МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

# ВІСНИК

## Східноукраїнського національного університету імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

№ 2 (250)
2019

**НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ**

**Сєвєродонецьк 2019**

# ВІСНИК
**СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

# № 2 (250) 2019
**НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ**
**ЗАСНОВАНО У 1996 РОЦІ**
**ВИХІД З ДРУКУ - ДВАНАДЦЯТЬ РАЗІВ НА РІК**
**Засновник**
**Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля**
Журнал зареєстровано в Міністерстві юстиції України
**Свідоцтво** про державну реєстрацію **серія КВ № 15607-4079ПР від 18.08.2009 р.**

# VISNIK
**OF THE VOLODYMYR DAHL EAST UKRAINIAN NATIONAL UNIVERSITY**

# № 2 (250) 2019
**THE SCIENTIFIC JOURNAL**
**WAS FOUNDED IN 1996**
**IT IS ISSUED TWELVE TIMES A YEAR**
**Founder**
**Volodymyr Dahl East Ukrainian National University**
Registered by the Ministery of Justice of Ukraine
Registration **Certificate** **KB № 15607-4079ПР dated 18.08.2009**

Журнал включено до Переліків наукових фахових видань України (Наказ МОН №1328 21.12.2015 р.), (Наказ МОН №515 16.05.2016 р.), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук з технічних, економічних та історичних наук відповідно.

Журнал включено до Міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus International (ICV 2017: 48.35).

ISSN 1998-7927



**Головна редакційна колегія:**

*Поркуян О.В.*, докт. техн. наук (головний редактор),
*Голубенко* О.Л., член-кор. Академії педагогічних наук, докт. техн. наук (заступник головного редактора),
Марченко Д.М., докт. техн. наук (заступник головного редактора),
Бузько І.Р., докт. екон. наук, (заступник головного редактора),

Архипов О.Г., докт. техн. наук,
Глікін М.А., докт. техн. наук,
Горбунов М.І., докт. техн. наук,
Рач В.А., докт. техн. наук,
Рязанцев О.І., докт. техн. наук,
Смолій В.М., докт. техн. наук,
Соколов В.І., докт. техн. наук,
Стенцель Й.І., докт. техн. наук,
Суворін О.В., докт. техн. наук,
Татарченко Г.О., докт. техн. наук,
Чернецька-Білецька Н.Б., докт. техн. наук,
Харламов Ю.О., докт. техн. наук,
Даніч В.М., докт. екон. наук,
Заблодська І.В., докт. екон. наук,
Костирко Л.А., докт. екон. наук,
Рамазанов С.К., докт. техн. наук, докт. екон. наук,
Чернявська Є.І., докт. екон. наук,
Овчаренко Є. І., докт. екон. наук,

Д'яченко Ю.Ю., докт. екон. наук,
Kośko A., zw., dr. hab,
Бровендер Ю.М., докт.іст.наук,
Бут О.М., докт.іст.наук,
Дацків І.Б., докт.іст.наук,
Дефорж Г.В., докт.іст.наук,
Довжук І.В., докт.іст.наук,
Залізняк Л.Л., докт.іст.наук,
Запорожченко Ю.В., докт.іст.наук,
Коропченко А.А., докт.іст.наук,
Кривоконь О.Г., докт.іст.наук,
Литвиненко Р.О., докт.іст.наук,
Михайлюк В.П., докт.іст.наук,
Моця О.П., член-кор. НАН України, докт.іст.наук,
Отрощенко В.В., докт.іст.наук,
Пекарчук В.М., докт.іст.наук,
Пилипчук О.Я., докт.біол.наук,
Тригуб О.П., докт.іст.наук,
Сапицька О.М., канд.іст.наук,
Фомін А.В., канд.іст.наук,
Новіков В.П., докт. хім. наук,
Кондратов С.О., докт. хім. наук,
Галстян Г.А., докт. хім. наук,
Галстян А.Г., докт. хім. наук
Потапенко Е.В., докт. хім. наук,
Голосман Є.З., докт. хім. наук



**Відповідальний за випуск: д.т.н., професор Чернецька-Білецька Н.Б.**
Рекомендовано до друку Вченою радою Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (Протокол № 8 від 23 квітня 2019 р.)

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу.



**© Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 2019**
**© Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2019**

## ЗМІСТ

**Luzhanska N., Kotsiuk O., Lebid I.**
TECHNICAL SUPPORT FOR FREIGHT CUSTOMS COMPLEX OPERATION ..... 7

**Бабушкин Г. Ф., Грицай С. В., Каплуновская А. Н., Кузькин А. Ф., Турпак С. Н.**
ЛОГИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДОСТАВКОЙ МЕЛКОПАРТИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И СКЛАДСКИМ ХОЗЯЙСТВОМ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ..... 12

**Баб'як М.О.**
МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ КОНТАКТНОГО ДРОТУ ТА ПАНТОГРАФА З РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИМИ КОНТАКТНИМИ НАКЛАДКАМИ ..... 16

**Гальона І.І.**
МЕТОДИКА МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМОБІЛІВ МАЛОЇ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ ..... 24

**Горбунов Н.И., Ковтанец М.В., Ковтанец Т.Н., Просвирова О.В.**
РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ И МЕТОДОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТЬЮ ЛОКАЛЬНОГО ТРИБОЛОГИЧЕСКОГО КОНТАКТА ..... 29

**Захожай О.І., Лифар В.О., Батурін О.І.**
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ ПОШУКУ ГРУП ІДЕНТИЧНИХ КЛАСИФІКАЦІЙ В БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ ..... 36

**Клюєв С.О.**
ВИБІР НАПРЯМІВ ГАРМОНІЗАЦІЇ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ З МІЖНАРОДНИМИ СТАНДАРТАМИ З ПИТАНЬ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ ..... 43

**Круть О.А., Чернецька-Білецька Н.Б.**
РЕКУЛЬТИВАЦІЯ РОЗРІЗУ «МОРОЗІВСЬКИЙ» ..... 47

**Лорія М.Г., Поркуян О.В., Целіщев О.Б., , Єлісєєв П.Й.**
ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ВУЗЛОМ ОХОЛОДЖЕННЯ І КОНДЕНСАЦІЇ ГАЗОПРОДУКТОВОЇ СУМІШІ У ВИРОБНИЦТВІСИНТЕЗУ МЕТАНОЛУ ..... 54

**Музикін М. І., Нестеренко Г. І., Авраменко С. І.**
АНАЛІЗ ДОСТУПНОСТІ ВОКЗАЛІВ АТ «УКРАЇНСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ» ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ОБМЕЖЕНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ ..... 59

**Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудін О.Г., Пилипенко Ю.В.**
ОПТИМІЗАЦІЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ МАРШРУТАМИ МІЖНАРОДНИХ ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРІВ ..... 65

**Роговой А.С.**
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ГОРОДА НА ПРОЯВЛЕНИЕ ЭФФЕКТА ТЕПЛОВОГО ОСТРОВА В БОЛЬШОМ ГОРОДЕ ..... 74

**Семенов С.О., Михайлов Є.В.**
АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ОПОРУ РУХУ РЕЙКОВИХ ЕКІПАЖІВ ..... 83

**Тимощук О.М., Дакі О.А.**
МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПОЛІГАРМОНІЙНОГО СИГНАЛУ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІЇ ЛАГРАНЖА ..... 89

**Фомін О.В., Осьмак В.Є., Лебедєв В.С., Цимбалюк А.В.**
АНАЛІЗ РУЙНІВНИХ НАПРУЖЕНЬ НАДРЕСОРНОЇ БАЛКИ ВІЗКА ВАНТАЖНОГО ВАГОНУ ТИПОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ (ЧАСТИНА 1) ..... 95

**Фомін О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М. І., Фоміна А.М.**
ОЦІНКА ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ РУХУ ЛЕГКОВАГОВИХ ВАГОНІВ В СКЛАДІ ПОЇЗДА ..... 103

**Чайковський І. В., Шибаєв О. Г.**
АНАЛІЗ ДИНАМІКИ РОЗВИТКУ ПОКАЗНИКІВ ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ МОРСЬКОГО БІЗНЕСУ (на прикладі переробки контейнерів в Одеському морському торговельному порту) ..... 110

**Чернецька-Білецька Н.Б., Баранов І.О.**
ВПРОВАДЖЕННЯ ЄДИНОЇ СИСТЕМИ КОДУВАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ..... 116

**Шворнікова Г.М., Сорока С.І.**
УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ У ГАЛУЗІ МІЖНАРОДНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ..... 120

**Шевченко С.І., Полупан Є.В.**
АНАЛІЗ ВПЛИВУ МЕХАНІЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИВОДУ ПРИ ГАЛЬМУВАННІ НА ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ ..... 125

**Яровий Р.О., Чернецька-Білецька Н.Б.**
МЕТОДИКА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗУ ..... 131

## CONTENTS

**Luzhanska N., Kotsiuk O., Lebid I.**
TECHNICAL SUPPORT FOR FREIGHT CUSTOMS COMPLEX OPERATION ..... 7

**Babushkin G., Gritsai S., Kaplunovska A., Kuzkin O., Turpak S.**
LOGISTIC MANAGEMENT IN MULTICOMPONENT SMALL-PARTS CONSIGNMENTS DELIVERY AND WAREHOUSING AT THE INDUSTRIAL PLANTS ..... 12

**Babyak M.**
SIMULATION OF INTERACTION OF CONTACT WIRE AND PANTOGRAPH WITH RESOURCE-SAVING CONTACT PADS ..... 16

**Halona I.**
MONITORING TECHNIQUE OF SMALL LOADING CAPACITY CARS' ENERGY EFFICIENCY ..... 24

**Gorbunov N., Kovtanets M., Kovtanets T., Prosvirova O.**
DEVELOPMENT OF THE THEORY AND METHODOLOGY OF CONTROLLING THE LOCAL TRIBOLOGICAL CONTACT THERMOMECHANICAL LOADING ..... 29

**Zakhozhay O., Lyfar V., Baturin O.**
THE DECISION MAKING BY THE FINDING OF GROUPS WITH IDENTICAL CLASSIFICATION IN MULTIPARAMETRIC COMBINED PATTERNS RECOGNITION SYSTEMS ..... 36

**Kliuiev S.**
DIRECTIONS CHOICE OF NORMATIVE BASE HARMONIZATION WITH INTERNATIONAL STANDARDS ON FUNCTIONAL SAFETY PROBLEMS ..... 43

**Krut O., Chernetska-Biletska N.**
RECULTIVATION OF «MOROZOVSKY» SECTION ..... 47

**Loriia M.G., Porkuyan O. V., Tselishchev O.B., Yeliseyev P.I.**
OPTIMUM MANAGEMENT OF COOLING AND CONDENSATION OF GAS PREPARED MIXTURE IN METHANOL PRODUCTION METHODS ..... 54

**Muzykin M., Nesterenko H., Avramenko S.**
ANALYSIS OF THE AVAILABILITY OF THE STATION OF JSC «UKRAINIAN RAILWAY» FOR PEOPLE WITH DISABILITIES ..... 59

**Prokudin G.S., Chupaylenko O.A., Prokudin O.G., Pilipenko Yu.V.**
OPTIMIZATION OF MULTIMODAL FREIGHT TRANSPORT BY ROAD ROUTES OF INTERNATIONAL TRANSPORT CORRIDORS ..... 66

**Rogovyi A.**
ESTIMATION OF THE EFFECT OF THE CITY SURFACE ROUGHNESS ON THE MANIFESTATION OF THE URBAN HEAT ISLAND EFFECT IN A BIG CITY ..... 74

**Semenov S., Mikhailov Ye.**
ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF EQUIPMENT FOR RESEARCHES RESISTANCE OF MOTION OF RAIL VEHICLES ..... 83

**Tymoshchuk O., Daki O.**
METHOD OF OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF MEASURING POLYMARMONY SIGNAL WITH USE OF LAGRANGE FUNCTION ..... 89

**FominO., Osmak V.,Lebedev V., Tsymbaliuk A.**
ANALYSIS OF RELATED STRESSES OF THE NADRASON STEERING WIRE OF VEHICLE WAGON OF THE TYPE CONSTRUCTION (PART 1) ..... 95

**Fomin O., Prokopenko P., Gorbunov M., Fomina A.**
EVALUATION OF THE QUALITY INDICATOR OF LIGHT WAGON TRAFFIC IN THE TRAVEL COMPOSITION ..... 103

**Tchaikovsky I., Shibayev O.**
ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL INDUSTRY INDICATORS OF SEASON ENTERPRISES (for example, container processing in the Odessa commercial sea port) ..... 110

**Chernetskaya-Beletskaya N., Baranov I.**
INTRODUCTION SINGLE SYSTEM CODE ROLLING STOCK OF RAILWAY TRANSPORT ..... 116

**Shvornikova H., Soroka S.**
PROJECT MANAGEMENT IN THE FIELD OF INTERNATIONAL RAIL TRANSPORT ..... 120

**Shevchenko S., Polupan E.**
ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE DRIVE DURING BRAKING ON DYNAMIC LOADS ..... 125

