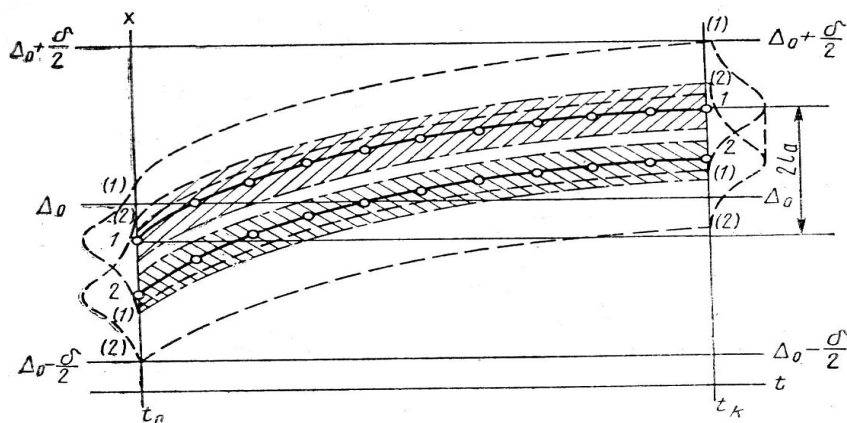


Рисунок 1 – Варіант точнісної діаграми

Правильне розв'язання проблеми точності і продуктивності неможливе без аналізу і розрахунку точності технологічних процесів ремонту. Проте сучасні теорія ймовірності та інші методи ще недостатньо використовуються в ремонтному виробництві.

Перелік посилань

1. Полянський О.С., Савченков Б.В., Дубінін Є.О., Задорожня В.В. Проектування АРП та ремонтних дільниць: навч. посібник. Х. : ХНАДУ, 2012. 224 с.
2. Технологія відновлення деталей та ремонту автомобілів: навч. посібник / О.С. Полянський Б.В. Савченков Є.О. Дубинин та ін. Х. : ХНАДУ, 2012. 320 с.

СУЧАСНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ СИЛОВИХ АГРЕГАТИВ МАШИН ПРИ РЕМОНТІ

д-р техн. наук, професор Полянський Олександр Сергійович
здобувач освіти, група АПМ-41-22 Нагорний Євген Віталійович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Актуальність цієї теми пояснюється необхідністю підвищення зносостійкості та ресурсу робочих поверхонь деталей силових агрегатів машин сучасними технологічними процесами ремонту.

Ресурс – це властивість об'єкту зберігати працездатність до граничного стану, встановленого на основі технічних, економічних або якісних критеріїв.

Таким чином, загальне завдання підвищення ресурсу машин найчастіше зводиться до збільшення зносостійкості обмеженої кількості деталей, що швидко зношуються, та зменшують надійність силових агрегатів і машини в цілому[1–3].

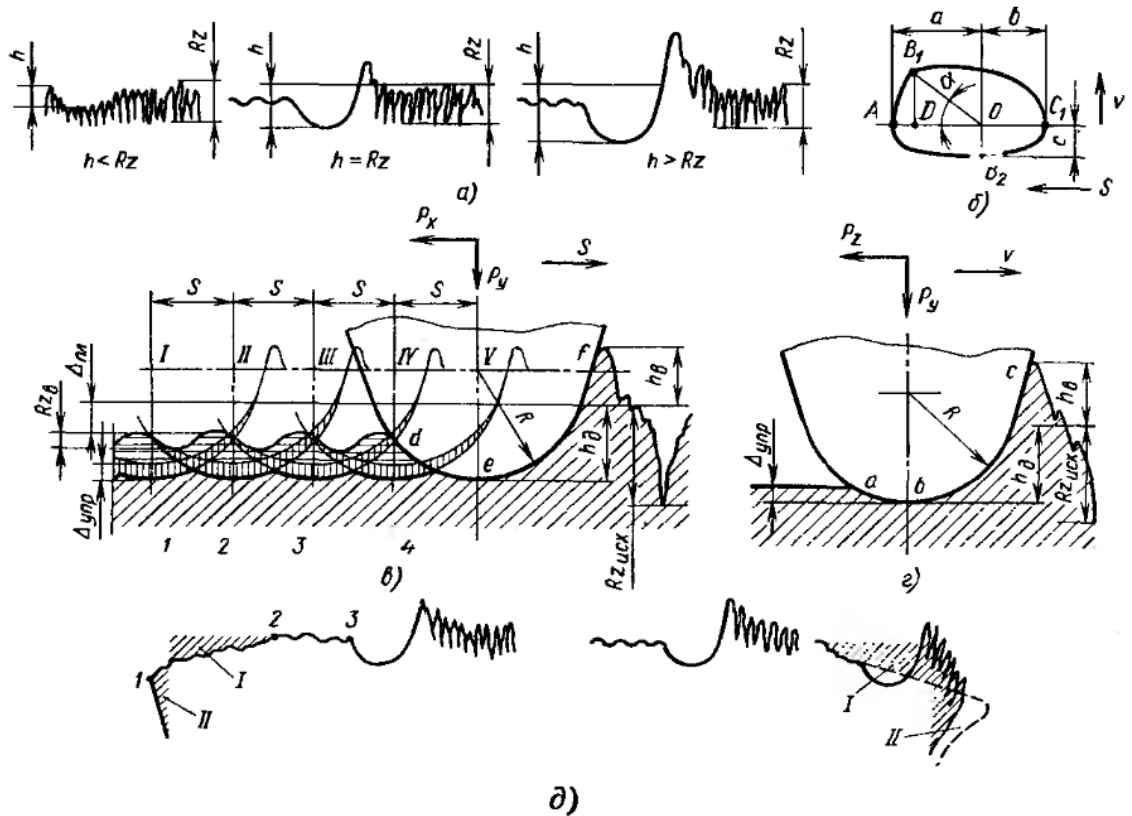
Алмазне виглажування є одним з сучасних, найбільш простих способів поверхнево-пластичного деформування. Його відрізняє висока продуктивність і стійкість інструменту - вигладжувач. Виглажуванням досягається шорсткість $Ra=0,32-0,1$ мкм і навіть дзеркальний блиск поверхні. Зростає мікротвердість і в поверхневому шарі створюються стискають залишкові напруги. Виглажуванням можна знизити в 2-3 рази шорсткість поверхні, домогтися більшої структурної однорідності поверхневих шарів оброблюваного матеріалу. Дуже важливо, що виглажування змінює сам рельєф вихідної поверхні: згладжуються гострі вершини та западини, що виникли при точінні або шліфуванні, значно збільшується фактична опорна поверхня. Як правило, виглажування зберігає точність форми і розмірів деталей, отриманих на попередніх операціях[1–3].

Алмазним виглажуванням легко обробляються загартовані, цементовані, азотовані і покриті твердими гальванічним покриттям деталі. Процес протікає при зусиллях від 50 до 350 Н, що дозволяє обробляти тонкостінні і маложорсткі деталі.

Процес алмазного виглажування кінематично аналогічний точінню, тільки замість різця застосовується алмазний вигладжувач, який, пластично

деформуючи тонкий поверхневий шар, вирівнює його і зміцнює[1–3]. Матеріалом робочої частини є природний або синтетичний алмаз, що забезпечує коефіцієнт тертя по несмазаній металевій поверхні порядку 0,05. Поверхня алмазного наконечника полірується до шорсткості Ra не вище 0,2 мкм. Вигладжувачі також можуть виготовлятися з синтетичних рубіна і лейкосапфіра, мінералокерамики, твердих сплавів і загартованих інструментальних сталей. Однак стійкість алмаза при вигладжуванні значно перевершує стійкість перерахованих матеріалів і може досягати 10-30 годин машинного часу.

Вигладжування полягає в пластичному деформуванні оброблюваної поверхні ковзаючим по ній інструментом – вигладжувачем. Інструмент розсовує метал, утворюючи канавку на поверхні. При цьому створюються три види вогнищ деформування залежно від співвідношення глибин впровадження інструменту та вихідних параметрів шорсткості (рис. 1, а).



- а – співвідношення між глибиною канавки і висотою мікронерівностей;
- б – вогнище деформації; в – схема деформування в напрямку подачі;
- г – схема деформування в напрямку швидкості; д – схема деформування при вході і виході інструменту на кромку деталі.

Рисунок 1 – Вигладжування

Контур контакту передньої півсфери наконечника з деталлю досить точно описує дуга кола AB_1 (рис. 1, б), відповідна кути, а і парабола B_1C_1 .

Область контакту задній півсфери наконечника обмежується дугою AB_2C_1 , яка може бути апроксимована дугою еліпса.

Площа контакту наконечника сферичної форми з деталлю дорівнює сумі площ напів-еліпса AB_2C_1 , сектора кола OAB_1 і параболічного напів-сегменту B_1C_1 мінус площа трикутника OB_1D .

Після проходження інструменту по поверхні відбувається часткова компенсація деформації на величину $\Delta_{упр}$ (рис. 1, б, г). Контакт інструменту з оброблюваною поверхнею в перетині відбувається в напрямку подачі по дузі def ; у напрямку швидкості – по дузі abc . Внаслідок того, що перед вигладжувачем утворюється валик пластично деформованого металу, передня напів-поверхня вигладжувача навантажена набагато більше (контакт по дугах ef і be), ніж задня напів-поверхня (контакт по дугах de та ab). З цієї ж причини, а також внаслідок адгезійної взаємодії між деталлю та інструментом у процесі виглажування виникає осьова сила P_x і тангенціальна складова сили P_z .

В результаті пластичного деформування оброблюваної поверхні згладжуються вихідні нерівності, і утворюється новий мікрорельєф поверхні зі значно меншою висотою нерівностей профілю $R_{zв}$. Розмір деталі зменшується на величину залишкової деформації Дпл [1–3].

При виході інструменту на кромку деталі наприкінці обробки велику роль грає валик металу, переміщається перед інструментом. На деякій відстані від краю деталі частина цього валика починає виходити на кромку і в результаті вигладжувачаючий наконечник поглиблюється більше, ніж на основній оброблюваної поверхні. Характер подальшого поглиблення наконечника залежить від натягу, пластичних властивостей оброблюваного матеріалу, сили і швидкості виглажування.

Параметрами виглажування, що впливають на шорсткість, є: сила виглажування, подача і радіус робочої частини інструменту. При збільшенні сили виглажування до певного значення шорсткість зменшується.

При зміні подачі від 0,02 до 0,10 мм/про параметр шорсткості зростає, при цьому залишкова пластична деформація зменшується [2, 3]. Найменший параметр шорсткості досягається при подачі 0,02–0,04 мм/об; при подачі нижче 0,02 мм/про параметр шорсткості не змінюється або зростає в порівнянні з оптимальним значенням, що пояснюється перенаклепом поверхневого шару. Зменшення вихідного параметри шорсткості при виглажуванні з подачами, великими 0,08–0,10 мм/про, несуттєво, тому виглажування стає малоефективним (рис.2).