**Yarovoy R., Chernetska–Biletska N.**
METHOD OF IMITATION MODELING OF MANIFIED THERMAL WORK MODES ..... 131

UDC:656.135.073

# TECHNICAL SUPPORT FOR FREIGHT CUSTOMS COMPLEX OPERATION

**Luzhanska N., Kotsiuk O., Lebid I.**

# ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ВАНТАЖНИХ МИТНИХ КОМПЛЕКСІВ

**Лужанська Н.О., Коцюк О.Я., Лебідь І.Г.**

*The technical support of freight customs complexes as an element of the transport system nowadays requires the use of modern technologies to optimize the service of cargo flows when performing cargo handling operations in order to increase the capacity of this customs and logistics infrastructure facility. Activities to improve the operation of cargo customs complexes should include a set of measures to eliminate the factors causing a decrease in their capacity because of them reducing the quality of cargo traffic service when there is a further increase in traffic. Obviously, for a fundamental solution of problems connected with upgrading the elements of the logistics system and their performance, huge investments are needed and decades of intensive work throughout the industry. Increasing the capacity of transport nodes requires the optimization of the interaction of all kinds of transport. Therefore, the problem of improving the efficiency of freight customs complexes to ensure the required capacity when there is a funding gap becomes crucial for the development of the industry and the country`s economy as a whole. The purpose of the paper is to study the evaluation system of mutual influence of servicing facilities on the capacity of a freight customs complex.*

***Keywords:*** *cargo handling mechanisms, freight customs complexes*

**Problem statement.** Consumers of customs and logistics services while cooperating with freight customs complexes seek the organization optimization of transport, cargo handling and related operations in the conditions of diverse and poorly coordinated economic management methods and forms of ownership, organizational and legal principles not concerted between the subjects of entrepreneurial activities in the first place, as well as the development of criteria and models for the consistent organization of lowering the cost of cargo delivery and an improvement in service.

Most published scientific and methodological materials on this problem are not concerned with the systemic organization of complex transport and terminal operation redistribution, ways of integrating various facilities and technologies in the context of the interests of the unstable transport service market. The availability of modern high-tech support for the operation of freight customs complexes is a prerequisite for the best level of logistics services with the most monitored and expected costs. In view of the above, the theoretical framework for cargo handling operation management will be based on the mathematical description of its optimization. Under normal conditions, a mathematical representation gives an accurate problem solution. However, the system complexity and the random nature of most parameters on which transportation depends do not allow achieving complete accuracy. It necessitates the solution to the problem of the optimal cargo handling operation management.

**Recent research and publications analysis.** The following scholars have largely contributed to the study of the processes optimizing the technical support of transport and customs-logistics infrastructure facilities: L.L. Afanasiev, A.A. Bakaiev, A.V. Komarov, L.B. Myrotyn, N.B. Ostrovskyi, V.V. Povorozhenko, S.M. Rezer, K.Yu. Skalov, V.M. Bieliaiev, B.P. Bezel and others.

**Articulation of the research objectives.** Most customs and logistics infrastructure facility operations are made more complicated due to a discrepancy between their capacity and the constantly increasing cargo transportation volumes. Inconsistency in the operation of cargo handling mechanisms is observed not only in relation to different modes of transport interaction but also within the operation of one mode of transport. It can be attributed to the fact that the existing industry-specific methods for determining the capacity of cargo handling mechanisms do not adequately provide a comprehensive development of reloading points, since, in most cases, each kind of transport operation planning is conducted separately. The time frame for which planning is made and the specified transportation volumes are often not harmonized.

It seems to be reasonable to take individual measures to increase the capacity of customs-logistics infrastructure facilities on the basis of the application of modern economic and mathematical methods and software together with the development and the approval of the corresponding methodology for capacity determination of cargo handling mechanisms.

**Statement of basic materials.** The methodology of calculating the cargo handling mechanism efficiency determines the solution of a large range of issues. The transshipment point is considered as a complex system. On the basis of the content-rich analysis of the volume, transportation structure, technical equipment experts offer various technical solutions for the rational technology of these facilities operation and development, strengthening their individual elements, establishing logical connections between them. For each of the proposed options it is determined parameters and natural indicators characterizing input requirements, including time expenditures on the direct execution of operations and their expected outcomes in different phases of the freight customs complex technological processes.

The main issue of determining the efficiency of cargo handling mechanisms is checking their capacity and (if there is its lack) the choice of options for their enhancement taking into account technical and economic indicators. The complexity of these tasks consists in the need to take into account numerous simultaneously and consistently occurring production processes taking place at a freight customs complex, their stochasticity, the interconnection between them, the influence of numerous factors and restrictions imposed on the system [1].

To date, economic and mathematical methods are widely used to establish specific quantitative dependencies between elements of transshipment points, processes taking place there, as well as plans for their further operation optimization. The basis of economic and mathematical methods is model construction. To solve any problem based on a mathematical method it is necessary to have not only quantitative characteristics of its parameters but also a description of their interactions in the form of formulas. Out of a vast number of the known models in performing the tasks of management and the operation coordination of transport and cargo handling means it is mainly used descriptive and optimization types of models.

Descriptive models represent the interconnections between several objects (processes) and, in particular, their development trends; they are used to foresee transportation volumes and other operations at customs and logistics infrastructure facilities in the future.

The main feature of the tasks solved through optimization models is the analysis of a particular measure or a system of measures (economic, technological, organizational, and technical). As a rule, several alternatives are considered and the most expedient one is chosen. In this case the criterion of optimality is key showing how likely it is to attain the specified goal. Freight customs complex operation is rather a complex phenomenon that is exposed to the set of significant and non-essential factors (some of them are random). Therefore, economic and mathematical models can not reflect the real process with absolute precision. Thus, cargo handling operations are characterized by a large number of parameters: the capacity of warehouses; the number of loading or unloading points, loading and unloading mechanisms, loader crews; different sections of cargo operations working in shifts; the intensity of the incoming flows of cars, etc. [2].

Not all of these parameters have their own calculation methods. The existing methods offer the calculation of each parameter without taking into account its interconnections in the system. But only a simultaneous calculation of the entire set of parameters gives ground to talk about their optimization. In addition, complexity in the numerical value calculation of parameters often arises in case of the uneven flow of goods to transshipment points. Methods based on the use of non-uniformity coefficients recommend calculating the number of transshipping devices, warehouse storage capacity according to the average intensity of cargo influx corrected by the non-uniformity factor. The considered methods recommend defining the number of loading devices according to the formula of the following type:

$$n = \left( \frac{\chi}{\nu} \right) \times k_{H}, \quad (1)$$

where $\chi$ c the intensity of the incoming flow, units per hour; $\nu$ – the productivity of one loading and unloading mechanism, units per hour; $k_{H}$ – the non-uniformity factor of cargo influx to the freight customs complex.
The values of warehouse storage capacity are recommended to be defined using the following formula:

$$E = Q_{c} \times t_{з} \times k_{H}, \quad (2)$$

where $Q_{c}$ – the average daily influx of goods to the warehouse, in tons; $t_{з}$ – its storage period, in days.

Such a calculation ensures the fact that in the period of the most intensive cargo influx the entire flow of goods will be processed without significant delays, but this does not mean that the selected parameter values will be optimal. The main drawback of methods based on non-uniformity factors is that they do not take into account the idle time of vehicles in the queue that in some cases far exceeds the idle period of unloading (loading).

Another method based on the use of the analytical apparatus peculiar to the Queuing Theory includes the idle time of cars in the queue. The basis of these class methods is the treatment of the freight customs complex as a mass service system. However, speaking about the Queuing Theory (QT), it should be borne in mind that it involves two methods that differ considerably from one another in terms of approaches underlying the solution of problems connected with the research and optimization of objects and systems. The first one consists in the solution of mass service tasks using a set of analytic

formulas, that is, the analytical method. The second one is the method of simulating production facility operation using the software which can be described in terms of the Queuing Theory. The analytical method of the QT has extremely limited potential. Moreover, it is difficult to imagine a real production facility the study of which could be carried out on the basis of the QT analytical formulas [3].

The method of simulation modeling of the production system (handling-and-storage) has no limitations in the study of the latter and optimization of its parameters (in relation to real transport systems, similar in their structure and tasks considered in this paper and in similar works). The effective interaction of service system elements lies in the ability of service posts to perform a given function without significant fluctuations in their capacity during a day, month, season and year.

The capacity of a freight customs complex depends on: the flow of vehicles; weather-climatic conditions; the maneuverability of vehicles and loading and unloading equipment; operators` psychophysiological features; mechanism reliability and features of its structures. The capacity of a freight customs complex in general is significantly influenced by the time spent on processing (reloading). Increasing this time can dramatically change capacity, increase the impact of various factors on the operation mode of a freight customs complex.

The determination of capacity is necessary to identify areas that need an improvement of working conditions; to assess the efficiency and choice of effective means of work organization. Any system can operate at different loading levels. The limit will be the intensity corresponding to its capacity. The effectiveness of transportation operations can be characterized both by their capacity, and the intensity at which the working conditions are the most efficient and optimal

A significant increase in the capacity of freight customs complexes is achieved by fostering the technical and operational characteristics of servicing mechanisms, especially their productivity and reliability. By boosting the capacity, it is possible to achieve an increased speed of service with simultaneous security provision facilitating a considerable increase in road transport productivity.

Input traffic flows at a freight customs complex are characterized by: intensity, composition, intervals between vehicles, flow density. The advantage is that the flow does not require the proactively established theoretical law of random distribution and allows simulating the pattern with the accuracy sufficient for this type of calculations.

Developing the measures aimed at increasing the capacity of individual service posts with a pronounced difference in working conditions, it is necessary to take into account this dissimilarity. The non-uniformity factor of the intensity distribution of the input flows on average can be taken at 0.6.

When substantiating the optimal load of a service post and the planning of step-by-step measures that increase its capacity, it is necessary to define not only the intensity of incoming flows for the prospective period but also the dynamics of its change by year in relation to the initial year.

The perspective intensity of incoming flows should be forecast based on the analysis of economic research materials, accounting data for the last few years.

The projected intensity of incoming flows should be predicted based on the analysis of economic research materials, accounting data for the last few years.

Input traffic density is the number of items that need servicing in the service channel. The relationship between the main flow characteristics can be expressed as follows:

$$N = \nu \times q , \quad (3)$$

where $N$ – input traffic intensity, autos per hour; $\nu$ – stands for efficiency, autos per hour; $q$ – traffic density.

It is distinguished theoretical, practical, and estimated capacity. Theoretical capacity is defined by considering vehicle arrival frequency and the homogeneity of traffic flow as constant. Practical capacity is the capacity provided in real conditions. There are two types of practical capacity: the maximum $P_{\max}$ observed in the reference section, and practical $P$ that is achievable in specific conditions.

The estimated capacity of a freight customs complex is characterized by the economically feasible amount of vehicles that can be serviced in unit time at a service post. The estimated capacity is calculated in the following way:

$$P = B \times P_{\max} , \quad (4)$$

where $B$ – the conversion factor of the theoretical capacity and the estimated one; $P_{\max}$ – the theoretical capacity.

The value of the traffic intensity calculation depends on the optimal loading of a freight customs complex ensuring minimum expenses for transportation and cargo transshipment with the given technical parameters. Indicators of the optimal service channel loading must be taken into account when designing and reconstructing them, and budgeting organizations` expenditures based on the fact that a change in construction costs provides a freight customs complex with various technical parameters. The work of a freight customs complex is effective at optimal loading. Therefore, it is necessary to set technical parameters that ensure the corresponding level of loading.

The size of the necessary investment in a freight customs complex construction depends on the degree of its perfection, and operating costs are determined by the intensity of incoming flows. Therefore, the optimal loading rate will have different margins for each possible combination of these factors.

The greater the intensity of input flows, the higher the loading rate. Ensuring the optimal loading in opera-

tion of a freight cargo complex is connected with a change in its technical characteristics and equipment or the use of traffic control means. The optimal loading is established on the basis of technical and economic calculations, considering options characterized by different marginal input flow intensity determining the lifespan together with the technical condition.

The reliability coefficient method gives an integral assessment of the exposure to the risk of failure of a particular system element. The reliability coefficient $k_Б$ is calculated by the formula:

$$k_Б = \frac{V_n}{V_{n-1}}, \quad (5)$$

where $V_n$ and $V_{n-1}$ are the maximum efficiency of service posts in the previous and next service channel section of a freight customs complex respectively.

Methods of solving such problems as optimizing the interaction between different kinds of transport have not been yet properly developed and applied. When solving such problems it is necessary to take into account a large number of factors that change the situation at the points of interaction and other complexities connected with mathematical and computational constraints. There is no common classification of tasks of this type. The main difficulties of such a classification development are due to the variety of operational management tasks that is the consequence of modern economic relations. However, most tasks depending on technological requirements are formally divided into three groups: the task of maintenance regulation of different kinds of transport rolling stock; the problem of distribution of rolling stock, cargo handling mechanisms and other resources; the task of planning the inflow and outflow of goods from the interaction and customer service points. A large number of such problems need to be solved when searching for optimal strategies for the distribution of rolling stock, cargo handling mechanisms and other resources with the complete accuracy of source information [4].

The main performance indicator of the freight customs complex operation is its capacity which is defined as the largest number of vehicles processed by the system at a given time with certain technological facilities and a progressive technology of work:

$$N = \frac{T_P}{t}, \quad (6)$$

where $T_P$ – the estimated time period used to service vehicles; $t$ – servicing time of a traffic flow unit in the conditions of sustainable and constant use of the system during the calculation period.

Another definition of the service phase or channel capacity is defined as:

$$V_a = K_a \times V_a, \quad (7)$$

where $K_a$ – the number of service facilities; $V_a$ – productivity of the service facility; $a$ – the phase in which the vehicle is serviced.

The quantitative evaluation of capacity from the perspective of the deterministic approach is appropriate only for hard transport systems operating without intervals and servicing each unit of the traffic flow over a period of time. In real systems these restrictions are not met. Numerous studies have shown that the transport process is stochastic. This is manifested in the unevenness and heterogeneity of traffic flows, different service time of a traffic flow unit, the random nature and duration of servicing mechanisms being inoperative. Therefore, it is advisable to use the probabilistic statistical approach to determine capacity:

$$V_{ПР} = V_P \times P_{ВМК}, \quad (8)$$

where $V_{ПР}$ – the practical capacity of a freight customs complex; $V_P$ – the estimated capacity of a freight customs complex; $P_{ВМК}$ – the total coefficient for a reduction in a freight customs complex capacity.

The main advantage of this approach is the possibility of reasonable implementation of measures to increase the freight customs complex capacity as a logistics system element by taking into account the degree of influence of servicing mechanisms.

**Conclusions.** As a result of the comprehensive analysis of the given approach, it has been made the conclusion that it is expedient to use in solving problems related to improving the efficiency of freight customs complexes. The proposed model allows: to analyze the behavior of a traffic flow in order to identify adverse factors that are not available for detection by existing methods; to establish mutual influence of service factors; to highlight the most important factors; to elaborate recommendations made on the basis of the forecast and find a more cost-effective solution when approving measures aimed at increasing the capacity and efficiency of the transport process.

**References**

1. Beliaev V.M. Terminal systems of road haulage. M.: Transport, 1987. – 287 p.
2. Dehterev H.N. Organization and mechanization of cargo handling operations on road transport. M.: Transport, 1980. – 264 p.
3. Kofman A., Kriuon R. Mass service: theory and applications. -M .: Mir, 1965. – 303 p.
4. Smehov A.A. Mathematical models of cargo handling processes. M .: Transport, 1982. – 255c.

**Література**

1. Беляев В.М. Терминальные системы перевозок грузов автомобильным транспортом. М.: Транспорт, 1987. – 287с.
2. Дегтерев Г.Н. Организация и механизация погрузочно-разгрузочных работ на автомобильном транспорте. - М.: Транспорт, 1980. – 264с.

3. Кофман А., Крюон Р. Массовое обслуживание: теория и приложения. -М.: Мир, 1965. – 303с.
4. Смехов А.А. Математические модели процессов грузовой работы. М.: Транспорт, 1982. – 255с.

**Лужанська Н.О., Коцюк О.Я., Лебідь І.Г. Технічне забезпечення діяльності вантажних митних комплексів.**

*Технічне забезпечення вантажних митних комплексів, як елемента транспортної системи на сьогоднішній день вимагає застосування сучасних технологій оптимізації обслуговування вантажопотоків при виконанні вантажно-розвантажувальних робіт з метою збільшення пропускної здатності даного об'єкта митно-логістичної інфраструктури.*

*Заходи щодо вдосконалення роботи вантажних митних комплексів повинні передбачати комплекс заходів щодо усунення чинників, що викликають зниження пропускної здатності, так як через них буде знижуватися якість обслуговування вантажопотоків при подальшому збільшенні обсягу перевезень. Очевидно, що для корінного вирішення завдань, пов'язаних з підвищенням технічного стану елементів логістичної системи і їх експлуатаційних якостей, необхідні колосальні капіталовкладення і десятиліття інтенсивної роботи всієї галузі.*

*Збільшення пропускної здатності транспортних вузлів вимагає оптимізації взаємодії всіх видів транспорту. Тому проблема підвищення ефективності роботи вантажних митних комплексів для забезпечення необхідної пропускної спроможності при наявності дефіциту фінансування набуває найважливіше значення для розвитку галузі та економіки країни в цілому. Мета статті полягає в дослідженні системи оцінки взаємного впливу обслуговуючих механізмів на пропускну здатність вантажного митного комплексу.*

***Ключові слова:*** *навантажувально-розвантажувальні механізми, вантажні митні комплекси.*

**Лужанская Н.А., Коцюк А.Я., Лебедь И.Г. Техническое обеспечение деятельности грузовых таможенных комплексов.**

*Техническое обеспечение грузовых таможенных комплексов как элемента транспортной системы на сегодняшний день требует применения современных технологий оптимизации обслуживания грузопотоков при выполнении погрузочно-разгрузочных работ с целью увеличения пропускной способности данного объекта таможенно-логистической инфраструктуры.*

*Мероприятия по совершенствованию работы грузовых таможенных комплексов должны предусматривать комплекс мер по устранению факторов, вызывающих снижение пропускной способности, так как из-за них будет снижаться качество обслуживания грузопотоков при дальнейшем увеличении объема перевозок. Очевидно, что для коренного решения задач, связанных с повышением технического состояния элементов логистической системы и их эксплуатационных качеств, необходимы колоссальные капиталовложения и десятилетия интенсивной работы всей отрасли.*

*Увеличение пропускной способности транспортных узлов требует оптимизации взаимодействия всех видов транспорта. Поэтому проблема повышения эффективности работы грузовых таможенных комплексов для обеспечения требуемой пропускной способности при наличии дефицита финансирования приобретает важнейшее значение для развития отрасли и экономики страны в целом. Цель статьи заключается в исследовании системы оценки взаимного влияния обслуживающих механизмов на пропускную способность грузового таможенного комплекса.*

***Ключевые слова:*** *погрузочно-разгрузочные механизмы, грузовые таможенные комплексы.*

**Лужанська Н.О.** – старший викладач кафедри «Транспортні технології» Національного транспортного університету, e-mail: natali.luzhanska@gmail.com
**Коцюк О.Я.** – к.т.н., доцент, професор кафедри «Транспортні системи та безпека дорожнього руху» Національного транспортного університету, e-mail: ajkma@ukr.net
**Лебідь І.Г.** – к.т.н., доцент, доцент кафедри «Міжнародні перевезення та митний контроль» Національного транспортного університету, e-mail: i.h.lebed@gmail.com

*Рецензент***:** д.т.н., професор ***Чернецька-Білецька Н.Б.***

Стаття подана 21.03.2019

УДК 656.13.073:681.3

# ЛОГИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДОСТАВКОЙ МЕЛКОПАРТИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И СКЛАДСКИМ ХОЗЯЙСТВОМ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Бабушкин Г. Ф., Грицай С. В., Каплуновская А. Н., Кузькин А. Ф., Турпак С. Н.**

# LOGISTIC MANAGEMENT IN MULTICOMPONENT SMALL-PARTS CONSIGNMENTS DELIVERY AND WAREHOUSING AT THE INDUSTRIAL PLANTS

**Babushkin G., Gritsai S., Kaplunovska A., Kuzkin O., Turpak S.**

*Рассмотрены вопросы формализации микрологистических систем управления доставкой мелкопартионных материалов и управления складскими запасами на промышленных предприятиях. Сформирован комплекс задач по совершенствованию эффективности исследуемых микрологистических систем. Поставленные задачи разделены на группы в соответствии с установленными горизонтами планирования. Показана экономическая эффективность решения поставленных задач в условиях металлургического предприятия. Предложенный подход может быть использован в условиях предприятий других отраслей промышленности.*

***Ключевые слова***: *теория, методы, эффективность, микрологистическая система, материалы, запасы*.

**Введение**. Основной задачей складского хозяйства и заводского транспорта является подготовка производства, то есть полное и своевременное удовлетворение потребностей производственных цехов в материалах, деталях, полуфабрикатах, сборочных единицах и т. п. (далее — в материалах) с наименьшими затратами грузовых, материальных и энергетических ресурсов. При подготовке производства имеет место своя специфика технологии и организации доставки материалов. Возникает необходимость перевозить мелкие партии разнородных материалов (значительно меньшие грузовместимости транспортных машин) через малые периоды времени, в определенное время рабочей смены. Доставка организуется с участием работников производственных участков и цехов, отдела материально-технического снабжения (ОМТС), производственно-диспетчерского отдела (ПДО) и других структурных подразделений предприятия. При организации доставки материалов необходимы компьютерная оперативная информация, автоматизация документооборота и учета наличия материалов, развитие теории и разработка методов решения комплексов задач по логистическому управлению процессами доставки материалов в производственные цехи.

Из-за отсутствия логистических методов решения всего комплекса задач и согласованности работы структурных подразделений промышленных предприятий, причастных к управлению складским хозяйством и перевозочному процессу, затрудняется внедрение централизованных перевозок и единых технологических процессов доставки материалов.

Целью статьи является развитие теории и разработка методов повышения эффективности систем управления процессами заводских перевозок безрельсовым колесным транспортом при стохастическом характере производства, на основе микрологистики и прогрессивного математического аппарата, которые обеспечат минимизацию материальных, трудовых, энергетических ресурсов и повышение качества транспортного обслуживания цехов.

**Изложение основного материала**. Неотъемлемой частью управления доставкой материалов и складским хозяйством являются вопросы планирования. Различают три вида работы в транспортно-складских системах: технико-экономическое, календарное и оперативное.

При технико-экономическом планировании устанавливается объем работ по всем звеньям процесса доставки грузов, расчетные парки транспортных средств и погрузочно-разгрузочных механизмов, трудозатраты и потребное количество рабочей силы, а также плановые технико-экономические показатели, отражающие эффективность деятельности системы.

При календарном планировании разрабатываются месячные и сменно-суточные планы работы транспорта и складов. Задачей оперативного плани-

рования является обеспечение рационального распределения и использования транспортных средств в течение смены или суток. Таким образом, планирование процессов доставки подразумевает решение следующих основных задач [1]:

а) на этапе технико-экономического и календарного планирования:

1) прогнозирование и расчет плана доставки материалов получателям;

2) расчет объемов складской переработки грузов;

3) распределение планов доставки грузов в плановом периоде;

4) расчет потребности в трудовых ресурсах, средствах механизации и таре для комплектования и погрузки транспортных партий грузов;

б) на этапе оперативного планирования:

1) определение структуры и потребного количества подвижного состава;

2) разработка маршрутов и графиков работы транспорта;

3) разработка оперативных планов работы складов, погрузочно-разгрузочных механизмов и транспортных средств.

Решение задач планирования основывается на нормативах продолжительности и трудоемкости транспортно-технологических операций (комплектование, погрузка, разгрузка и др.). Обзор исследований имеющихся методик [1–3] показал, что в настоящее время нет методик, позволяющих нормировать продолжительность и трудоемкость транспортно-технологических операций (ТТО) с мелкими партиями разнородных грузов в процессах заводских перевозок. Применение при планировании доставки таких грузов общепринятых единых норм выработки практически невозможно. В качестве методов нормирования продолжительности и трудоемкости грузовых операций комплектования, погрузки и разгрузки целесообразно использовать статистическое моделирование. Причем, при нормировании следует рассматривать время и трудоемкость ТТО как непрерывные случайные величины, отнесенные к одной учетной единице. В качестве такой учетной единицы рекомендуется использовать требование на материалы — основной учетный документ в системе внутризаводского материально-технического снабжения, содержащее заказ на один вид материала.

Статистическое моделирование следует осуществлять в следующей последовательности:

1) проведение хронометража;

2) получение статистических временных рядов;

3) проверка гипотез о законах распределения;

4) определение параметров законов распределения;

5) моделирование значений продолжительности и трудоемкости выполнения ТТО с материальными комплектами с использованием средств вычислительной техники.

Однако, при доставке многономенклатурных мелкопартионных материалов с комплекса заводских снабженческих складов в комплекс заводских цехов, имеющиеся методики не позволяют осуществить поэтапное решение следующих, возникающих на практике задач:

1) приведение объемов заказанных мелких партий разнородных грузов к грузовместимости подвижного состава;

2) комплектование машиноотправок по дням планового периода, с решением следующего комплекса задач:

а) набор последовательных сборно-развозочных маршрутов;

б) набор сменных заданий транспортным машинам при доставке материалов в цехи предприятия;

в) расстановка сменных заданий по дням календарного периода с минимизацией транспортных и трудовых ресурсов.