Швидкість виглажування мало впливає на параметри шорсткості. При зміні швидкості від 16 до 120 м/хв він практично не змінюється. Зростання швидкості виглажування від 120 до 200 м/хв призводить до невеликого збільшення параметри шорсткості. При великих швидкостях (200 м/хв і більше) алмаз внаслідок перегріву сильно зношується.

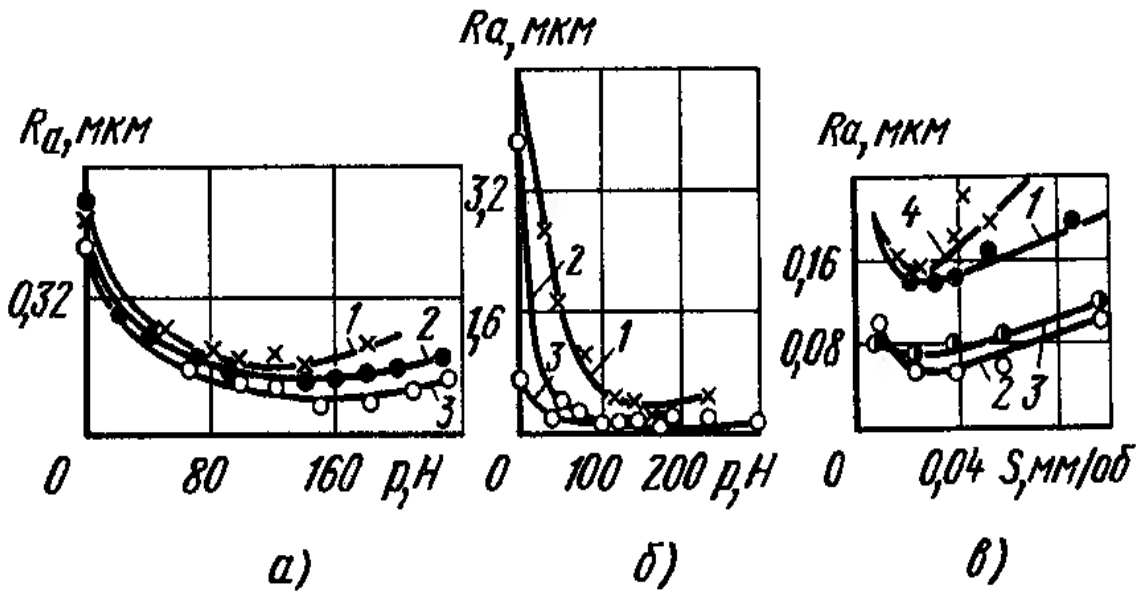


Рисунок 2– Залежності параметра шорсткості поверхні Ra від сили P (а, б) і подачі S (в) при вигладжуванні деталей

При оптимальних режимах виглажування вихідні нерівності повністю нівелюються, і утворюється шорсткість, обумовлена самим процесом виглажування, пов'язаних з подачею. Подальше збільшення сили виглажування збільшує пластичні деформації, висота нерівностей зростає в порівнянні з найменшою, поверхневі шари можуть зруйнуватися і можуть з'явитися тріщини (табл 1) [2,3].

У цьому випадку необхідно достатнє охолодження зони контакту алмаза з оброблюваною поверхнею.

На якість виглажування істотно впливає також охолодження. Дія СОЖ проявляється в появі місцевих легко деформівних зон контактної поверхні, плівки на поверхні алмаза, що оберігає від зношування і зменшує коефіцієнт тертя. При виглаживанні деталей із чорних металів і сплавів рекомендується застосовувати індустріальне масло I-20A, а для деталей з кольорових металів і сплавів – гас. Застосовують також спеціальні склади СОЖ і поверхнево-активні речовини (ПАР).

Параметр шорсткості виглаженої поверхні залежить від вихідного параметру шорсткості. Деталі з загартованих сталей ефективно виглажувати при вихідному параметрі шорсткості не більше $Ra=1,25$ μm , при цьому досягається стабільне зменшення параметри шорсткості в 4-5 разів. Деталі з незакалених сталей, бронзи, алюмінію та інших аналогічних металів можна ефективно виглажувати при вихідному параметрі шорсткості $Ra < 2,0$ μm .

Велика плавність досягається при виглажуванні точних або шліфованих поверхонь із загостреним профілем мікронерівностей, менша - при виглажуванні поверхонь, що мають нерівності притупленою форми, наприклад, хонінгованих, полірованих, обкачаних роликком [2].

Таблиця 1 – Вибір оптимальних режимів виглажування

Твердість оброблюваного матеріалу	Вихідний параметр шорсткості обробленої поверхні Ra, мкм	Радіус алмаза, мм	Режими обробки			Параметр шорсткості обробленої поверхності, Ra, мкм
			P, Н	S, мм/об	v, м/хв	
ОтHRCэ 50 доHRCэ 65	0,32	1,3-2	200—250	0,02—0,04	50—100	0,08
	0,16		150—200			0,08
	0,08		120—150			0,04
ОтHRCэ 30 доHRCэ 50	0,63	1,5-2,0	120—150	0,03—0,05	50—100	0,16
	0,32		120—150			0,04—0,08
	0,16		100—120			0,02—0,04
ОтHRCэ 20 доHRCэ 25	2,5	2,0-2,5	120—150	0,03—0,08	50—200	0,32—0,63
	1,25		100—120			0,16—0,32
	0,63		80—100			0,08—0,16
HB 300	1,25	2,5-3,5	120—150	0,06—0,10	50—200	0,32 0,16
	0,63		100—120			0,08—0,16
	0,32		80—100			0,04—0,08
	0,16		80—100			0,02—0,04
	0,08		60—80			

На гладкій блискучої поверхні після виглажування з'являються мікротріщини шириною 1-3 мкм і інші дефекти, невидимі на шліфованій або полірованої поверхні. Тому при виготовленні відповідальних деталей виглажування застосовують як контрольної операції.

Значні можливості поліпшення експлуатаційних якостей розкриває новий прогресивний процес вібровиглажування з подальшим тонким обкатуванням. Застосування подальшого тонкого обкачування кульковим на деформуючий інструментом. Згладжує напливи металу, отримані в процесі вибровиглаживання, а також сприятливим гострі вершини мікронерівностей між канавками. Додатково підвищується стійкість до зношування поверхонь на 10–11 %, збільшує опорну поверхню без зниження маслостійкості канавок і знижує шорсткість до $Rz=2,9$ і $1,8$ відповідно, при цьому час приробляння знижується в 2-2, 5 рази, що значно збільшує тривалість нормального зносу.

Перелік посилань

1. Полянський О.С., Савченков Б.В., Дубінін Є.О., Задорожня В.В. Проектування АРП та ремонтних дільниць: навч. посібник. Х. : ХНАДУ, 2012. 224 с.
2. Подригало М.А., Полянський О.С., Савченков Б.В. Технологічні основи машинобудування. Х. : ХНАДУ, 2012. 116 с.
2. Технологія відновлення деталей та ремонту автомобілів: навч. посібник / О.С. Полянський Б.В. Савченков Є.О. Дубинин та ін. Х. : ХНАДУ, 2012. 320 с.

ІМОВІРНІСНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ РЕМОНТУ МАШИН

д-р техн. наук, професор Полянський Олександр Сергійович
здобувачка освіти, група АПМз-41-22 Хомякова Олеся Володимирівна
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Проблема підвищення якості продукції є комплексною, потребує значних зусиль у багатьох сферах людської діяльності. Соціальні та інші заходи щодо підвищення якості зрозумілі всім і успішно проводяться. Дещо складніше йде справа з інженерними методами управління якістю. Для здійснення такого управління необхідно проводити оцінку та прогнозування якості продукції.

Однак відомості про методи оцінки та прогнозування якості недостатньо систематизовані і тому далеко не всі інженери знають ці методи. У роботі зроблено спробу такої систематизації. Поряд з відомими відомостями наводяться деякі нові результати. Тому проблема імовірнісних методів контролю якості продукції є актуальною [1].

Метою даної роботи є прогнозування необхідного рівня якості ремонту машин шляхом обґрунтування параметрів продукції за статистичними даними про їх надійність.

Технічний контроль – це комплекс взаємозалежних і проведених відповідно до встановленого порядку контрольних операцій, більшість з яких є невід'ємною й обов'язковою частиною технологічного процесу.

Технічний контроль має охоплювати всі елементи і стадії виробничого процесу. Техніка, методи й організаційні форми контролю повинні цілком відповідати особливостям техніки, технології й організації ремонтного виробництва.

Існуюча система контролю має використовувати сучасні ефективні методи, в тому числі методи статистичного контролю.

На відміну від технічних засобів контролю контролер може помилятися при прийнятті навіть простих рішень і приймати різні рішення в ситуаціях, що повторюються. Тому якість роботи контролера при заданому часі контролю одного виробу можна оцінити лише імовірнісними характеристиками з використанням теорії ризику (рис 1) [2].

За наявності можливих помилок контролера, рішення про приймання або забракування партії приймається за значенням X' . Тому партія приймається не з імовірністю $L(q)$, що відповідає істинному значенню q , а з імовірністю $L(q')$, що відповідає здається значенням q' , яке можна знайти, розмірковуючи так.

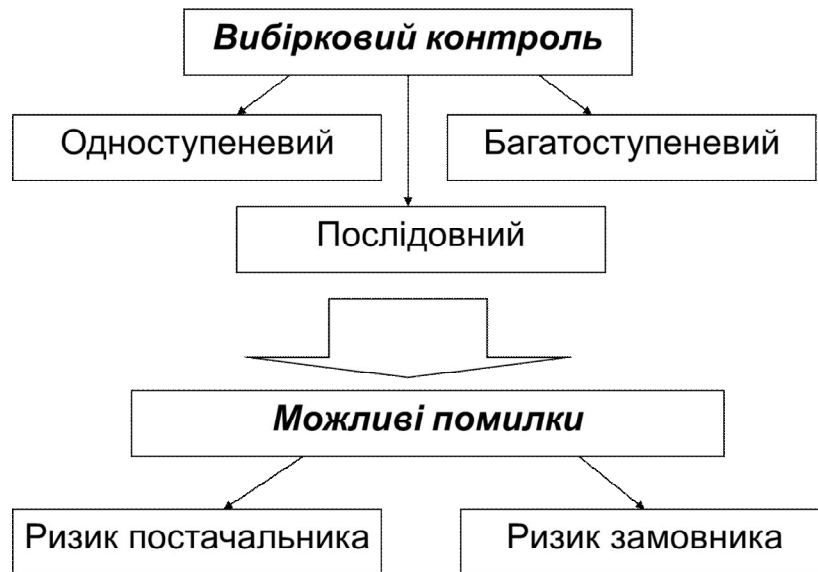


Рисунок 1 – Статистичний приймальний контроль

Зазвичай процес вибіркового контролю організується так, що всі випадки виявлення нібито бракованої одиниці продукції негайно повідомляються виконавцям (виробникам) та обговорюються ними. В результаті помилки першого роду швидко виявляються і усуваються.

Розглянемо застосування наступних оцінок при ймовірнісному приймальному контролі.

Наступними називають статистичні оцінки, обчислені за результатами контролю кількох партій. При цьому використовують накопичену в результаті контролю інформацію про приймання або брак цих партій. Зазвичай знаходять незміщені оцінки, які у середньому дають точні значення, тобто. математичні очікування випадкової величини Y та її оцінки Y^* рівні. При цьому під оцінкою розуміють деяку функцію, яка залежить від результатів випробування і не залежить явно від самої випадкової величини.

Звичайною метою наступних оцінок є визначення ефективності дії плану контролю та виявлення можливих шляхів його коригування. І тому часто обчислюють оцінки середніх рівнів дефектності: вхідного і вихідного. Середній вхідний рівень дефектності – математичне очікування рівня дефектності у кількох партіях чи потоці продукції, що надходить контролю над певний інтервал часу.

Наступні оцінки середніх вхідного та вихідного рівнів дефектності застосовують не тільки при коригуванні плану контролю, але і при прийнятті рішень про вдосконалення виробничого процесу, при обґрунтуванні заходів щодо економічного стимулювання підвищення якості продукції тощо.

Маючи оцінку вхідного рівня дефектності, можна за оперативною характеристикою плану контролю [3] знайти оцінку ризику постачальника: α :

$$\alpha^* = 1 - L(\bar{q}^*),$$

де $L(q)$ – можливість, з якою приймається партія продукції.

Отримана оцінка ризику постачальника показує, наскільки гарантовані інтереси при використанні даного плану контролю продукції. Для прийняття рішення з цього питання проводять техніко-економічний аналіз для встановлення втрат від бракування за значенням ризику. При надто великих втратах перевіряють діяльність служби контролю, знову вивчають можливі шляхи вдосконалення виробничого процесу або приймають рішення про необхідність коригування плану контролю (наприклад, про перехід до ризику споживача $\beta=0,10$ замість $0,05$ або про вибір плану контролю при $c>0$).

Таким чином, мінімальний ризик постачальника можливий під час контролю з дворазовою вибіркою. Застосування цього методу з межами регулювання дозволяє оцінити тенденцію зміни якості ремонту та вжити своєчасних заходів недопущення браку.

Перелік посилань

1. Полянський О.С., Войналович О.В., Мотрич М.М. Розрахунок ймовірності аварійного стану трактора за статистичними даними дефектоскопічного контролю. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2018. 13. 40–47.

2. Бичківський Р.В., Столярчук П.Р., Гамула П.Г. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація: Підручник. Львів : Видав. Нац. Універ. «Львівська політехніка», 2002. 560 с.

РЕЗУЛЬТАТИ ПОРІВНЯЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ ТРАКТОРІВ КЛАСУ 0,6 З ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ РОБОТИ

здобувач освіти, гр. АПМ-41-22 Прокопенко Дмитро Олексійович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Ефективність використання нової техніки, найчастіше оцінюється її продуктивністю. З метою визначення ефективності використання мобільних енергетичних засобів класу 0,6 з додатковим ведучим мостом та змінною зчіпною вагою було проведено порівняльні випробування. У якості порівняння було вибрано трактор СКАУТ ХТ-240 з одним ведучим мостом і трактор СКАУТ ХТ-244 з двома ведучими мостами. Порівняння було виконано методом суцільного хронометражу всього робочого дня.

Основною метою проведення хронометражних випробувань є знаходження параметрів, що характеризують ефективність роботи машино-тракторного агрегату. До них відносяться:

- продуктивність за годину часу руху;
- продуктивність у годину чистого робочого дня;
- середня швидкість руху;
- витрата палива на одиницю обробленої площі.

Обробка отриманих даних проводилася на підставі загальноприйнятих методик.

Продуктивність за годину чистого робочого часу:

$$W_z = \frac{F}{T_p}, \quad (1)$$

де T_p – час руху на гонах, год.;

F – оброблена площа, га.

Продуктивність за годину часу руху:

$$W_p = \frac{F}{T_{px}}, \quad (2)$$

де T_{px} – час руху, год.;

Середня швидкість руху на гонах:

$$V_{сер} = \frac{S_z \cdot n_z}{T_p}, \quad (3)$$

де S_z – довжина робочого гону, м;

n_z – кількість гонів.

Витрата палива на одиницю обробленої площі:

$$\sigma_y = \frac{G}{F}, \quad (4)$$

де G – кількість палива, витраченого на обробку площі, л.

Коефіцієнт використання часу руху:

$$K_p = \frac{T_p}{T_p + T_n} = \frac{T_p}{T_d}, \quad (5)$$

де T_d – загальний час зміни, год.

Порівняльні випробування тракторів класу 0,6 були проведені на сільськогосподарській операції – суцільна культивування. Отримані дані наведені в таблиці 1

Таблиця 1 – Результати порівняльних господарських випробувань на суцільній культивуванні

Показники		СКАУТ ХТ-240	СКАУТ ХТ-244
Довжина гону, м		850	850
Ширина захвату, м	конструктивна	1,8	1,8
	робоча	1,75	1,75
Швидкість руху, м/с		2,50	2,8
Продуктивність, га/год.	за годину часу руху	0,8	1,0
	за годину основного робочого часу	0,9	1,2
Коефіцієнт використання часу руху		0,84	0,86
Коефіцієнт використання часу зміни		0,83	0,85
Витрата палива на одиницю обробленої площі, л/га		4,3	4,2

Аналіз результатів випробувань показує, що використання додаткового ведучого мосту та пристроєм для перерозподілу зчпної ваги на суцільній культивациі дозволило підвищити продуктивність за годину основного робочого часу на 23,9 % та знизити витрату палива на одиницю обробленої площі на 14,6 %. Збільшення продуктивності за годину основного часу у МЕЗ з усіма ведучими мостами становило 33,3 %, і при цьому зниження витрати пального на одиницю обробленої площі становило 2,3 %.

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ

доктор філософії (PhD), доцент *Рибак Ілля Петрович*
Національний транспортний університет

У сучасних умовах розвитку машинобудівного сектору та ремонтного виробництва особливого значення набуває питання підвищення довговічності й надійності деталей машин. Інтенсивна експлуатація техніки спричиняє зношування робочих поверхонь компонентів, що призводить до зниження ефективності функціонування обладнання та зростання витрат на його обслуговування і ремонт. У такій ситуації відновлення зношених деталей стає економічно вигідним і технологічно виправданим способом підтримання працездатності машин і механізмів.

Серед інноваційних методів відновлення деталей особливе місце займають технології нанесення покриттів, зокрема метод плазмового напилення. Цей підхід дозволяє значно покращити фізико-механічні та експлуатаційні параметри виробів. Завдяки застосуванню плазмових технологій створюються покриття з високими показниками зносостійкості, адгезійної міцності й корозійної стійкості, що, своєю чергою, забезпечує подовження терміну служби відновлених деталей.

Актуальність цієї теми дослідження обумовлена необхідністю впровадження ефективних методів відновлення, які не лише дозволяють повернути геометричні характеристики деталей, але й покращують їх експлуатаційні властивості порівняно з новими аналогами. Основною метою роботи є обґрунтування доцільності використання плазмового напилення для підвищення якості ремонтваних деталей машинобудування, а також визначення ключових чинників, які впливають на ефективність цього процесу.

Відновлення елементів машин є ключовим компонентом забезпечення належної функціональності та тривалого терміну служби технічних систем. В процесі експлуатації їхні поверхні піддаються різноманітним формам зношування, таким як абразивне, корозійне та втомне, що спричиняє зміну геометричних параметрів, порушення точності сполучень і деградацію

експлуатаційних характеристик. Традиційні методи реставрації поверхонь, зокрема механічна обробка та наплавлення, часто виявляються недостатньо ефективними для забезпечення необхідної якості, особливо у випадках підвищених навантажень або функціонування в агресивних середовищах.

Серед найперспективніших технологій для відновлення деталей окреме місце займає метод плазмового напилення, який заснований на застосуванні високотемпературного плазмового потоку для перенесення термінально активного матеріалу на поверхню деталей. Основна сутність цього процесу полягає у введенні спеціалізованих порошкоподібних речовин у плазмовий струмінь, де вони досягають рідкого чи пластичного стану та за допомогою високої швидкості осаджуються на попередньо підготовлену основу. Внаслідок цього утворюється покриття, що характеризується високим рівнем адгезії та щільністю структури [1].

Однією з головних переваг плазмового напилення є його універсальність у виборі матеріалів: це можуть бути метали, сплави, керамічні чи композиційні речовини. Таке технологічне різноманіття дозволяє створювати покриття з заданими властивостями залежно від специфіки експлуатаційних умов. Наприклад, для деталей, що працюють в умовах підвищеного зношування, застосовуються надтверді матеріали з високою стійкістю до абразивного впливу. Натомість для функціонування в корозійно-активному середовищі рекомендується використовувати спеціальні покриття з високими антикорозійними характеристиками.

Якість отриманого покриття значною мірою залежить від ряду технологічних параметрів процесу, таких як температура та швидкість плазмового потоку, відстань до поверхні деталі, розмір частинок порошкоподібного матеріалу, а також їхня швидкість подачі. Не менш важливим є стан поверхні основи: вона повинна бути належно очищена від забруднень і мати оптимальну шорсткість для забезпечення надійного з'єднання з нанесеним матеріалом. Недотримання вимог щодо підготовки поверхні або параметрів процесу може призвести до виникнення різних дефектів, таких як пористість, наявність тріщин чи відшарування нанесеного шару.

Використання плазмового напилення не лише дозволяє відновлювати геометричні розміри деталей, а й суттєво покращує їх експлуатаційні властивості. Серед основних переваг – підвищення зносостійкості, зменшення коефіцієнта тертя, поліпшення корозійної та термічної стійкості. Це особливо актуально для таких елементів, як вали, підшипникові поверхні, гідравлічні штоки та деталі двигунів, які висувають високі вимоги до якості поверхонь.

Окрім технічних переваг, плазмове напилення демонструє значну економічну вигоду. З його допомогою можна знизити витрати на виробництво нових деталей, скоротити використання дефіцитних матеріалів і підвищити продуктивність у процесах ремонтного виробництва. Відновлення

складних і дорогих деталей стає економічно вигіднішою альтернативою їхній повній заміні.