Поставленная в статье цель определила методы решения следующих задач.

1. По планированию работы в транспортно-складских системах развиты теоретические основы и разработаны методы повышения эффективности системы управления процессами комплектования и централизованной доставки мелкопартионных многономеклатурных материалов в цехи предприятия на основе формализации микрологистических систем; статистического моделирования продолжительности выполнения грузовых работ; приведения объемов мелких партий разнородных грузов к грузовместимости подвижного состава; комплектования машиноотправок с учетом формирования рациональных маршрутов и сменных заданий транспортным машинам [4–10].

2. По управлению запасами грузов в производственных цехах — разработан метод управления запасами материалов с учетом стохастичности спроса, поставок, наличия грузов в цехах и времени выполнения заказов, надежности системы доставки, экономической эффективности в результате сокращения грузовой массы в запасах и высвобождения от запасов производственных площадей, вероятных потерь вследствие невыпуска продукции по причине дефицита материалов [4].

Указанные задачи были решены для условий комбината «Запорожсталь» (г. Запорожье, Украина). Анализ результатов решения задач показал, что реализация задач на промышленных предприятиях дает значительный экономический эффект (табл.).

Таблица

**Анализ результатов решения основных задач повышения эффективности систем управления процессами заводских перевозок**

| Микрологистическая система управления | Основные оптимизационные задачи | Способы снижения логистических затрат | Экономический эффект | |
|---|---|---|---|---|
| | | | в натуральных единицах | в гривнах на год по одному предприятию |
| Процессами доставки мелкопартионных материалов | Комплектование машиноотправок с минимальными затратами трудовых и транспортных ресурсов | 1. Минимизация степени недоиспользования грузовместимости автомобилей<br>2. Снижение продолжительности грузовых работ с материальным комплектом<br>3. Оптимизация маршрутов движения при сборке и развозке материальных комплектов | 1. Сокращение простоя автомобилей на 38–43 %<br>2. Снижение рабочих парков автомобилей на 32–38 %<br>3. Экономия топливных ресурсов на 0,5 т в сутки | 413 000 |
| Управления запасами грузов в цехах | Управление однопродуктовой системой запасов в производственном цехе | 1. Согласование интенсивности потребления и поставок материалов<br>2. Организация выпуска продукции на освобождающихся от запасов площадях<br>3. Ликвидация остановок цеха по причине дефицита материалов | 1. Снижение грузовой массы в запасах<br>2. Увеличение объема выпуска продукции<br>3. Ликвидация простоев цехов | 1 282 000 |
| Годовой экономический эффект по всей системе, грн, по одному предприятию | | | | 1 695 000 |

**Вывод**. Разработан теоретический подход и сформирован комплекс задач формализации микрологистических систем управления доставкой мелкопартионных разнородных материалов и управления запасами на промышленных предприятиях. Реализация поставленных задач в практических условиях на металлургическом предприятии ПАО «Запорожсталь» позволила получить значительный экономический эффект. Аналогичный логистический подход может быть использован также на промышленных предприятиях других отраслей промышленности.

**Литература**


1. Елизаров, А. П. Транспортно-складская служба / А. П. Елизаров, Ф. С. Мовшович. Л. : Лениздат, 1987. 142 с.
2. Инютина, К. В. Модели задач планирования производства и материально-технического обеспечения в АСУП. М. : Статистика, 1975. 179 с.
3. Кондратьев, В. П. Метод календарной организации движения транспортных средств и поточных производственных процессов. М. : Транспорт, 1978. 184 с.
4. Бабушкин, Г. Ф. Управление процессами заводских перевозок безрельсовым колесным транспортом на основе логистики. Запорожье : ЗНТУ, 2002. 184 с.
5. Бабушкин, Г. Ф. Выделение и проектирование микрологистических систем управления процессами заводских перевозок / Г. Ф. Бабушкин, А. Ф. Кузькин, А. Н. Каплуновская // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. №3(233). 2017. С. 13–16.
6. Babushkin, G. Formalization of micro-logistic industrial transportations control system / G. Babushkin, O. Kuzkin, A. Kaplunovska // Working papers of International scientific conference 3–12 May 2017, Dresden (Germany)–Paris (France). P. 24–25.
7. Babushkin, G. Improvement of micro-logistic control systems of transportation process at industrial plants / G. babushkin, O. Kuzkin, A. Kaplunovska // Working papers of International scientific and practical conference May 2018, Italy. P. 9–11.
8. Техніко-економічна оцінка оптимального управління процесами доставки дрібнопартіонних неоднорідних вантажів у цехи підприємств / Г. Ф. Бабушкін, О. Ф. Кузькін, Т. В. Харченко, А. М. Каплуновська // Вісті Автомоб.-дор. ін-ту. - 2009. - № 1. - С. 36-39.
9. Принципи автоматизації інформаційних потоків в системі управління процесами міжцехових перевезень машинобудівних та металургійних підприємств / Г. Ф. Бабушкін, І. М. Райда, Т. В. Харченко // Нові матеріали і технології в металургії та машинобуд. - 2009. - № 2. - С. 150-153.
10. Попит на перевезення в умовах логістичних систем з прямими зв'язками / Г. Ф. Бабушкін, О. Д. Омельченко, С. О. Артемчук // Нові матеріали і технології в металургії та машинобуд. - 2008. - № 2. - С. 140-144


**References**


1. Elizarov A. P. Transportno-skladskaya sluzhba / A. P. Elizarov, F. S. Movshovich. L. : Lenizdat, 1987. 142 s.
2. Inyutina K. V. Modeli zadach planirovaniya proizvodstva i materialno-tehnicheskogo obespecheniya v ASUP / K. V. Inyutina, V. N. Kurovskiy. M. : Statistika, 1975. 179 s.
3. Kondratev V. P. Metod kalendarnoy organizatsii dvizheniya transportnyih sredstv i potochnyih proizvodstvennyih protsessov / V. P. Kondratev. M. : Transport, 1978. 184 s.

4. Babushkin G. F. Upravlenie processami zavodskih perevozok bezrel'sovym kolesnym transportom na osnove logistiki : monografija. Zaporozh'e : ZNTU, 2002. 319 s.
5. Babushkin G. F., Kuzkin A.F., Kaplunovskaja A. N. Vydelenie i proektirovanie mikrologisticheskih sistem upravlenija processami zavodskih perevozok // Visnik Shidnoukraïns'kogo nacional'nogo universitetu im. Volodimira Dalja. 2017. №3(233). S. 13–16.
6. Babushkin G., Kuzkin O., Kaplunovska A. Formalization of micro-logistic industrial transportations control system // Working papers of International scientific conference 3–12 May 2017 Dresden (Germany)– Paris (France). P .24–25.
7. Babushkin G., Kuzkin O., Kaplunovska A. Improvement of micro-logistic industrial transportations control system // Working papers of International scientific and practical conference 5–14 May 2018 (Italy). P. 5–11.
8. Tehniko-ekonomichna ocinka optimalnogo upravlinnya procesami dostavki dribnopartionnih neodnoridnih vantazhiv u cehi pidpriyemstv / G. F. Babushkin, O. F. Kuzkin, T. V. Harchenko, A. M. Kaplunovska // Visti Avtomob.-dor. in-tu. - 2009. - № 1. - S. 36-39.
9. Principi avtomatizaciyi informacijnih potokiv v sistemi upravlinnya procesami mizhcehovih perevezen mashinobudivnih ta metalurgijnih pidpriyemstv / G. F. Babushkin, I. M. Rajda, T. V. Harchenko // Novi materiali i tehnologiyi v metalurgiyi ta mashinobud. - 2009. - № 2. - S. 150-153.
10. Popit na perevezennya v umovah logistichnih sistem z pryamimi zv'yazkami / G. F. Babushkin, O. D. Omelchenko, S. O. Artemchuk // Novi materiali i tehnologiyi v metalurgiyi ta mashinobud. - 2008. - № 2. - S. 140-144

**Бабушкін Г.Ф., Грицай С.В., Каплуновська А.М., Кузькін О.Ф., Турпак С.Н. Логістичне управління доставкою дрібнопартіонних матеріалів та складським господарством в умовах промислових підприємств.**

*Розглянуто питання формалізації мікрологістичних систем управління доставкою дрібнопартіонних матеріалів та управління складськими запасами на промислових підприємствах. Сформовано комплекс завдань щодо вдосконалення ефективності досліджуваних мікрологістичних систем. Поставлені завдання розділені на групи відповідно до встановлених горизонтами планування. Показана економічна ефективність вирішення поставлених завдань в умовах металургійного підприємства. Запропонований підхід може бути використаний в умовах підприємств інших галузей промисловості.*

***Ключові слова:*** *теорія, методи, ефективність, мікрологістична система, матеріали, запаси.*

**Babushkin G., Gritsai S., Kaplunovska A., Kuzkin O., Turpak S. Logistic management in multicomponent small-parts consignments delivery and warehousing at the industrial plants.**

*Problems of micro-logistic control systems formalizing of multicomponent small-part cargoes delivery at industrial plants are considered. The formulated tasks are split into groups according to their planning horizon level. The purposes and tasks set are formed aimed to improve efficiency ones. The first group of tasks deals with small-part multicomponent consignments delivery from central warehouses to the plant departments and workshops. The second group of tasks deals with inventory management at workshop warehouses and are directed on reducing material stock levels, warehouse squares engage and possible financial losses because of the needed materials lack. Economic benefit due to implementation solved problems is shown under conditions of the metallurgical plant. The proposed approach can be used in the conditions of other industrial plants.*

***Keywords:*** *theory, method, efficiency, micro-logistic system, materials, stock.*

**Бабушкін Г. Ф.** – д-р. техн. наук, професор кафедри транспортних технологій Національного університету «Запорізька політехніка». E-mail: bqf@zntu.edu/ua
**Грицай С. В.** – старш. викл. кафедри транспортних технологій Національного університету «Запорізька політехніка». E-mail: gsv@ukr.net.
**Каплуновська А. М.** – старш. викл. кафедри транспортних технологій Національного університету «Запорізька політехніка». E-mail: kaplunovskaya_alla@i.ua.
**Кузькін О. Ф.** – канд. техн. наук, доцент, декан транспортного факультету Національного університету «Запорізька політехніка». E-mail: horz@ukr.net.
**Турпак С. М.** – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри транспортних технологій Національного університету «Запорізька політехніка». E-mail: turpak@i.ua.

*Рецензент*: д.т.н., проф. ***Чернецька-Білецька Н.Б.***

Стаття подана 16.04.2019

УДК 629.423.33::621.336.322: 001.891.573

# МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ КОНТАКТНОГО ДРОТУ ТА ПАНТОГРАФА З РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИМИ КОНТАКТНИМИ НАКЛАДКАМИ

**Баб'як М.О.**

# SIMULATION OF INTERACTION OF CONTACT WIRE AND PANTOGRAPH WITH RESOURCE-SAVING CONTACT PADS

**Babyak M.**

*У роботі описано вимоги нормативних документів Європейського союзу та України стосовно взаємодії пантографів електричних локомотивів і поїздів та контактного дроту. Проведено аналіз можливості комп'ютерного моделювання взаємодії пантографів з різними контактними накладками та різним натиском і контактного дроту. Визначено можливість збільшення ресурсу роботи контактної пари накладка пантографа - контактний дріт за рахунок ресурсозберігаючого матеріалу накладки. Запропонована і випробувана математична модель для аналізу характеру та якості струмознімання при використанні струмоприймача перспективної конструкції при різних швидкостях руху поїзда.*

***Ключові слова:*** *експлуатація, пантограф, контакт, зношення, накладка, дріт, ресурс*

**Вступ.** Діяльність акціонерного товариства «Українська залізниця», як члена Організації співробітництва залізниць (ОСЗ) спрямована на удосконалення та розвиток міжнародних залізничних перевезень, підвищення їх конкурентоспроможності в євразійському просторі, зміцнення нормативної бази, досягнення найвищої ефективності роботи залізничного транспортного комплексу та задоволення потреби країн-членів ОСЗ у перевезенні пасажирів і вантажів.

Перевезення на даний час забезпечуються автономною тягою (тепловози та дизель-поїзди) та неавтономною тягою (електровози та електропоїзди). Враховуючи економічні та екологічні складові перевізного процесу, у більшості країн намагаються зменшити витрати дизельного палива, тому перевезення намагаються здійснювати електрифікованими залізницями. Відповідно до [1], протяжність електрифікованих залізниць постійно зростає.

Для нормального функціонування електрифікованих залізниць як в Україні, так і у більшості країн Європи, необхідно використовувати сучасний рухомий склад, який би задовольняв вимоги Правил технічної експлуатації та Правил ремонту рухомого складу кожної країни, а також вимог Рекомендацій і Пам'яток ОСЗ, Директив ЄС, зокрема розділу Інфраструктура і рухомий склад.