Втім, результативність плазмового напилення значною мірою залежить від правильного вибору параметрів обробки та ретельного контролю якості нанесених покриттів. Використання сучасних методів діагностики, зокрема неруйнівного контролю, дозволяє точно оцінювати структуру та характеристики покриттів, що суттєво підвищує надійність та довговічність відновлених елементів.

Технологія плазмового напилення є перспективним рішенням для підвищення якості відновлення машинних деталей. Вона забезпечує утворення покриттів із необхідними характеристиками, збільшує термін експлуатації виробів і дозволяє значно економити на їх обслуговуванні та ремонті.

Застосування плазмового напилення у відновленні деталей машин є одним із найефективніших напрямів для підвищення якості ремонтного виробництва. Дослідження підтвердили, що ця технологія дозволяє створювати покриття з відмінними експлуатаційними характеристиками, такими як покращена зносостійкість, висока адгезійна міцність, а також стійкість до корозії та екстремальних температур [2].

Завдяки використанню плазмового напилення вдається не тільки відновити початкові геометричні параметри деталей, але й суттєво покращити їх функціональні властивості, що часто перевершують характеристики нових виробів. Це особливо актуально для механізмів і вузлів, які функціонують в умовах підвищених навантажень. Для забезпечення якісного покриття важливу роль відіграє дотримання оптимальних технологічних параметрів процесу та ретельна підготовка поверхні перед нанесенням.

Окрім технічних переваг, технологія плазмового напилення має значну економічну доцільність. Вона дає змогу зменшити витрати на виготовлення нових деталей і підвищити рентабельність підприємств, що займаються ремонтом техніки. У підсумку, плазмове напилення стає перспективним рішенням для сучасного машинобудування, забезпечуючи не лише відновлення, але й підвищення надійності, довговічності та загальної ефективності роботи деталей.

Перелік посилань

1. Проектування технологій машинобудівного та ремонтного виробництва. Навчальний посібник. Подригало М.А., Полянський О.С., Дудукалов Ю.В., та інші, всього 6 осіб. Харків : ХНАДУ, 2019. – 308 с.
2. Дяченко С.С. Матеріалознавство: Підручник. / С.С. Дяченко, І.В. Дощечкіна, А.О. Мовлян, Е.І. Плешаков. / За ред. С.С. Дяченко. – Харків: Видво ХНАДУ, 2007. – 440 с.

ВПЛИВ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХОНЬ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ

канд. техн. наук, доцент Рибалко Ірина Вільгельмівна
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Якість поверхні є одним із найважливіших чинників, який забезпечує високі експлуатаційні властивості деталей машин і приладів. Залежить перш за все від властивостей матеріалу – фізичних, механічних, електрофізичних, електрохімічних, тощо, та методу обробки – різання, шліфування, полірування тощо [1].

Шорсткість поверхні є однією із основних геометричних характеристик якості поверхні деталей і суттєво впливає на її експлуатаційні показники.

Нормативним документом ДСТУ ISO 4287:2012 встановлено вимоги, які висуваються до шорсткості поверхні, незалежно від способу її отримання або обробки. Це дає можливість застосовувати дані вимоги до поверхонь, які оброблені різними способами [1].

Шорсткість поверхні має великий вплив на зносостійкість і довговічність виробів, а також:

- може порушити характер сполучення деталей в результаті зминання або інтенсивного зносу виступів профілю;
- у стикових з'єднаннях через значну шорсткість знижується жорсткість стиків;
- руйнуються ущільнення, що контактують з шорсткими поверхнями валів;
- нерівності, які є концентраторами напруги, знижують втомну міцність деталей;
- шорсткість впливає на герметичність сполук, на якість гальванічних та лакофарбових покриттів;
- шорсткість впливає на точність вимірювання деталей;
- більш грубо оброблені поверхні швидше піддаються корозії тощо.

Зносостійкість визначає здатність поверхневих шарів деталей чинити опір руйнуванню при терті ковзання, терті кочення, а також при мікропереміщеннях, що обумовлені вібраціями.

Зношування деталей призводить до втрати точності, зниження ККД, зниження міцності, збільшення динамічних навантажень. Зношування є причиною виходу з ладу переважної більшості машин (до 80 %) та їх деталей.

Втомна міцність – здатність деталей машин чинити опір руйнуванню протягом певного проміжку часу при дії на них знакозмінних навантажень.

Дослідженнями встановлено, що осередки руйнування деталей машин від втоми металу зароджуються на поверхні. Виходячи з цього, втомна міцність значною мірою визначається шорсткістю і фізико-механічними характеристиками поверхневого шару.

Відомо, що чим менше шорсткість поверхні, тим вище втомна міцність деталей. Нерівності, що утворюються на поверхні, є концентраторами напруг і є однією з причин зниження втомної міцності.

Контактна жорсткість визначає здатність поверхневих шарів деталей, що знаходяться в контакті, чинити опір дії сил, що прагнуть їх деформувати. Контактна жорсткість впливає на точність роботи приладів, на точність установки деталей у пристроях, на верстатах, на точність обробки та складання деталей. Контактна жорсткість значною мірою залежить від технології виготовлення деталей.

Вплив нерівностей поверхні на корозію металів та особливо на корозійне розтріскування, а також на якість захисних покриттів близький за характером до впливу їх на втомне руйнування.

До покриття поверхонь гальванічним способом або нанесенням лаків та фарб, що виконуються з декоративною метою та одночасно для захисту від корозії, зазвичай пред'являють вимоги естетичності та довговічності. Обидві ці властивості залежать від нерівностей поверхні, підготовленої під покриття.

Вимоги до шорсткості поверхонь деталей та вибір параметрів для її оцінювання визначаються, виходячи із функціонального призначення, умов роботи та конструктивних особливостей поверхні та деталі в цілому.

Шорсткість поверхні може бути призначена за одним із способів:

– за рекомендаціями з вибору числових значень параметрів для найбільш типових видів з'єднань, наведених у довідковій літературі;

– за стандартами на деталі та вироби, а також на поверхні, з якими вони з'єднуються, наприклад, вимоги до шорсткості поверхонь під підшипники кочення;

– за відсутності рекомендацій з визначення шорсткості поверхні, обмеження шорсткості поверхні можуть залежати від допуску розміру, допуску форми або допуску розташування.

Перелік посилань

1. Шорнікова С. В. Шорсткість поверхні як одна із основних геометричних характеристик якості поверхні деталей. Методи та засоби контролю. Таврійський науковий вісник. Сер. Комп'ютерні науки та інформаційні технології. 2022. Вип.5. С. 13-20

ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ВИПРОБУВАНЬ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ

канд. техн. наук, доцент Рибалко Ірина Вільгельмівна
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Загальні вимоги до методів випробувань на зносостійкість встановлюються низкою стандартів, які поширюються на вироби та їх

складові, що працюють у різних умовах. Вимоги цих стандартів повинні враховуватися при розробці методик та програм випробувань конкретних видів виробів, безпека яких залежить від їх зносостійкості.

Спеціальні триботехнічні випробування слід обов'язково проводити, коли:

- від зносостійкості окремих елементів виробу залежить безпека його експлуатації;
- зношування є основним видом руйнування виробу;
- від показників зносостійкості залежать техніко-економічні характеристики виробу.

Розрізняють наступні види випробувань на зносостійкість:

- лабораторні випробування зразків матеріалу. Проводяться дослідження нових матеріалів, приблизна оцінка області їх раціонального використання, аналіз механічних та фізико-механічних процесів в поверхневих шарах. Результати використовуються для контролю стабільності властивостей матеріалів при їх виробництві;

- лабораторні випробування малогабаритних зразків. Випробуванням має передувати визначення масштабних коефіцієнтів переходу. Проводиться аналіз зносостійкості матеріалу, дослідження процесу зношування. При цих випробуваннях отримують вихідні дані для натурних випробувань;

- стендові випробування. Проводиться оцінка впливу на фрикційно-зносні характеристики пари тертятрибосполучень, встановлення ресурсів зношування елементів та норм допустимого зносу. Результати використовуються при контролі якості при виробництві;

- полігонні випробування. Проводиться оцінка впливу конструкції та одного чи кількох зовнішніх факторів, що впливають на зносостійкість трибосполучень.

- експлуатаційні випробування. Проводиться оцінка впливу конструкції виробу та реальних умов експлуатації на зносостійкість.

До недавнього часу в Україні діяв ГОСТ 30480-97, який встановлював загальні вимоги до випробувань на зносостійкість. Цей стандарт в Україні поступово замінювався національними стандартами, зокрема, гармонізованими з європейськими (EN) та міжнародними (ISO) або розробленими ДСТУ. З 01.01.2026 року дія ГОСТ 30480-97 скасована.

На сьогодні в Україні діє велика кількість національних стандартів України, які регламентують різні види випробувань.

Основними стандартами є ДСТУ 7787:2015 «Забезпечення зносостійкості виробів. Методи випробувань на зношування під час фретингу та фретинг-корозії» та ДСТУ 2823–94 «Зносостійкість виробів. Тертя, зношування та мащення. Терміни та визначення» та інші. Цими стандартами визначаються умови тертя, тиск, швидкість та методи оцінки зносу (маса, лінійні розміри).

Для конкретних матеріалів (метали, полімери, композити) слід додатково керуватися стандартами ДСТУ EN, що стосуються зносу відповідних матеріалів.

Вибір стандарту для стендових випробувань залежить від типу продукції, яка підлягає перевірці.

Полігонні випробування регламентуються низкою державних стандартів, основним з яких є ДСТУ 3021-95 «Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення».

Розроблені і впроваджені ключові ДСТУ та нормативні документи, що регулюють полігонні випробування для озброєння та військової техніки:

– ДСТУ В 15.210:2023 – регулює етапи та порядок проведення випробувань озброєння та військової техніки.

– ДСТУ В 15.211:2023 – застосовується для розробки програм та методик випробувань.

Експлуатаційні випробування регулюються стандартами залежно від галузі (транспорт, ІТ, будівництво), ключовими з яких є загальний ДСТУ 3021-95 (терміни) та ДСТУ 7388:2013 (транспорт) або ДСТУ ISO/IEC 19795:2018 (інформаційні технології). Загалом, експлуатаційні випробування проводяться для оцінки відповідності продукції встановленим вимогам при реальному використанні, включаючи дослідну та підконтрольну експлуатацію.

Для лабораторних випробувань також керуються вимогами ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 щодо компетентності лабораторій.

Нормативна база України потребує подальшого перегляду та гармонізації з європейськими та міжнародними стандартами.

КОНСТРУКТИВНІ СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ

канд. техн. наук, доцент Рибалко Ірина Вільгельмівна
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Конструктивні способи підвищення зносостійкості деталей, що труться, різноманітні і мають вирішуватися на стадії проектування вузлів тертя. А саме:

- оцінка та вибір схеми вузла тертя машини з урахуванням її впливу на зносостійкість та надійність конструкції;
- вибір матеріалів пари тертя;
- визначення розмірів та форми деталей;
- забезпечення нормальної роботи вузла тертя у заданому режимі та захист від перевантажень;
- забезпечення експлуатації з мінімальними витратами;
- захист вузла тертя від забруднень та інш.

Оцінка та вибір схеми вузла тертя. З аналізу існуючих конструкцій трібосистем, що використовуються в машинобудуванні, можна виділити чотири варіанти таких конструкцій.

Перший варіант – рухомий елемент має високу твердість і велику площу тертя, а нерухомий – меншу твердість і меншу площу тертя, тобто:

$$H_p > H_n, A_p > A_n,$$

де H_p, H_n – твердості рухомого і нерухомого елементів;

A_p, A_n – площі тертя рухомого і нерухомого елементів відповідно.

Таке сполучення матеріалів і площ тертя називається прямою трібосистемою.

Другий варіант – це трібосистема, яка має змінене співвідношення твердостей матеріалів, а співвідношення площ тертя залишається таким же, як і у прямій трібосистемі:

$$H_p < H_n, A_p > A_n.$$

Оскільки у такій трібосистемі змінене тільки взаємне розташування матеріалів, її називають зворотною трібосистемою за матеріалами.

Третій варіант – це трібосистема, у якої змінене співвідношення площ тертя, а співвідношення твердостей матеріалів залишається як у прямій трібосистемі:

$$H_p > H_n, A_p < A_n.$$

В цій парі змінене лише взаємне розташування площ тертя, таку трібосистему називають зворотною трібосистемою за геометрією.

Четвертий варіант – це трібосистема, у якої змінено стосовно прямої трібосистемі співвідношення твердостей матеріалів і співвідношення площ тертя:

$$H_p < H_n, A_p < A_n.$$

Таку трібосистему називають зворотною трібосистемою за матеріалами і за геометрією одночасно.

Ці варіанти трібосистем часто зустрічаються в реальних конструкціях машин та механізмів [1].

Вибір матеріалів для виготовлення елементів трібосистем є складним завданням, оскільки потрібно врахувати велику кількість факторів. А саме: рівень статичного і динамічного навантажень, швидкість відносного переміщення тіл, що труться, температура при експлуатації, властивості мастильного матеріалу, вид тертя, конструкцію трібосистемі. Також матеріал повинен задовольняти вимоги зносостійкості і коефіцієнта тертя, мати низьку вартість, добру припрацьовуваність і технологічність.

Недостатня надійність пари тертя, пов'язана з невідповідним підбором матеріалів може призвести до схоплювання та заїдання. Досвід експлуатації машин, стендові випробування деталей, що труться, і лабораторні дослідження показують, що зворотні пари тертя більш стійкі до заїдання, а за наявності заїдання мають менші пошкодження поверхонь.

На довговічність і надійність роботи вузлів тертя також впливає жорсткість. Збільшення жорсткості конструкції сприяє підвищенню зносостійкості [1].

Визначення розмірів та форми деталей. Тіла, що труться, повинні мати форму, близьку до ідеальної. Макрогеометричні відхилення тіл кочення сприяють виникненню вібрацій, росту динамічних навантажень і об'ємному втомному руйнуванню. Одним з методів підвищення зносостійкості є також вибір оптимальної хвилястості.

Деталі потрібно надавати такої форми, при якій у міру зносу одних ділянок поверхні тертя в контакт вступають сусідні, менш зношені [1].

Заміна тертя ковзання тертям кочення. Втрати енергії в умовах тертя ковзання значно вищі, ніж при реалізації тертя кочення. Тому необхідно там, де це можливо, використовувати у конструкції вузлів тертя опори кочення. Заміна тертя ковзання тертям кочення сприяє підвищенню довговічності деталей, надійності їхньої роботи та економічності машин.

Для вузлів, які працюють за умов тертя кочення, характерні такі переваги:

- малі втрати на тертя і вищий ККД. Коефіцієнт тертя кочення порівняно мало змінюється у великому діапазоні навантажень та окружних швидкостей;

- можливість економічного використання кольорових металів, що сприяє зниженню вартості вузла;

- невелика витрата мастильних матеріалів;

- відсутність потреби у примусовому охолодженні;

- висока ступінь стандартизації, що спрощує конструювання та монтаж вузлів;

- можливість сприйняття осьових навантажень.

Заміна зовнішнього тертя внутрішнім тертям пружного елемента. Кінематичні пари з жорсткими ланками для відносно невеликих лінійних, кутових або спільних переміщень у ряді випадків можуть бути замінені нерухомими сполуками з проміжним елементом високої пружності, що має ряд переваг. Взаємне зміщення ланок у процесі роботи досягається з допомогою деформації спеціальної еластичної деталі; при цьому зовнішнє тертя ковзання або кочення замінюється внутрішнім тертям пружного елемента з гуми.

Зниження теплового навантаження на вузол тертя. При роботі деталі, що труться, нагріваються, зазнають теплових деформацій, що призводить до зміни форми і величини зазорів і натягів у сполученнях. В результаті можливе схоплювання поверхонь, заїдання та заклинювання рухомого сполучення.

Щоб уникнути цього явища потрібно:

- виконувати розрахунки зазорів з урахуванням величин температурних деформацій елементів вузлів тертя;

- вибирати матеріали із близькими значеннями коефіцієнтів теплового розширення;
- застосовувати схеми контактування з оптимальним коефіцієнтом тертя;
- реалізовувати засоби теплозахисту та тепловідведення [2].

Захист робочих поверхонь від забруднень/Багато машин та механізмів працюють у запиленому чи забрудненому середовищі, що призводить до потрапляння у вузли тертя абразивних частинок. Тому забезпечення гарного захисту поверхонь тертя від забруднень є важливим засобом забезпечення довговічності та працездатності деталей та вузлів тертя.

Способи захисту поверхонь тертя від забруднень визначаються: призначенням механізму або машини, конструкцією вузла, умовами експлуатації, вимогами до кінематичної точності та іншими факторами. Захист від забруднень можна поділити на декілька груп: захист відкритих вузлів тертя; герметизація закритих корпусів у місцях виходу валів чи інших рухомих деталей; очищення мастильного матеріалу; видалення забруднень з палива, повітря, а також газів та рідин, що надходять у внутрішні порожнини машини.

Захист від забруднень здійснюється за допомогою різних систем масляних та повітряних фільтрів, які забезпечують очищення мастила та повітря, що надходять до поверхонь тертя. Також використовують різні ущільнювальні пристрої.

Для захисту шарнірних з'єднань використовують різні кожухи та чохла із водонепроникних матеріалів.

Перелік посилань

1. Основи трибології: Підручник / Антипенко А.М., Белас О.М., Войтов В.А. та ін. / За ред. Войтов В.А. Харків : ХНТУСГ, 2008. 342 с.
2. Герук С. М. Конструкційні способи підвищення зносостійкості деталей машин: Зб. тез доп. X Міжнар.наук.-техн.конф. «Крамаровські читання» (м. Київ 23-24 лют. 2023 р.) К. : Видавничий центр НУБіП України, 2023. С. 64-66

ВДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБІВ РЕМОНТУ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ У ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

канд. техн. наук, старший науковий співробітник Рогозін Ігор Віталійович
курсант групи 331 Захаров Олександр В'ячеславович
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Утримання в належному стані автомобільної техніки напряму впливає на готовність підрозділів та частин Збройних Сил (ЗС) України та інших

складових Сил оборони України до виконання завдань за призначенням. Досвід ведення бойових дій вказує на потребу у постійному пересуванні підрозділів та частин ЗС України в різних умовах та віддаленості від лінії бойового зіткнення. Незважаючи на підтримання справності автомобільної та спеціальної техніки, її стан з кожним роком погіршується через фізичне та моральне старіння. До того додаються бойові пошкодження, що виникають під час використання за призначенням, що, у свою чергу, викликає збільшення кількості несправних (пошкоджених) машин та, відповідно, потреби у їх відновленні. Разом всі ці фактори потребують вирішення проблем ремонту автомобільної техніки [1–3].

У доповіді проаналізовано сучасні напрямки виробництва новітніх зразків рухомих майстерень ремонту та способів їх застосування. Встановлено перелік основних операцій, що потребуються для усунення несправностей, які впливають на рухомість автомобільної техніки. Визначено, що під час використання автомобільної техніки за призначенням значну частку ушкоджень отримують її колеса (шини). У багатьох випадках це потребує швидкого усунення порушення герметичності шин в польових умовах на місці ушкодження [1, 2]. У цих умовах, рухомі засоби технічного обслуговування та ремонту, що є на озброєнні ЗС України, не завжди мають можливість забезпечити відновлення шин коліс автомобілів (особливо багатовісних колісних шасі) через застарілість обладнання для відновлення коліс [2, 3].

У дослідженні проаналізовано та запропоновані способи скорочення часу відновлення рухомості автомобільної техніки та ремонту коліс за допомогою рухомого шиномонтажного комплексу. Визначено його склад, до якого можуть входити будь-який вантажний автомобіль або вантажний мікроавтобус з розташованим у кузові-фургоні обладнанням, самохідний модульний універсальний візок та причеп-майстерня [3, 4].

Проведені орієнтовні розрахунки вказують, що у випадку застосування запропонованого рухомого шиномонтажного комплексу час на виконання операцій з відновлення шин коліс багатовісних колісних шасі безпосередньо на місці виходу з ладу може суттєво знизиться. Наданий варіант рухомого шиномонтажного комплексу надає можливість покращити технологію ремонту коліс автомобільної техніки у польових умовах.

Перелік посилань

1. Хроніка. 1500 днів повномасштабної війни (24 лютого 2022 р. – 3 квітня 2026 р.) / уклад.: С. Гірік, А. Киридон ; за заг. ред. А. Киридон. Київ : Державна наукова установа «Енциклопедичне видавництво», 2026. 762 с. URL: <https://ev.vue.gov.ua/wp-content/uploads/2026/05/Khronika.-1500-dniv-povnomasshtabnoi-viiny-24-liutoho-2022-r.-3-kvitnia-2026-r.-compressed.pdf> (дата звернення: 05.05.2026).

2. Російсько-українська війна. Енциклопедичний глосарій / упоряд.: А. Киридон, А. Іваненко ; за заг. ред. А. Киридон. Київ : Державна наукова установа «Енциклопедичне видавництво». URL: <https://ev.vue.gov.ua/wp-content/uploads/2026/05/Rosiisko-ukrainska-viina.-Entsyklopedychnyi-hlosarii.pdf> (дата звернення: 05.05.2026).