Одним з найважливіших питань електричного транспорту є забезпечення безперебійного живлення електричною енергією тягових двигунів та допоміжного обладнання. Для цього необхідно мати надійні струмоприймачі електроенергії. У більшості електричних локомотивів та електропоїздів це пантографи. Основною проблемою для пантографів є надійність контактного елемента, який повинен забезпечувати постійний ковзний контакт між зовнішньою електричною мережею та електричною схемою електровоза або електропоїзда.

На даний час для контактної мережі більшість країн використовує мідний контактний дріт. Контактні елементи електричних локомотивів виготовляють або вугільні, або на основі міді. Основна проблема зносу мідної контактної пари виникає при сухому контакті, при чому швидко зношуються і контактний провід і контактний елемент. Інша проблема виникає при електричній ерозії, коли великі значення електричного струму короткочасно приварюють контактний провід і контактну пластину, а потім виривають частинки міді з контактного дроту. При значному оплавленні контактної пластини існує загроза перегоряння контактного дроту. Трапляються випадки обриву контактного дроту.

При порушенні нормальної взаємодії контактної пари пантограф - контактний провід виникає проблема не тільки у процесі руху поїзда, але й загроза безпеці руху. Це призводить до великих матеріальних збитків.

Проблема взаємодії ковзної контактної пари пантограф - контактний провід може вирішуватися за рахунок удосконалення матеріалу контактних елементів пантографа, або покращення динамічних якостей пантографа. Кращим є поєднання двох

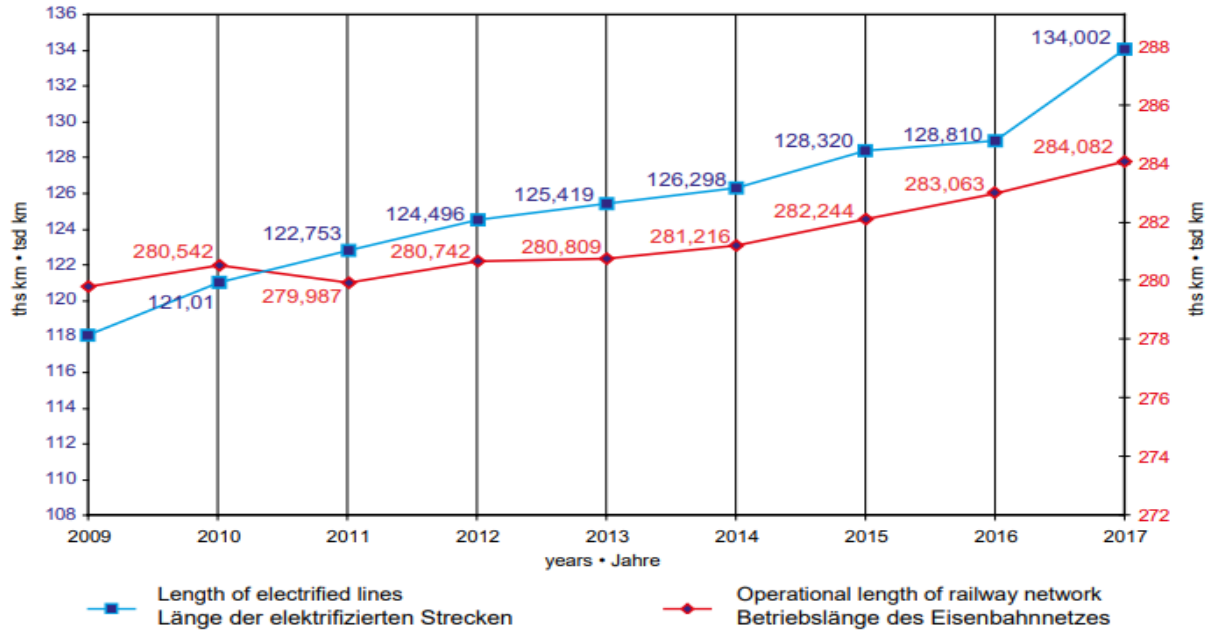



Рис. 1. Динаміка зміни експлуатаційної довжини залізниць та протяжності електрифікованих ліній

варіантів у одній розробці. Тобто, пропонується використати новий матеріал контактної пластини і встановити її на новий пантограф, або на модернізовану частину пантографа.

Динамічна взаємодія між пантографом і контактною мережею залежить від характеристик і умов експлуатації пантографа і контактної мережі. Основні робочі характеристики взаємодії пантографа електричного поїзда залежать від швидкості, кількості та відстані між струмоприймачами пантографів і положенням пантографа на транспортному засобі [2]. Для електричного локомотива теж важлива швидкість і величина струму в зоні контакту.

Основними параметрами, що впливають на взаємодію є контактний натиск пантографа на контактну мережу при підйомі та під час руху поїзда. Необхідно, щоб вага рухомих частин пантографа, що натискають на контактну мережу, була мінімальною.

Тому після розробки перспективних контактних пластин і проведення комплексних стендових, лабораторних та експлуатаційних випробувань на існуючому рухомому електричному транспорті, пропонується виконати комп'ютерне моделювання, засноване на контактному натисканні пантографа та контактної лінії при різних схемах кріплення елементів пантографа. При цьому пропонуються дослідити різні варіанти розміщення контактних елементів, а також використати кілька нових кінематичних схем верхнього вузла струмоприймача. Результати комп'ютерного моделювання, можуть бути використані для прогнозування та порівняння динамічної взаємодії між пантографом і контактним дротом при модернізації сучасного рухомого складу і проектуванні нових серій електровозів та електричних поїздів.

**Аналіз літературних даних та постановка проблеми.** На залізницях країн Європи для оцінки динамічної взаємодії між повітряними контактними лініями та пантографом використовують European Standard BS EN 50318: 2018 [3]. Стандарт відповідає мандату, наданого CENELEC Європейською Комісією та Європейської асоціації вільної торгівлі та підтримує основні вимоги EU Directive 2008/57/EC.

На основі нього визначаються вимоги до валідації моделювання, щоб забезпечити точність прогнозування результатів моделювання. Цей стандарт розглядає параметри моделювання на основі валідації моделей пантографів у межах застосування затверджених методів для оцінок пантографів та повітряних контактних ліній. Також встановлюються межі застосування затверджених методів для оцінок пантографів та повітряних контактних ліній.

Проте, цей стандарт не стосується систем міського електричного транспорту, тобто трамваїв та тролейбусів.

У європейських нормативних документах [4-7] доповнюються вимоги до контактних мереж, пантографів, методів випробування та регламентовано технічні критерії взаємодії між пантографом і контактною мережею. Зокрема, до систем контактних ліній електричної тяги буде застосовано CENELEC - PREN 50119, який діє для державних і приватних операторів на залізницях, тролейбусних лініях та промислових залізницях.

Враховуючи, що у багатьох країнах, у тому числі в Україні, звичайними залізницями, що електрифіковані постійним струмом 3000 Вольт, рухаються поїзди зі швидкостями понад 160 км/год, а в перспективі планується збільшення швидкостей до 250 км/год, необхідно передбачити надійну взаємодію між пантографом і контактною мережею.

Фахівцями Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, які мають значні здобутки у теоретич-

них та практичних дослідженнях, постійно виконуються роботи по визначенню параметрів надійності елементів конструкції механічної частини локомотивів, контактних елементів електричних апаратів, зокрема струмоприймачів електричного рухомого складу залізничного, промислового і міського електричного транспорту, та розробка рекомендацій і технічних рішень щодо удосконалення конструкцій та використання сучасних конструктивних матеріалів [8 - 16].

Особливу увагу фахівці звертають на сучасні вітчизняні та іноземні розробки, залучають спеціалізовані лабораторії та випробувальні комплекси, створюють нові і удосконалюють існуючі випробувальні стенди.

Після лабораторних та стендових випробувань дослідні зразки в переважній більшості проходять експлуатаційні випробування на реальних моделях для отримання реальних статистичних даних і використання цієї інформації при розрахунках параметрів надійності та оцінці умов експлуатації, а також і при моделюванні процесів роботи.

Тому при створенні нових елементів рухомого складу для нових моделей (наприклад нових струмоприймачів, їх кареток, а також контактних вставок чи накладок), або використанні створених деталей і використанні їх на існуючих транспортних засобах, особливо при високих швидкостях, необхідно врахувати вимоги та рекомендації щодо критеріїв оцінки достовірності використаних імітаційних та математичних моделей.

Особливо це стосується деталей і систем, де контрольовані параметри не мають чіткої залежності як для самого контакту, так і для процесу зносу; де немає стабільності у контакті, наприклад у таких парах, як "контактний дріт - накладка струмоприймача електричного транспорту", або процесів вимірювання контактної сили та вимірювання електричних дуг в ковзному контакті.

У [17] рекомендовано крім електричних локомотивів та поїздів модернізувати відповідно до Європейських норм систему електричного постачання. Необхідно при моделюванні взаємодії пантографа і контактної мережі обов’язково врахувати усі можливі фактори, що зустрічаються у реальній експлуатації, наприклад можливість провисання контактного дроту в наслідок впливу кліматичних умов, температурних режимів, відхилення від бічного вітру, тощо.

На надійність контактної пари "струмоприймач - контактна мережа" значно впливає матеріал контактних накладок пантографа, величина струму, що протікає через них та швидкість.

Особливе значення в цьому процесі відіграє характер зносу контактних пластин і контактного дроту, що порушує збереження контактного натиску. Оскільки, на одній ділянці залізниці можуть експлуатуватися електричні локомотиви і електричні поїзди з різними типами пантографів, при різних струмах та швидкостях руху, то регулювання натягу контактного дроту не є завжди можливим.

Тому бажано мати пантограф, який би сам стежив за зміною натиску на нього від контактного дроту, а також міг плавно змінювати свій натиск на контактний дріт при зміні висоти на станціях і ділянках. При суттєвому перевищенні натиску струмоприймача збільшується механічний знос, а відсутність необхідного натиску, що інтенсифікує підвищений електричний знос [18].

Кожен тип електричних локомотивів та поїздів має свої Правила ремонту, відповідно до яких ремонтують і експлуатують струмоприймачі. Основні технічні вимоги до струмоприймачів електрорухомого складу зведені до Пам’ятки (ОСЗ) Р668 [19] та ГОСТ 32204-2013.

Враховуючи різноманітність контактних елементів пантографів, та особливості проведення їх випробувань, при розробці нових контактних пластин, або вставок, необхідно користуватися вимогами, що зведені в ДСТУ ГОСТ 32680:2016 [20] та нормативами Євросоюзу [3 - 7].

**Мета статті.** Аналіз існуючих конструкцій струмоприймачів електричного транспорту та різновидів контактних пластин; виявлення основних конструктивних, технологічних та експлуатаційних недоліків відомих конструкцій струмоприймачів і контактних пластин; моделювання процесу взаємодії контактного дроту та струмоприймача з ресурсозберігаючими контактними пластинами.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

– аналіз особливостей роботи і видів пошкоджень контактних пластин струмоприймачів;

– попередній вибір контактних матеріалів для накладок струмоприймачів і дослідження їх технологічних характеристик;

– експериментальні, в умовах реальної експлуатації електричного транспорту, дослідження процесу зношення накладок із різних матеріалів;

– чисельна порівняльна оцінка технологічної та експлуатаційної стабільностей, а також показників параметричної надійності накладок із різних матеріалів;

– розробка методик і чисельна порівняльна оцінка показників параметричної надійності накладок із різних матеріалів за критерієм їх зносу;

– порівняльний техніко-економічний аналіз працездатності різних матеріалів в якості накладок струмоприймачів;

– аналіз надійності роботи і видів пошкоджень струмоприймачів різних конструкцій;

– розробка кінематичних схем роботи перспективних струмоприймачів;

– моделювання процесу взаємодії контактного дроту та струмоприймача з ресурсозберігаючими контактними пластинами;

– оцінка результатів моделювання за різними критеріями;

– вибір найбільш надійної конструкції верхнього вузла струмоприймача;

– оцінка результатів моделювання в умовах реальної експлуатації;

– впровадження результатів моделювання в реальні умови експлуатації.

**Викладення основного матеріалу.** До контактних матеріалів накладок пантографів висувають високі вимоги. На поверхні контактних елементів не повинно бути окислення, електричної ерозії при розмиканні і замиканні контактів. У контактних пластин повинна бути висока електропровідність, теплопровідність, стабільний перехідний опір в замкненому стані з контактним дротом.

Особливо це питання гостро стоїть на ділянках залізниць, які електрифіковані постійним струмом. Для заміни чистої міді в накладках струмоприймачів використовують композиційні матеріали, або металокераміку.