3. Рогозін І.В., Маєв Г.Г. Забезпечення ремонту багатовісних колісних шасі озброєння та військової техніки у польових умовах. *Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств: IV Всеукраїнський наук.-практ. онлайн-семінар : збірник тез, 29 травня 2025 р., Харків, ХНАДУ. 2025. С. 29–31.*

4. Самохідний модульний універсальний візок: Пат. 161553 Україна , МПК В62В 1/22 (2006.01), В62В 11/00, В62D 51/04 (2006.01). Рогозін І.В., Ніценко В.М., Луценко Е.О. та ін. (Україна); ХНУПС. – № u2025 00707; Заявл. 18.02.25; Опубл. 17.12.25, Бюл. №51.

АДАПТИВНІ МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ДІАГНОСТИЦІ ТА ВІДНОВЛЕННЮ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОГО ЧАСУ

доцент Родюков Анатолій Олексійович
старший викладач Юхно Віталій Анатолійович
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

У сучасних умовах динамічного розвитку військової техніки та машинобудування, питання якості технічного обслуговування (ТО) та ремонту безпосередньо залежить від рівня підготовки інженерних кадрів. Відповідно до вимог державних стандартів [1], забезпечення якості продукції та послуг є системним процесом, де кваліфікація персоналу виступає критичним чинником. Для військових спеціалістів, які працюють із багатоцільовою технікою іноземного виробництва, виникає потреба в опануванні складних алгоритмів діагностики в стислі терміни навчального процесу. Традиційні методи навчання часто не враховують фактор стресу та дефіциту часу, що в реальних умовах можуть призводити до помилок при діагностиці несправностей, а також зниження якості ремонту.

Традиційна лінійна модель підготовки фахівців у ВНЗ підготовки фахівців з ТО та ремонту військової техніки виявляється недостатньо гнучкою. Ми пропонуємо перехід до систем відкритої та адаптивної освіти, спираючись на концептуальні моделі Бикова В.Ю. [2], де навчальне середовище підлаштовується під індивідуальні можливості курсанта.

Адаптивне навчання передбачає підлаштування освітнього контенту під рівень знань та швидкість реакції кожного студента/курсанта в рамках якого проводиться:

– динамічне тестування з використання алгоритмів, які змінюють складність запитань залежно від попередніх відповідей. Якщо курсант легко розпізнає типові несправності, система переходить до аналізу складних комбінованих відмов.

– застосування сценаріїв з часовим обмеженням та впровадження в навчальний процес симуляції, де час на дефектування та прийняття рішення про спосіб відновлення є обмеженим. Це розвиває професійну інтуїцію та впевненість в прийнятті рішень.

Ключовим елементом методики є інтеграція технологій Digital Twin [3–6]. Використання тривимірних моделей, створених у середовищах Fusion 360 та Blender, дозволяє реалізувати практичну підготовку без експлуатаційного зносу реальних вузлів. Це особливо актуально при вивченні техніки іноземного виробництва, де доступ до реальних зразків є обмеженим.

Для впровадження адаптивних сценаріїв використовується платформа Moodle. Згідно з методиками [7], навчальний контент структурується у вигляді розгалужених модулів. Якщо курсант припускається помилки в алгоритмі дефектування, система автоматично змінює траєкторію навчання, надаючи додаткові візуальні матеріали або симуляції фізичних процесів.

Для підтвердження дієвості методу нами застосовано апарат математичної статистики [8] та Item Response Theory (IRT). Зокрема, імовірність успішного засвоєння матеріалу описується логістичною моделлю Раша:

$$P(\theta) = \frac{1}{1 + e^{-(\theta - \beta)}}, \quad (1)$$

де θ – рівень підготовки курсанта;

β – складність технічного завдання.

Використання Марковських ланцюгів дозволило змоделювати процес навчання як перехід між станами «помилкова дія» та «вірне рішення». Аналіз показав, що при адаптивному підході імовірність безпомилкового виконання операцій діагностики зростає на 15–20 % за коротший проміжок часу.

Впровадження адаптивної методики дозволяє не лише підвищити якість підготовки фахівців, а й суттєво оптимізувати витрати навчального ресурсу. Поєднання глибокого теоретичного навчання з цифровим моделюванням створює фундамент для безпомилкової експлуатації та ремонту складної автомобільної техніки в реальних бойових умовах.

Перелік посилань

1. ДСТУ ISO 9001:2015 Системи управління якістю. Вимоги. — К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016.

2. Биков В.Ю. Концептуальна модель організації підготовки висококваліфікованих робітників для високотехнологічних виробництв. *Розвиток педагогічних наук в Україні і Польщі на початку XXI століття* : зб. наук. пр. 2011. 284–292.

3. Digital Twin: Architectures, Networks, and Applications [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://surl.li/oooeiq>

4. Digital Twins for Industrial Applications [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://surl.li/ubqeeex>

5. Ansys Twin Builder Getting Started (Self-paced Learning Available) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://surl.li/ukychn>

6. Digital Twins [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://surl.li/cyqgho>

7. Морзе Н.В. Методика навчання інформатики: Навч. посіб.: У 3 ч. За ред. акад. М. І. Жалдака. К.: Навчальна книга, 2004. Ч. I : Загальна методика навчання інформатики. 256 с.

8. Радзіховська Л.М., Гусак Л.П. Використання теорії ймовірностей та математичної статистики під час викладання системного аналізу. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблем.* 2025. 75. 106 – 113.

АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПОКАЗНИКІВ МАНЕВРЕНОСТІ ДВОВІСНИХ АВТОМОБІЛІВ

Рябушко Іван Андрійович

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

На рис. 1 наведено схему повороту двовісного автомобіля з додатковим поворотом задніх коліс у площині дороги.

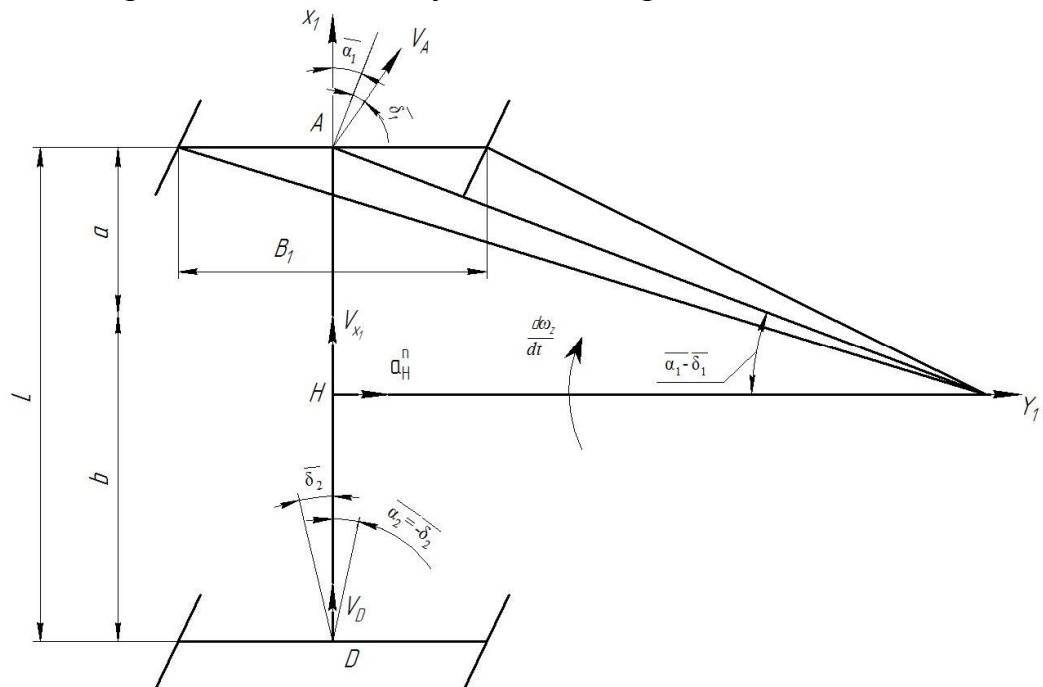


Рисунок 1 – Поворот двовісного автомобіля з додатковим поворотом задніх коліс у площині дороги

Вираз для знаходження кута $\bar{\alpha}_2$ (19) можливо представити у вигляді

$$\bar{\alpha}_2 = w_1(p)\dot{\omega}_z + w_2(p)a_H^n,$$

де $w_1(p)$ – передавальна функція від $\frac{d\omega_z}{dt}$ до $\bar{\alpha}_2$,

$$w_1(p) = -\frac{m}{Ky_2} \frac{ab + i_z^2}{L};$$

$w_2(p)$ – передавальна функція від a_H^n до $\bar{\alpha}_2$,

$$w_2(p) = -\frac{m}{Ky_2} \frac{a}{L}.$$

Вираз (32) також можливо представити у вигляді

$$\frac{\partial \bar{\alpha}_2}{\partial t} = -\sec^3 \bar{\alpha}_1 \left[w_3(p)\dot{\omega}_z + w_4(p)\dot{a}_H^n + tg \bar{\alpha}_1 \cdot w_5(p)\dot{\omega}_z + w_6(p)a_H^n \pm \sec \bar{\alpha}_1 w_7(p) \frac{\partial \bar{\alpha}_1}{\partial t} \right].$$

На рис.2 наведено блок-схему системи автоматичного керування поворотом задніх напрямних коліс двовісного автомобіля для підвищення функціональної стабільності.

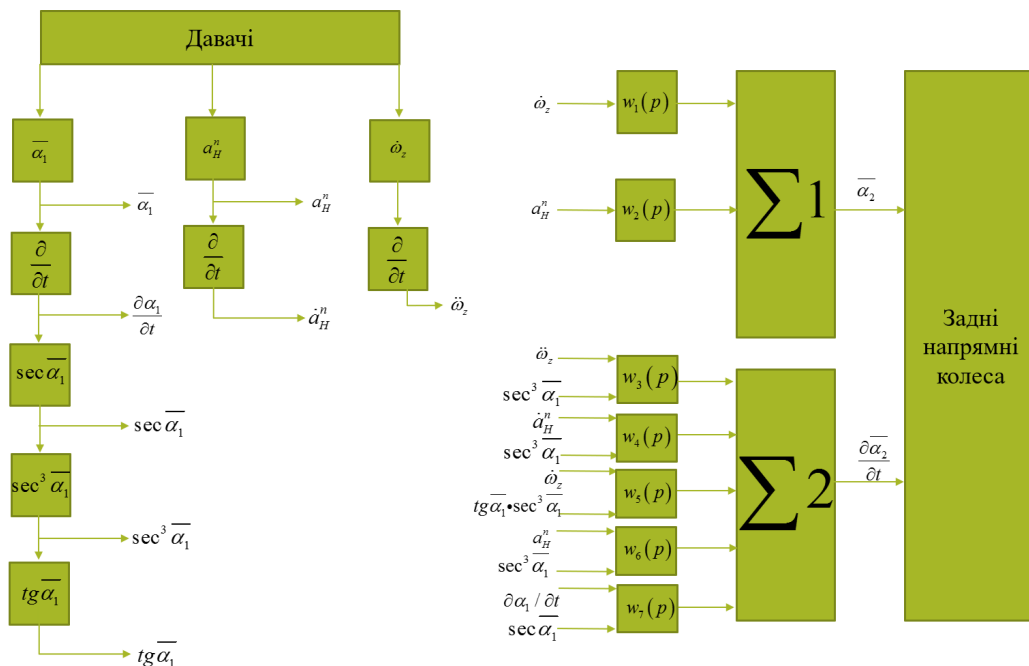


Рисунок 2 – Блок-схема системи автоматичного керування поворотом задніх напрямних коліс двовісного автомобіля

Для забезпечення процесу автоматичного управління поворотом задніх коліс необхідно встановлення трьох давачів:

- середнього кута $\bar{\alpha}_1$ повороту передніх напрямних коліс;
- нормального прискорення a_H^n точки Н (див. рис. 2);

– кутового прискорення $\dot{\omega}_z$ автомобіля у площині дороги.