У композиційних контактних пластин вдається досягнути високих електротехнічних та електроерозійних властивостей шляхом додавання в композицію різних електропровідних матеріалів, при цьому основними залишаються мідь та графіт.

На ділянках залізниць, які електрифіковані постійним струмом, найчастіше в Україні використовують вугільні вставки, а в Європі - карбонові (рис.2).

Рис. 2. Вугільна вставка типу "Б"
а – нова; б, в – після експлуатації

На ділянках залізниць, електрифікованих постійним струмом, слід використовувати мідну смугу (рис. 3).

Нажаль, жодна контактна накладка чи вставка не забезпечує надійність такого важливого електричного апарата, як струмоприймач.

Багаторічний досвід наукової дослідницької роботи дав нам змогу передбачити низку факторів, щоб їх використати при створенні нового контактного матеріалу та розробки контактних пластин БрЗГ (рис. 4).

Рис. 3. Мідь пантографна для струмоприймачів (шина мідна):
а – нова ; б – після експлуатації

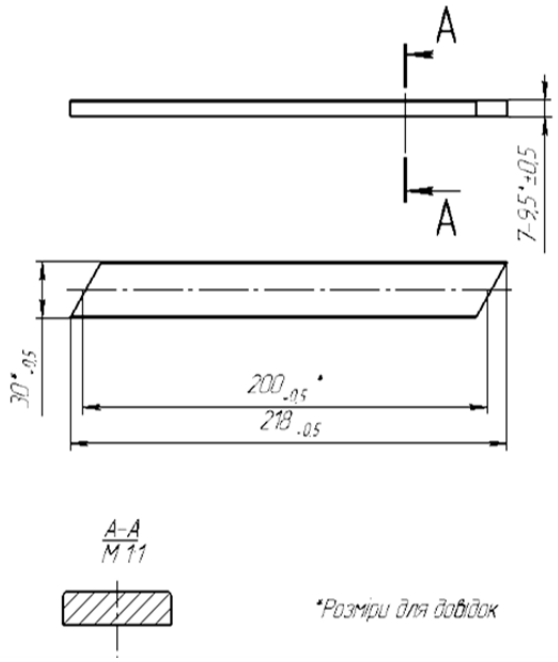



Рис. 4. Універсальна контактна пластина БрЗГ-7

При розробці технології виготовлення пластин використані патенти України на корисну модель № 90838 та № 93116. На даний час випускається шість модифікацій цих пластин. Удосконалена технологія виготовлення пластин, отримано покращений склад. Кожна з модифікацій передбачає покращений склад, або відрізняється способом кріплення до полоза струмоприймача.

Не менш жорсткі вимоги висуваються до струмоприймачів електричного транспорту [18 - 20].

Вони повинні мати мінімальну зведену масу, що досягається застосуванням легких конструкційних матеріалів при виготовленні рухомих рам і полозів, зменшенням робочої висоти, а також розчленуванням рухомої системи на кілька самостійних підсистем з використанням механізмів само регулювання та авторегулювання.

Для мінімізації аеродинамічного опору руху з метою зменшення витрат електроенергії на тягу поїздів, струмоприймачі бажано розташовувати так, щоб вони в опущеному положенні закривалися кожухами, з урахуванням форми даху. Конструкції струмоприймачів повинні розраховуватися на швидкість, яка перевищує максимальну експлуатаційну на 10-15%, з урахуванням параметрів контактної мережі.

Необхідно передбачати можливість використання тих самих струмоприймачів на ділянках змінного і постійного струму шляхом уніфікації конструктивного виконання верхніх вузлів і застосування високоефективних струмознімальних матеріалів.

Окрім того, необхідно врахувати величини струмів стоянці, при рушанні і зніманні номінальних і максимальних навантажень, що визначає число і раціональне розміщення струмознімальних апаратів на поїзді.

Струмоприймачі розраховують на знімання тривалого струму протягом 20 хвилин. При цьому нагрів контактних пластин, гнучких електричних з'єднувачів та інших елементів не повинен перевищувати граничних значень, встановлених нормативними документами.

Параметри верхнього вузла струмоприймача повинні забезпечувати мінімальну тривалість порушень контакту між полозом і проводом при основній частоті проходу струмоприймача по прольоту, що дорівнює відношенню швидкості руху до довжини прольоту, і при амплітуді вертикальних переміщень не менше 60 мм.

Потрібно враховувати високочастотні коливання при проходженні струмоприймачем прольотів між струнами, жорстких точок, повітряних стрілок і сполучень.

Рекомендується незалежне підресорювання кожного ряду контактних вставок якщо в цьому з'явиться необхідність. Конструкція верхнього вузла струмоприймача має забезпечувати вертикальний і обертальний рух полоза відносного верхнього шарніра рухомої рами.

При натисканні на центр полоза струмоприймача, прогин кареток повинен складати 30-40% їх повного ходу. Кут повороту відносно горизонтальної осі, що проходить через шарніри, за допомогою якої каретки з'єднуються з полозом, повинен складати 2-3º в кожну сторону щодо кожного положення.

Полоз повинен мати ширину 300-500 мм. Він повинен бути аеродинамічним, стійким відносно горизонтальної осі обертання. Довжина робочої частини полоза приймається відповідно до діючих норм по значенням зигзагу і виносу контактного проводу, а також з урахуванням поперечних вітрових навантажень і поперечних коливань екіпажної частини рухомого складу. Форма і розміри полоза повинні виключати значні вертикальні аеродинамічні підйомні сили при зустрічному і бічному напрямках повітряних потоків, що обтікають дах рухомого складу.

Повинна бути забезпечена можливість підйому і опускання струмоприймачів при русі поїзда з максимальною швидкістю і зустрічному або бічному вітрі, що має швидкість до 25 м/с. Конструкція підйомного механізму в робочому діапазоні струмоприймачів змінного струму повинна забезпечувати середнє статичне натискання 70н; при цьому активне натискання не повинно бути нижче 60Н, пасивне - вище 80Н. Для струмоприймачів постійного струму ці показники становлять відповідно 90, 75 і 100Н. Опускаюча сила в діапазоні робочої висоти повинна становити не менше 220Н при швидкостях 180-200 км/год, 260Н - при 250 км/год і 320Н - при 300 км/год.

Аеродинамічний вплив на струмоприймач зустрічного потоку при куті атаки + 1º має створювати аеродинамічну підйомну силу приблизно 70 Н при швидкості потоку 85 м/с.

У конструкціях струмоприймачів передбачають установку гідравлічних амортизаторів, які забезпечували б коефіцієнт в'язкого тертя, наведений до верхніх шарнірів струмоприймача, рівний 40-60 Н×с/м.

Струмоприймач повинен автоматично опускатися після удару полоза по несправному елементу контактної мережі.

Інформація про стан струмоприймачів повинна передаватися в кабіну машиніста.

Параметри надійності струмоприймачів повинні відповідати чинним стандартам або технічним умовам.

Процес взаємодії струмоприймача та контактного дроту, особливо при високих швидкостях руху поїздів, є важливою проблемою. Аналіз кінематичної взаємодії цих елементів дозволяє вже на стадії проектування струмоприймача досліджувати якість його конструкції та струмознімання.

Найчастіше для такого аналізу використовують прості моделі, складені з кількох зведених мас, об’єднаних жорсткими або пружними елементами. Такі моделі можна вважати фізичними лише в обмеженому сенсі цього твердження.

У даній роботі пропонується математична модель системи «струмоприймач-контактний дріт», наближена до її фізичного аналогу. Модель складається із замкнутої кільцевої ділянки контактного дроту у вигляді гнучкого стрижня, підкріпленого пружними зв’язками, змінними по координаті. Довжина кільця обирається в залежності від швидкості руху поїзда таким чином, аби уникнути впливу коливань збуреної частини контактного дроту його частину, що знаходиться у спокої. Струмоприймач моделюється системою мас, з’єднаною між собою пружними зв’язками.

На рис. 5. показано приклад математичного моделювання розповсюдження коливань в перерізах контактного дроту при підйомі струмоприймача.

Дана математична модель буде застосована для аналізу характеру та якості струмознімання при використанні струмоприймача перспективної конструкції при великих швидкостях руху поїзда.

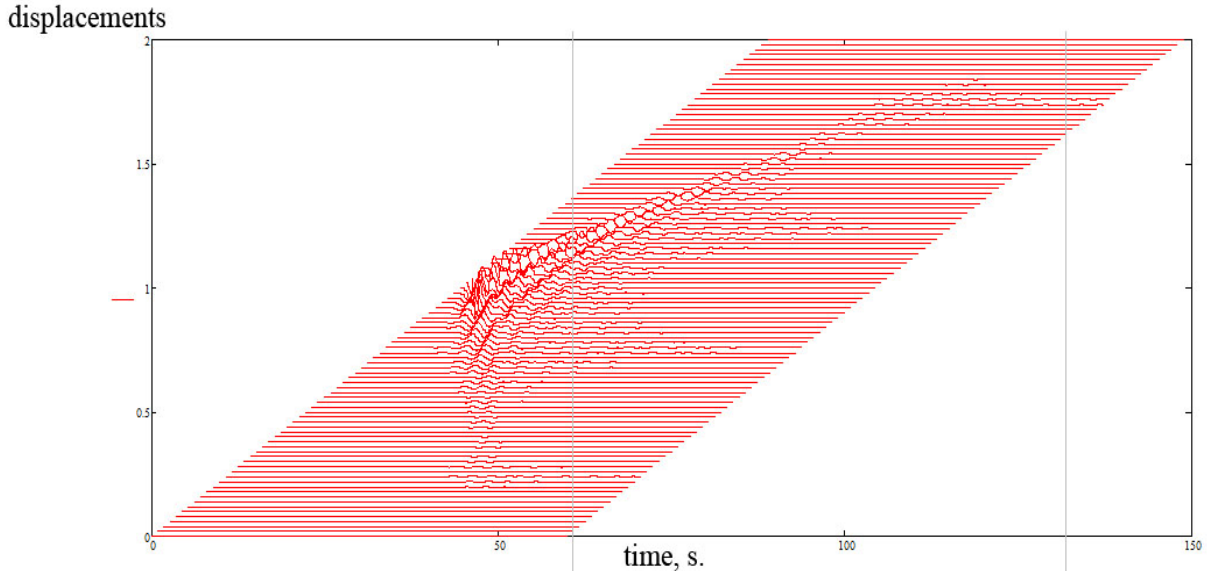



Рис 5. Динаміка зміни експлуатаційної довжини залізниць та протяжності електрифікованих ліній. Розповсюдження коливань в перерізах контактного дроту при підйомі струмоприймача

На основі патентів та власного досвіду, у науково-дослідній роботі нами розроблені рекомендації щодо підвищення експлуатаційних характеристик та надійності електричної частини електрорухомого складу, зокрема струмоприймачів, які дозволять підвищити стан безпеки руху поїздів.

**Висновок**. У роботі проаналізовано конструктивні та експлуатаційні особливості накладок і вставок, що експлуатуються на даний час у локомотивних та моторвагонних депо.

Розроблено пропозиції щодо використання в якості накладок нового перспективного матеріалу БрЗГ з урахуванням специфіки взаємодії накладок струмоприймача та контактного дроту.

Запропонована математична модель системи «струмоприймач-контактний дріт», наближена до її фізичного аналогу, і буде застосована для аналізу характеру та якості струмознімання з використанням струмоприймача перспективної конструкції для великих швидкостях руху поїзда.

**Література**


1. OSJD Bulletin of Statistical Data on Railway Transport for 2017. Warsaw, 2018. http://en.osjd.org/statico/public/en?STRUCTURE_ID=5063
2. Jiqin Wu. Pantograph and Contact Line System. 2018, P. 380.https://www.sciencedirect.com/book/9780128128862/pantograph-and-contact-line-system
3. EVS-EN 50318: 2018 Railway applications. Current collection systems. Validation of simulation of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line. - 2018. https://www.evs.ee/products/evs-en-50318-2018.
4. EVS-EN 50119: 2009, Railway applications — Fixed installations — Electric traction overhead contact lines. https://www.evs.ee/products/evs-en-50119-2009
5. EN 50206-1:2010, Railway applications — Rolling stock — Pantographs: Characteristics and tests — Part 1: Pantographs for main line vehicles. https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/EN-50206-1-2010-350901_SAIG_CENELEC_CENELEC_801115/
6. EN 50317:2012, Railway applications —Current collection systems — Requirements for and validation of measurements of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line. https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/EN-50317-2012-COR-2012-354010_SAIG_CENELEC_CENELEC_807333/
7. EN 50367:2012, Railway applications — Current collection systems — Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line (to achieve free access). https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/EN-50367-2012-AMD-1-2016-354052_SAIG_CENELEC_CENELEC_807417/
8. Шидловський Р.М, Баб'як М.О., Артемчук В.В. Аналіз можливостей підвищення експлуатаційних характеристик механічної частини електровозів // Вісн. Східноукр. нац. ун-т. – 2016. №1 (225) - С. 240-244.
9. Шидловський Р.М, Баб'як М.О., Артемчук В.В. Сучасний стан надійності елементів механічної частини вантажних електровозів. [Текст] // Електрифікація транспорту – 2016. - №12 – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2016. - С. 92 - 97.
10. Баб'як М.О. Ресурсозберігаюча технологія експлуатації накладок струмоприймачів з урахуванням їх взаємодії з контактним дротом // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2018. – № 2 (243). – С. 32–37.
11. Баб'як М.О., Горобець В.Л., Артемчук В.В. Дослідження фізико-механічних властивостей накладок пантографів, що застосовуються в якості струмоз'ємних елементів електрорухомого складу // Электрические контакты и электроды. Серия: Композиционные, слоистые и градиентные материалы и покрытия : зб. наук. пр. — Київ, 2016. — С.89-100.
12. Горобець В.Л., Баб'як М.О., Ярмак А.Я., Бондарєв О.М. Методологія комплексної оцінки експлуатаційних якостей накладок струмоприймачів електрорухомого складу.// Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2015. – № 1 (218). – С. 297–302.
13. Myamlin, S., Dailidka, S., &Neduzha, L. (2012). Mathematical Modeling of a Cargo Locomotive.