Використовується два суматора $\sum 1$ і $\sum 2$, які визначають сигнали $\bar{\alpha}_1$ та $\frac{\partial \bar{\alpha}_2}{\partial t}$ при керуванні поворотом задніх напрямних коліс.

Розроблений алгоритм керування поворотом задніх напрямних коліс дозволяє підвищити стабільність показників маневреності двовісних автомобілів при повороті.

Перелік посилань

1. Бобошко О.А. Наукові основи підвищення показників маневреності автомобілів: дис. док. техн. наук: спец. 05.22.02 «Автомобілі і трактори» / Бобошко Олександр Андрійович. – Харків, 2019. – 332 с.

2. Гармаш В.П. Поліпшення маневреності шляхом використання роздільного приводу коліс поворотного мосту. Дисертація РНД, спец. 274 – «Автомобільний транспорт»: – Харків: ХНАДУ, 2023 – 146 с.

ВИКОРИСТАННЯ ЗАДНІХ НАПРЯМНИХ КОЛІС ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ПОКАЗНИКІВ МАНЕВРЕНОСТІ АВТОМОБІЛІВ

ас. Рябушко Іван Андрійович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

У сучасному автомобілебудуванні спостерігається активне впровадження двовісних легкових автомобілів із задніми напрямними колесами. Аналіз існуючих наукових досліджень показав, що основна увага приділяється визначенню радіусу повороту та кутової швидкості автомобіля як ключових показників маневреності. Водночас у наукових працях недостатньо розглянуто можливість використання задніх напрямних коліс для компенсації нестабільності, що виникає внаслідок зміни характеристик шин і дорожніх умов.

Метою дослідження є підвищення експлуатаційних властивостей автомобіля шляхом забезпечення стабільності показників маневреності за рахунок додаткового керування задніми напрямними колесами. Для досягнення цієї мети було поставлено завдання визначення законів керування для усталеного та неусталеного руху, а також розробки алгоритму функціонування відповідної системи стабілізації.

При умові, що автомобіль буде мати абсолютно стабільні показники поворотності при $R = R'$ і $\omega_z = \omega'_z$:

$$R' = L / \operatorname{tg} \bar{\alpha}_1,$$

$$\omega'_z = \frac{V_{x_1}}{L} \cdot \overline{tg \alpha_1}.$$

Це дає можливість визначити кут повороту $\overline{\alpha_2}$ задніх напрямних коліс

$$\overline{\alpha_2} = -\arctg \left(\frac{\frac{1}{\overline{\delta_1}} + \overline{tg \alpha_1}}{1 + \overline{tg^2 \alpha_1}} \right) - \overline{\delta_2}.$$

Аналіз результатів розрахунків дає можливість побачити наступне:

- кут A має величини, що значно менше ніж величини кута $\overline{\delta_1}$ при усіх можливих поєднаннях кутів $\overline{\alpha_1}$ та $\overline{\delta_1}$;
- дійсні значення кута A сумірні з величинами $\overline{\delta_1}$ тільки при дуже малих значеннях останніх;
- при подальших розрахунках можливо приймати $\overline{\delta_2} \cong -\overline{\delta_2}$.

Кут $\overline{\delta_2}$ відведення середини задньої осі автомобіля залежить ввід сумарної бічної сили R_{δ_1} , що діє на задньої осі та коефіцієнт K_{y_2} опору відведення задньої осі. Найбільш нестабільним елементом колісного рушію є шина, коефіцієнт відведення якої може змінюватися у широких межах при зміні внутрішнього тиску, навантаження, зношування протектору та інше. Це є причиною функціональної нестабільності показників маневреності автомобіля.

Залежність для визначення сумарної бічної реакції дороги на колесах задньої осі двовісного автомобілю з напрямними колесами після диференціювання:

$$\overline{\delta_2} = \frac{m \sec \overline{\alpha_2}}{K_{y_2}} \left[\left(\frac{ab - i_z^2}{L^2} \overline{tg \alpha_1} + \frac{i_z^2 - a^2}{L^2} \overline{tg \alpha_2} \right) \cdot \left(\frac{dV_{x_1}}{dt} + V_{x_1} \frac{\sec^2 \overline{\alpha_1} \frac{d\overline{\alpha_1}}{dt} - \sec^2 \overline{\alpha_2} \frac{d\overline{\alpha_2}}{dt}}{\overline{tg \alpha_1} - \overline{tg \alpha_2}} \right) + \frac{a}{L^2} V_{x_1} (\overline{tg \alpha_1} - \overline{tg \alpha_2}) \right] - \frac{R_{K_2}}{K_{y_2}} \cdot \overline{tg \alpha_2}.$$

При постановці у ліву частину () замість $\overline{\delta_2}$ величини $\overline{tg \delta_2}$ і $\overline{tg \alpha_2}$ ми отримаємо рівняння, яке потребує дуже складного аналітичного рішення. Оскільки ми розглядаємо поворот задніх коліс на кут $\overline{\alpha_2}$, як додатковий для компенсації нестабільності показників поворотності, то використаємо залежність для R_{δ_2} , що отримано в роботі [3] для двовісного автомобіля з передніми поворотними колесами

$$R_{\delta_2} = m \left[\overline{tg \alpha_1} \left(\frac{ab - i_z^2}{L^2} \right) \frac{dV_{x_1}}{dt} \overline{tg \alpha_1} + V_{x_1}^2 \frac{a}{L^2} + V_{x_1} \frac{ab - i_z^2}{L^2 \cos^2 \overline{\alpha_1}} \frac{d\overline{\alpha_1}}{dt} \right].$$

В процесі розрахунків була знайдена залежність, яка пов'язує між собою кутову швидкість повороту задніх напрямних коліс з кінематичними параметрами повороту двовісного автомобіля

$$\frac{\partial \bar{\alpha}_2}{\partial t} = -\sec^3 \bar{\alpha}_1 \frac{m}{K_{y_1}} \frac{b^2 + i_z^2}{L} \left(\frac{d^2 \omega_z}{dt} + \frac{b}{L} \frac{da_H^n}{dt} \right) -$$
$$-\frac{m}{K_{y_1}} \sec^3 \bar{\alpha}_1 \operatorname{tg} \bar{\alpha}_1 \cdot \left(\frac{b^2 + i_z^2}{L} \frac{d^2 \omega_z}{dt} + \frac{b}{L} \frac{da_H^n}{dt} \right) \pm \frac{\sec^4 \bar{\alpha}_1}{K_{y_1}} \cdot \frac{\partial \bar{\alpha}_1}{\partial t} R_{K_1}.$$

Перелік посилань

1. Бобошко О.А. Наукові основи підвищення показників маневреності автомобіляв: дис. док. техн. наук: спец. 05.22.02 «Автомобілі і трактори» / Бобошко Олександр Андрійович. – Харків, 2019. – 332 с.
2. Гармаш В.П. Поліпшення маневреності шляхом використання роздільного приводу коліс поворотного мосту. Дисертація PhD, спец. 274 – «Автомобільний транспорт»: – Харків: ХНАДУ, 2023 – 146 с.
3. Бобошко О.А. Підвищення маневреності колісних тракторів і самохідних шасі: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.02 «Автомобілі і трактори» / Бобошко Олександр Андрійович. – Харків, 2002. – 20 с.

АНАЛІЗ ПРИЧИН АВАРІЙНИХ ВІДМОВ ДВИГУНА КМ385ВТ

здобувач гр. АПМ-41-22 Свільонок Денис Володимирович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Надійність двигуна є однією з ключових умов безпечної та ефективної експлуатації тракторної техніки. Аварійні відмови силового агрегату призводять до втрати працездатності транспортного засобу, погіршення його тягово-динамічних властивостей, зниження стійкості режимів роботи та ускладнення керування, що безпосередньо впливає на рівень активної безпеки.

Дизельний двигун КМ385ВТ широко застосовується на малогабаритних і універсальних тракторах. Двигун є дизельним трициліндровим, чотиритактним, рядним із рідинним охолодженням та безпосереднім упорскуванням палива. Його поширеність у сільськогосподарській практиці та конструктивна простота зумовлюють доцільність дослідження саме цього силового агрегату.

До найбільш характерних причин аварійних відмов двигуна КМ385ВТ належать порушення правил запуску, недотримання режимів змащування, прогріву та охолодження, експлуатація з перевантаженням, несвоєчасне технічне обслуговування, підвищений знос деталей, порушення регулювань

паливної апаратури та відсутність системного контролю технічного стану. Особливо негативно на ресурс і працездатність двигуна впливають тривала робота під навантаженням, запиленість середовища та нестабільна якість експлуатаційних матеріалів.

У процесі експлуатації технічний стан двигуна змінюється, а вихід контрольованих параметрів за встановлені межі свідчить про виникнення несправності або відмови. Основними ознаками нормального функціонування двигуна КМ385ВТ є надійний запуск, рівномірна та стійка робота на різних режимах, відсутність сторонніх шумів, перегріву, надмірної димності, течі палива, масла й охолоджувальної рідини, а також відповідність показників потужності, витрати палива, тиску мастила та температурного режиму нормативним значенням.

Таким чином, аварійні відмови двигуна КМ385ВТ є суттєвим чинником зниження активної безпеки та експлуатаційної ефективності трактора. Забезпечення стабільного технічного стану двигуна на основі своєчасного діагностування, технічного обслуговування та контролю параметрів його роботи є необхідною умовою підвищення надійності, безпеки та результативності використання тракторної техніки в аграрному виробництві.

ВПЛИВ БУКСУВАННЯ РУШІЇВ НА ДИНАМІЧНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ПАРАМЕТРИ РОБОТИ МТА

д-р техн. наук, професор Шуляк Михайло Леонідович
здобувач PhD Лабєцький Євген Герардович
Сумський національний аграрний університет

Реалізація крутного моменту рушіїв мобільного енергетичного засобу (МЕЗ) відбувається в результаті їх взаємодії з ґрунтовою основою, яка піддається деформації. При цьому можливості реалізації крутного моменту обмежуються деформаційними характеристиками ґрунту, які оцінюються кривою буксування – залежністю коефіцієнту буксування від діючого зусилля в зоні контакту та виникнення напружень, обумовлених навантаженням рушіїв. Джерелами нерівномірності впливу агрофону на функціонування МТА є нерівномірності несучої поверхні та неоднорідності ґрунтових включень в ньому і коливальна характеристика силового впливу робочої машини на енергетичний засіб (нерівномірність гакового зусилля у часі чи як функціоналу від пройденого шляху) [1].

Перша група факторів формує додатковий опір перекочуванню самого МЕЗ (як заднього, так і переднього моста) через безперервну зміну динамічного радіусу колеса при вертикальних коливаннях остова трактора. Друга група факторів є джерелом постійного у часі перерозподілу

вертикального навантаження на мости МЕЗ, що генерує повздовжні кутові коливання елементів агрегату. Таким чином, можна говорити про те, що в загальному випадку нестационарність гакового навантаження формує коефіцієнт буксування як стохастичний процес[1].

В результаті теоретичних досліджень отримані залежності сили опору перекочування еластичного колеса по поверхні, що деформується на підставі вертикальних жорсткостей колеса і опорної поверхні. На побудованій математичній моделі можна формулювати загальні напрямки стабілізації режимів роботи МЕЗ з метою підвищення їх експлуатаційних показників. Дані напрямки можуть містити як конструкторські заходи, що проводяться з метою зниження динамічності виконуваних робіт, так і експлуатаційні обмеження режимів робіт, що виключають вплив підвищеної динамічності навантаження на вихідні показники МТА [2].

Перелік посилань

1. Лебедев А.Т., Калінін Є.І., Шуляк М.Л. Опір перекочування колеса, що працює з буксуванням. *Сільськогосподарські машини: зб. наук. праць ЛНТУ*. 2015. Вип. 32. 109–116.
2. Калінін Є.І., Шуляк М.Л., Мальцев В.П. Вплив не стаціонарності гакового навантаження на буксування рушіїв колісного трактора. *Системи обробки інформації*. 2016. Вип. 5(142). 27–30.

ОЦІНКА ТЯГОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРАКТОРА ПРИ ВИКОРИСТАННІ БАЛАСТУ. МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ

д-р техн. наук, професор Шуляк Михайло Леонідович
здобувач PhD Мурчич Максим Миколайович
Сумський національний аграрний університет

Трактор є основним елементом енерготехнологічного комплексу аграрного виробництва, на основі якого формуються агрегати різного технологічного призначення. Тягові властивості трактора визначають ступінь його пристосованості, як тягового засобу, або приведення в дію приєднаних до нього сільськогосподарських машин. Теоретичні питання оцінки тягових властивостей базуються на визначні тягового ККД трактора, який дозволяє оцінити частину потужності ДВЗ, що витрачається на рух трактора.

В відомих дослідженнях запропоновано оцінювати тягові властивості за їх опорно-зчіпними властивостями без врахування стохастичних умов експлуатації та режимів робочого ходу. Експериментальні методики визначення тягово-швидкісних властивостей трактора передбачають виконання великого обсягу досліджень.

В основі відомих досліджень і публікацій [1, 2] запропоновано оцінювати тягові властивості тракторів за їх опорно-зчіпними властивостями без врахування умов експлуатації та режимів робочого ходу. Ця методика обґрунтування тягово-швидкісних властивостей трактора передбачає виконання великого об'єму експериментальних робіт за стабільного руху на гоні. Вітчизняні нормативні документи і методика випробувань сільськогосподарських тракторів за Кодексом 2 OECD регламентують необхідність врахування опору кочення та частки ваги трактора, що приходиться на ведучі колеса при виконанні технологічної операції. Рішення даних задач особливо актуально при баластуванні трактора, оскільки баластування трактора це можливий спосіб зменшення буксування і можливості більш повної реалізації потенційних можливостей трактора по двигуну [3].

В Україні тягові випробування трактора регламентовані національними стандартами ДСТУ ISO 789-9 і ДСТУ 7416. Найбільш близькі до дійсності дані з тягових показників трактора можуть бути отримані шляхом його випробувань в польових умовах на двох основних ґрунтових фонах: стерня з під озимих колосових культур та поле, яке підготовлено під посів.

Крім того, для колісних тракторів обов'язковими мають бути випробування на треку з бетонною поверхнею, для гусеничних на глинястій ущільненій дорозі. Вологість ґрунту на глибині 10–16 см має бути у межах 8–22 %, а її твердість – 1,0–1,5 кПа – на стерні; 0,7–1,0 кПа – на полі, яке підготовлено під посів. Схил ділянки поля має не перевершувати 2° у будь-якому напрямку. Показники знімаються при випробуваннях на ділянках поля довжиною не менше 50 м під час руху трактора зі швидкістю до 2,5 м/с і не менш 80 м при швидкості більше 2,5 м/с. Зняття тягових характеристик вміщує в себе проведення серії випробувань з різноманітним навантаженням на гаку трактора. Випробування проводяться послідовно на всіх передачах. Для кожної передачі проводяться 12-14 випробувань, у тому числі 5-6 з недовантаженням, 3-5 випробувань для визначення максимальної тягової потужності, 3-4 – режимах перевантаження.

При тягових випробуваннях трактор завантажується спеціальним динамометричним візком, який обладнаний гальмівним пристроєм, що дозволяє утворювати змінний опір коченню та забезпечити завантаження трактора в широкому діапазоні тягових зусиль. Як завантажувальний пристрій можна також застосовувати трактори, рівень опору пересування яких регулюється зміною подачі палива та переключенням передач. Під час зняття характеристики синхронно вимірюють та реєструють наступні параметри: тягове зусилля трактора; час виконання випробування; витрата палива за час досліду; шлях, пройдений трактором за час випробування; кількість обертів лівого та правого ведучих коліс.

Аналіз відомих експериментальних методів і засобів оцінки тягових властивостей трактора [3] показав, що для умов експлуатації найбільш

прийнятним є спосіб поєднання класичного підходу та методу, який базується на вимірюваннях прискорень трактора. Тому доцільно вдосконалити класичні теоретичні методики оцінки тягових властивостей з використанням поправочних коефіцієнтів, які визначаються на основі експериментів і дозволяють врахувати стохастичні параметри роботи трактора при виконанні технологічної операції. Так само, є необхідність наукового обґрунтування ефективності баластування трактора в залежності від швидкості його руху і агрофону.

Перелік посилань

1. Лебедев А.Т. Сучасні проблеми теорії трактора. *Техніка і технології АПК*. 2021. 1 (118). 20–25.
2. Лебедев А.Т. Наука про трактори: проблеми та рішення. *Тракторна енергетика в рослинництві. Вісник ХНТУСГ. Серія «Механізація сільськогосподарського виробництва»*. 2007. 60. 5–15.
3. Лебедев А.Т., Шуляк М.Л., Стельмах А.М. Аналіз методів та засобів оцінки тягових властивостей трактора. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія «Автомобіле-та тракторобудування». 2022. 2. 108–117. DOI: 10.20998/2078-6840.2022.2.12.

ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАКТОРНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ШИН

д-р техн. наук, професор Шуляк Михайло Леонідович
здобувач PhD Рапута Вадим Валерійович
Сумський національний аграрний університет

Ефективність сільськогосподарських робіт характеризується запобіганням енергетичних втрат машинно-тракторним агрегатом та ущільненням ґрунтової опорної поверхні, що забезпечує сталий розвиток аграрного сектору. Сільськогосподарські трактори та аграрні агрегати підвищили вагові та габаритні розміри з метою збільшення продуктивності сільськогосподарських робіт [1]. Така тенденція значним чином спричиняє ущільнення ґрунту, що є чинником для зменшення врожайності. На ущільнення ґрунту при експлуатації машинно-тракторного агрегату значним чином впливають геометричні показники шини, які мають змінну характеристику при взаємодії ґрунтової опорної поверхні та тракторного колеса. При виконанні сільськогосподарських робіт такі показники, як опір кочення, розсіювання енергії, ущільнення ґрунтової опорної поверхні та буксування мають безпосередній взаємозв'язок з геометричними показниками тракторної шини. Точне моделювання визначення геометричних характеристик тракторних шин є складним завданням через

складну та нелінійну природу поведінки шин. Традиційні підходи до математичного моделювання, такі як емпіричні формули та аналіз кінцевих елементів, широко використовуються, але часто мають обмеження щодо точності та ефективності обчислень. На підставі проведеного аналізу пропонується використання емпіричної моделі ідентифікації характеристик тракторних шин, яка апробована в роботах професора Реброва [2, 3]. Дана методика має достатню апробаційну характеристику та базується на визначенні радіальної деформації шин, як функції об'єму шини та надлишкового внутрішнього тиску.

Перелік посилань

1. Keller T., Or D., (2022). Farm vehicles approaching weights of sauro pods exceed safe mechanical limits for soil functioning. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 119. e2117699119 <https://doi.org/10.1073/pnas.2117699119>.

2. Ребров О. Ю. Наукове обґрунтування підвищення ефективності колісних рушіїв сільськогосподарських тракторів на енергоємних технологічних операціях обробітку ґрунту: дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.22.02. Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». Харків, 2021. 423 с.

3. Ребров О. Ю. Аналіз відповідності максимального тиску на ґрунт тракторної шини агроекологічним вимогам ймовірнісним методом з урахуванням ґрунто-кліматичних умов України. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2017. 14 (1236). 58–64.

V Всеукраїнський науково-практичний семінар
«Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств»

МАТЕРІАЛИ

V ВСЕУКРАЇНСЬКОГО НАУКОВО-ПРАКТИЧНОГО СЕМІНАРУ

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ МАШИНОБУДІВНИХ ТА РЕМОНТНИХ ПІДПРИЄМСТВ

29 травня 2026 р., м. Харків

Відповідальний за випуск *Д.В. Абрамов*

Матеріали надруковані в авторській редакції

Коректор *А.І. Коробко*

Комп'ютерна верстка *А.І. Коробко*

Підписано до друку 21.05.2026р. Формат 60x84 $\frac{1}{16}$

Умов. друк. арк. 8,2. Папір офсетний.

Наклад 100 прим. Зам. № 193

Комунальне підприємство «Міська друкарня»

61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

Серію ДК № 5495, від 22.08.2017