Proceedings of 16th international conference Transport Means, 310-312.
14. Саблін О.І., Босий Д.О., Кузнецов В.Г., Баб'як М.О., Косарєв Є.М., Губський П.В.. Ефективність рекуперації електроенергії в системі електротранспорту з інверторними тяговими підстанціями постійного струму. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2016. № 2. -С. 72-78.
15. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., &Kyryl'chuk, O. (2017). Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. Transport Means: Proc. of 21st Intern. Scientific Conf., 973-976.
16. Klimenko, I., Černiauskaite, L., Neduzha, L. &Ochkasov, O. (2018). Mathematical Simulation of Spatial Oscillations of the «Underframe-Track» System Interaction. Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems – ITELMS'2018: Proc. of 12th Intern. Conf., 105-114.
17. UIC 799-1. Characteristics of direct-current overhead contact systems for lines worked at speeds of over 160 km/h and up to 250 km/h / Translation International Union of Railways (UIC).— 2002.
18. Babyak M., Horobets V., Sychenko V., Horobets Y. Comparative tests of contact elements at current collectors in order to comprehensively assess their operational performance. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.-Kharkov: Vol 6, No12 (96) (2018). p.13-21
19. Пам'ятка ОСЗ № Р 668 Технічні вимоги до струмоприймачів електрорухомого складу для швидкостей руху до 250 км / год. –ГОСТ 32204–2013 Токоприемники электроподвнжного состава Общие технические условия
20. ДСТУ ГОСТ 32680:2016 Струмознімальні елементи контактні струмоприймачів електрорухомого складу. Загальні технічні умови (ГОСТ 32680-2014, IDT)

**References**

1. OSJD Bulletin of Statistical Data on Railway Transport for 2017. Warsaw, 2018. http://en.osjd.org/statico/public/en?STRUCTURE_ID=5063
2. Jiqin Wu. Pantograph and Contact Line System. 2018, P. 380.https://www.sciencedirect.com/book/9780128128862/pantograph-and-contact-line-system
3. EVS-EN 50318: 2018 Railway applications. Current collection systems. Validation of simulation of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line. - 2018. https://www.evs.ee/products/evs-en-50318-2018.
4. EVS-EN 50119: 2009, Railway applications — Fixed installations — Electric traction overhead contact lines. https://www.evs.ee/products/evs-en-50119-2009
5. EN 50206-1:2010, Railway applications — Rolling stock — Pantographs: Characteristics and tests — Part 1: Pantographs for main line vehicles. https://infostore. saiglobal.com/en-gb/Standards/EN-50206-1-2010-350901_SAIG_CENELEC_CENELEC_801115/
6. EN 50317:2012, Railway applications —Current collection systems — Requirements for and validation of measurements of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line. https://infostore. saiglobal.com/en-gb/Standards/EN-50317-2012-COR-2012-354010_SAIG_CENELEC_CENELEC_807333/
7. EN 50367:2012, Railway applications — Current collection systems — Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line (to achieve free access). https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/EN-50367-2012-AMD-1-2016-354052_SAIG_CENELEC_CENELEC_807417/
8. Shydlovs′kyy R.M, Bab″yak M.O., Artemchuk V.V. Analiz mozhlyvostey pidvyshchennya ekspluatatsiynykh kharakterystyk mekhanichnoyi chastyny elektrovoziv // Visn. Skhidnoukr. nats. un-t. – 2016. №1 (225) - S. 240-244.
9. Shydlovs′kyy R.M, Bab″yak M.O., Artemchuk V.V. Suchasnyy stan nadiynosti elementiv mekhanichnoyi chastyny vantazhnykh elektrovoziv. [Tekst] // Elektryfikatsiya transportu – 2016. - №12 – D.: Vyd-vo DNUZT, 2016. - S. 92 - 97.
10. Bab″yak M.O. Resursozberihayucha tekhnolohiya ekspluatatsiyi nakladok strumopryymachiv z urakhuvannyam yikh vzayemodiyi z kontaktnym drotom // Visnyk Skhidnoukrayins′koho natsional′noho universytetu imeni Volodymyra Dalya. – 2018. – № 2 (243). – S. 32–37.
11. Bab″yak M.O., Horobets′ V.L., Artemchuk V.V. Doslidzhennya fizyko-mekhanichnykh vlastyvostey nakladok pantohrafiv, shcho zastosovuyut′sya v yakosti strumoz'yemnykh elementiv elektrorukhomoho skladu // Élektrycheskye kontakty y élektrody. Seryya: Kompozytsyonnye, sloystye y hradyentnye materyaly y pokrytyya : zb. nauk. pr. — Kyyiv, 2016. — S.89-100.
12. Horobets′ V.L., Bab″yak M.O., Yarmak A.YA., Bondaryev O.M. Metodolohiya kompleksnoyi otsinky ekspluatatsiynykh yakostey nakladok strumopryymachiv elektrorukhomoho skladu. // Visnyk Skhidnoukrayins′koho natsional′noho universytetu imeni Volodymyra Dalya. – 2015. – № 1 (218). – S. 297–302.
13. Myamlin, S., Dailidka, S., &Neduzha, L. (2012). Mathematical Modeling of a Cargo Locomotive. Proceedings of 16th international conference Transport Means, 310-312.
14. Sablin O.I., Bosyy D.O., Kuznetsov V.H., Bab″yak M.O., Kosaryev YE.M., Hubs′kyy P.V.. Efektyvnist′ rekuperatsiyi elektroenerhiyi v systemi elektrotransportu z invertornymy tyahovymy pidstantsiyamy postiynoho strumu. // Visnyk Vinnyts′koho politekhnichnoho instytutu. 2016. № 2. -S. 72-78.
15. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., &Kyryl'chuk, O. (2017). Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. Transport Means: Proc. of 21st Intern. Scientific Conf., 973-976.
16. Klimenko, I., Černiauskaite, L., Neduzha, L. &Ochkasov, O. (2018). Mathematical Simulation of Spatial Oscillations of the «Underframe-Track» System Interaction. Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems – ITELMS'2018: Proc. of 12th Intern. Conf., 105-114.
17. UIC 799-1. Characteristics of direct-current overhead contact systems for lines worked at speeds of over 160 km/h and up to 250 km/h / Translation International Union of Railways (UIC).— 2002.
18. Babyak M., Horobets V., Sychenko V., Horobets Y. Comparative tests of contact elements at current collectors in order to comprehensively assess their operational performance. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.-Kharkov: Vol 6, No12 (96) (2018). p.13-21
19. Tekhnicheskie trebovaniya k tokopriemnikam elektropodvizhnogo sostava dlya skorostey dvizheniya do 250 km/ch. URL. GOST 32204-2013. Tokopriemniki zheleznodorozhnogo elektropodvizhnogo sostava. Obshchie tekhnicheskie usloviya.
20. DSTU HOST 32680:2016. Strumoznimalni elementy kontaktni strumopryimachiv elektrorukhomoho skladu. Zahalni tekhnichni umovy (HOST 32680-2014, IDT).

**Баб'як М.О. Моделювання взаємодії контактного дроту та пантографа з ресурсозберігаючими контактними накладками.**

*У роботі описано вимоги нормативних документів Європейського союзу та України стосовно взаємодії пантографів електричних локомотивів і поїздів та контактного дроту. Проведено аналіз можливості комп'ютерного моделювання взаємодії пантографів з різними контактними накладками та різним натиском і контактного дроту. Визначено можливість збільшення ресурсу роботи контактної пари накладка пантографа - контактний дріт за рахунок ресурсозберігаючого матеріалу накладки. Запропонована і випробувана математична модель для аналізу характеру та якості струмознімання при використанні струмоприймача перспективної конструкції при різних швидкостях руху поїзда.*

***Ключові слова:*** *експлуатація, пантограф, контакт, зношення, накладка, дріт, ресурс*

**Babyak M. Simulation of interaction of contact wire and pantograph with resource-saving contact pads.**

*The paper describes the requirements of the normative documents of the European Union and Ukraine concerning the interaction of pantographs of electric locomotives and trains and contact wire. The analysis of the possibility of computer simulation of the interaction of pantographs with different contact pads and different pressures and contact wires is carried out. The possibility of increasing the work life of the contact pair of the pantograph cover - the contact wire due to the resource-saving material of the overlay is determined. A mathematical model is proposed and tested for the analysis of the nature and quality of the snap-in with the use of a current-collector of perspective design at various speeds of the train*

***Keywords:*** *operation, pantograph, contact, wear, lining, wire, resource.*

**Баб'як М.О.** – к.т.н., доц., Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (Львівська філія).

*Рецензент:* д.т.н., проф . ***Чернецька-Білецька Н.Б.***

Стаття подана 13.04.2019

УДК 656.13.072:629.114.001.45

# МЕТОДИКА МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМОБІЛІВ МАЛОЇ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ

**Гальона І.І.**

# MONITORING TECHNIQUE OF SMALL LOADING CAPACITY CARS' ENERGY EFFICIENCY

**Halona I.**

*В статті представлено метод моніторингу енергетичної ефективності автомобілів малої вантажопідйомності з урахуванням еволюції конструктивних параметрів згідно концепції збереження енергії та ресурсів. Результати статті можуть бути використані для обґрунтування інвестиційних проектів перевезень, а також при організації тендерів для придбання рухомого складу і закріплення маршрутів за транспортними підприємствами.*

***Ключові слова:*** *вантажні перевезення, автомобіль, конструктивний параметр, моніторинг, енергетична ефективність.*

**Вступ.** Автомобільний транспорт в Україні набуває дедалі більшого значення. Це найбільш маневрений і ефективний вид транспорту для перевезення вантажів дрібними партіями на близьку відстань. Для таких перевезень використовуються автомобілі малої вантажопідйомності (АМВ).

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Пріоритетним напрямком розвитку технології дрібнопартіонних перевезень повинно бути оновлення рухомого складу (РС). Крім того, в умовах дефіциту паливно-енергетичних ресурсів, це оновлення повинно відповідати концепції збереження енергії та ресурсів. До того ж, для підвищення транспортно-технологічної якості дрібнопартіонних перевезень необхідні методи оцінки цієї якості за критеріями енергоресурсної ефективності [1].

На сучасному етапі розвитку світового ринку автотранспортних засобів (АТЗ) відбувається збільшення різноманіття пропонуємих видів та різновидів конструкцій, які формуються на основі різних концепцій у різних країнах [2]. Провідні автомобільні фірми пропонують під індивідуальні замовлення у кожному сегменті ринку кілька десятків різновидів конструкцій АМВ [3]. У зв'язку з великим різноманіттям модифікацій, які пропонуються, та тенденцією уніфікації параметрів конструкції автомобілів на стадії придбання РС виникає задача обґрунтування споживчих переваг за конструкцією АТЗ, які відповідають техніко-технологічним преференціям перевізника. Обґрунтування повинно відповідати задачі експлуатаційної оптимізації споживчої властивості АТЗ як науково-технічного товару [4].

У той же час, пропозиції виробників АМВ випливають з промислово-галузевої ідеї забезпечення технічної конкурентоздатності нових зразків конструкцій. При чому, основною ознакою нового товару є технічна новизна будь-якого елемента конструкції АТЗ [5]. Якщо відсутні відповідні методи оцінки споживчої властивості нового автомобіля, споживачу (покупцю) нав'язується невигідна йому стратегія формування споживчої якості нового РС за схемою «технічна новизна – ціна». Такий підхід може бути виправданий лише при маркетингу простих товарів. Але автомобіль є складним та унікальним науково-технічним товаром, оскільки у перевізному процесі одночасно реалізуються його властивості як продуктостворюючого засобу транспортної праці та як знаряддя технологічних впливів на предмет транспортування та на зовнішнє середовище [2]. Крім врахування цих властивостей, при маркетингу необхідно забезпечити такий вибір параметрів РС, який відповідав би розвитку технічного базису транспортної системи згідно з концепцією енергоресурсозбереження, а також стратегії підвищення техніко-технологічної конкурентоздатності майбутніх транспортних пропозицій [3]. Головною особливістю останніх є зміна конструктивних параметрів АМВ – те, що зараз не враховується в проектах вантажних перевезень. Існуюча стратегія купівлі цих автомобілів не відповідає концепції збереження енергії та ресурсів, а також ідеї підвищення техніко-технологічної конкурентноздатності транспортних послуг [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні методи технічного [6], транспортного [7] та економічного [8] аналізу не забезпечують реалізацію вказаної концепції розвитку і стратегії техніко-технологічної конкурентоздатності транспортних

послуг. Основним недоліком існуючих методів обґрунтування і вибору автомобілів є те, що вони засновані на ідеї противитратної ефективності АТЗ і не враховують важливу особливість майбутніх транспортних технологій – зміну параметрів техніки та збільшення енергетичної результативності машинних процедур технологій перевезень. Крім того, вони не дають можливості проводити маркетингові дослідження, які відповідають вищезгаданим вимогам. Існуюча стратегія купівлі АМВ не відповідає концепції збереження енергії та ресурсів, а також ідеї підвищення техніко-технологічної конкурентоздатності транспортних послуг. У зв'язку з цим, розроблено методику моніторингу споживчої властивості нових автомобілів з урахуванням їх енергетичної ефективності в транспортних операціях. В даній роботі представлено методику для сегменту ринку автомобілів малої вантажопідйомності.

**Мета статті.** Виявлення закономірностей впливу зміни конструктивних параметрів на транспортно-технологічну якість автомобіля.

**Результати досліджень.** Сутність методу підвищення енергоресурсної ефективності АТЗ полягає у вирішенні двох задач [1]:

1) моніторинг сегменту ринку АМВ за їх транспортно-технологічною якістю;

2) моделювання машинного змісту транспортних технологій і структурно-параметричний аналіз конструкцій автомобілів за показником їх енергетичної ефективності.

Моніторинг – це процес збору технічної інформації про нові АТЗ у кожному сегменті ринку, визначення показника їх енергетичної ефективності, а також їх співставлення у групах конкуруючих зразків. Метою моніторингу є оцінка та прогнозування придатності технічних параметрів АТЗ, які пропонуються на ринку, до енерго- і ресурсозберігаючих транспортних технологій. Сутність транспортних технологій полягає у сукупності людино-машинних впливів спорядженого автомобіля на партіонні маси вантажів при створенні продукції транспорту, а також у науковому описі цих впливів [2].

Для забезпечення енерго- і ресурсозберігаючих технологій конструктивні параметри АТЗ повинні забезпечувати оптимальність таких показників транспортно-технологічної якості: транспортної енергетичної ефективності (Рег); енергетичної результативності технологічних впливів на вантажі (*ТВ*). Для розробки математичної моделі показника енергетичної ефективності використано метод аналогій з еталонним прототипом АТЗ [1]. Останній являє собою розрахункову модель ідеального автомобіля, яка не змінюється впродовж найближчих 20 – 30 років. Протягом цього періоду задача неперервного удосконалення конструкції АТЗ розглядається як процес наближення показників його транспортно-технологічної якості до еталонного прототипу.

Шляхом співставлення величин енергетичних показників АМВ та його еталонного прототипу визначаються енергетичні коефіцієнти пробігу та швидкості. Вони підставляються у модель показника енергетичної ефективності АТЗ. Цей показник є відношенням транспортної енерговіддачі даного автомобіля у тестовій операції $\rho$ до транспортної енерговіддачі еталонного автомобіля у еталонній операції $\rho_{em}$. Виконання наступної умови забезпечує придатність конструкції АТЗ до енергозберігаючих транспортних технологій [1]:

$$P_{er} = \frac{\rho}{\rho_{em}} = \frac{K_v \gamma_{cm}}{K_e(\eta_q + \gamma_{cm})} \to \max, \qquad (1)$$

де $K_{vc}$ – коефіцієнт швидкості (відношення середньої швидкості АТЗ в тестовому циклі до швидкості еталонного АТЗ);

$\gamma_{cm}$ – коефіцієнт використання місткості автомобіля;

$K_e$ – енергетичний коефіцієнт пробігу (відношення витрати палива даного АТЗ в циклі до витрати палива еталонного АТЗ, який рухається з постійною еталонною швидкістю);

$\eta_q$ – коефіцієнт спорядженої маси АТЗ.

Для забезпечення порівняльного аналізу споживчої якості та властивостей АТЗ в рамках сегменту ринку АМВ або типорозмірних рядів розроблено електронні таблиці за допомогою пакету програм EXCEL. Основне призначення цих електронних таблиць – збір, зберігання, автоматизовані розрахунки та систематизація детальних характеристик АТЗ, які використовуються при обґрунтуванні нового РС. Таке обґрунтування забезпечує вибір автомобілів згідно концепції енергоресурсозбереження. Простота заповнення таблиць та форма подання даних дозволяє легко слідкувати за динамічним світовим ринком автомобілів. Уся інформація в електронній таблиці згрупована по марках АТЗ. Умовно таблиця поділяється на кілька частин, у яких представлено вихідні дані, проміжні автоматизовані розрахунки та показники енергоресурсної оцінки АТЗ, за якими приймається рішення щодо вибору автомобіля. Згідно умови (1) здійснюється ранжирування АТЗ за ступенем їх придатності до енергозберігаючих технологій. Крім того, на основі даних таблиці формуються вихідні дані для технологічного прогнозування, яке полягає у визначенні характеру впливу зміни найважливіших конструктивних параметрів на величину енергетичної ефективності АТЗ.

Показники транспортно-технологічної якості АТЗ визначаються за результатами імітаційного моделювання його роботи у тестовій операції руху, схема якої представлена на рис.1.

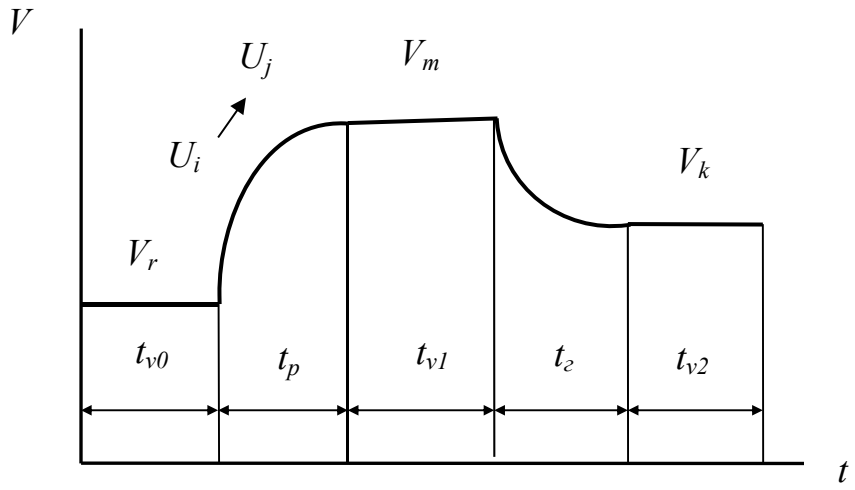



Рис. 1. Схема карти тестової операції руху:
$V_r$, $V_m$, $V_k$ – задані значення швидкості сталого руху АТЗ (відповідно початкова, максимальна та кінцева);
$t_{v0}$, $t_{v1}$, $t_{v2}$ – тривалість фаз руху АТЗ при швидкостях відповідно $V_r$, $V_m$, $V_k$; $U_i$ … $U_j$ – передаточні числа коробки передач, які використовуються при розгоні АТЗ в діапазоні швидкостей $V_r$ … $V_m$; $t_p$, $t_г$ – тривалість фаз руху АТЗ при розгоні та гальмуванні відповідно

Таблиця

**Характеристика двигунів Mercedes-Benz Viano**

| Модель | Двигун | Робочий об'єм, см$^3$ | Конфігурація / кількість клапанів | Потужність, кВт (к.с.) при об./хв. | Крутний момент при об./хв. |
|---|---|---|---|---|---|
| V 200 | M111 E20 | 1998 | R4/16 | 95 (129) / 5100 | 186 Н·м / 3600–4500 |
| V 230 | M111 E23 | 2295 | R4/16 | 105 (143) / 5000 | 215 Н·м / 3500–4500 |
| V 280 | VW VR6 | 2792 | 6/12 | 128 (174) / 6000 | 237 Н·м / 2800–3200 |
| V 230 TD | OM601 D 23 LA | 2299 | R4/8 | 72 (98) / 3800 | 230 Н·м / 1700–2400 |
| V 200 CDI | OM611 DE22 LA | 2151 | R4/16 | 75 (102) / 3800 | 250 Н·м / 1600–2400 |
| V 220 CDI | OM611 DE22 LA | 2151 | R4/16 | 90 (122) / 3800 | 300 Н·м / 1800–2500 |

В даній роботі проведено аналіз впливу максимальної потужності двигуна на показник енергетичної ефективності автомобіля Mercedes-Benz Viano. Для покращення тягово-швидкісних властивостей АТЗ заводи-виробники реалізують стратегію максимізації потужності $N_m \rightarrow max$. Проте, відсутні методи оцінки впливу зміни цієї характеристики на ефективність роботи автобуса при здійсненні перевезень [4].

В свою чергу, провідні автомобільні заводи пропонують під індивідуальне замовлення двигуни з різними значеннями максимальної потужності. Наприклад, для моделі, що розглядається, заводом-виробником пропонується шість різновидів двигуна – три бензинових і три дизельних з діапазоном потужності 95—128 кВт (табл.). Необхідно зазначити, що для покупця (автоперевізника) ці значення є рекламними, оскільки відсутня методологія аналізу впливу $N_m$ на показники ефективності роботи автомобіля.

В результаті проведеного аналізу встановлено, що графічна залежність показника енергетичної ефективності Per (рис. 2) від потужності має спадаючий характер. Підвищення потужності двигуна $N_m$ на 67% одночасно здійснює вплив на середню швидкість АМВ в тестовій операції (коефіцієнт $K_{vc}$ зростає на 2%) і, разом з тим, зменшує загальний час циклу ($T_c$) на 3%. В результаті такого впливу графічна залежність показника енергетичної ефективності Per (рис. 1) від потужності весь час зменшується. При чому, зменшення $N_m$ призводить до більш інтенсивного збільшення значень Per, ніж збільшення. На наступному етапі дослідження буде проведено аналіз впливу максимальної потужності двигуна на показник результативності технологічних впливів АТЗ.

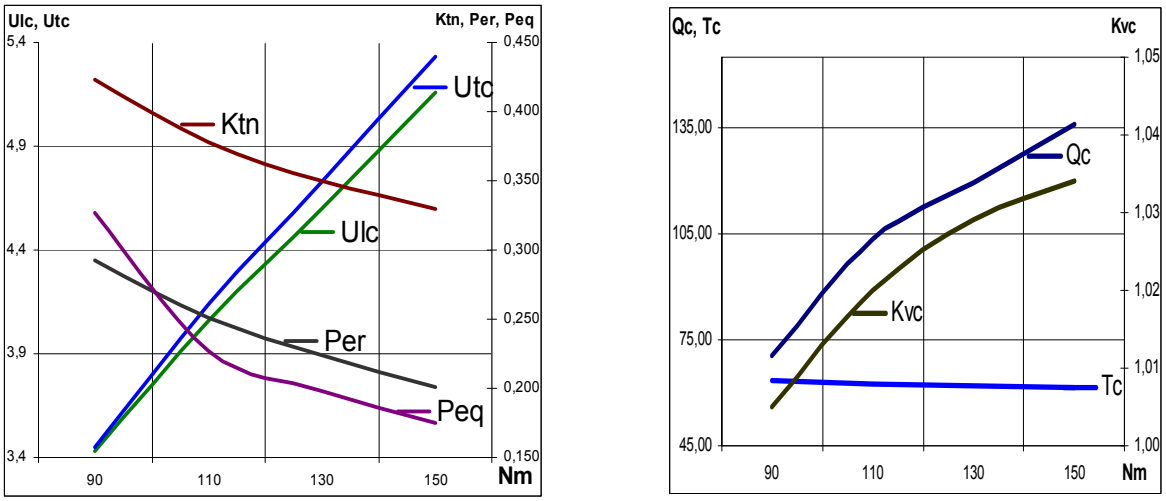



Рис. 2. Графік залежності показників енергетичної ефективності автомобіля Mercedes-Benz Viano від максимальної потужності двигуна $N_m$:
$P_{er}$ – показник енергетичної ефективності; $P_{eq}$ – показник паливної ефективності; $U_{lc}$ – енергетичний коефіцієнт пробігу; $U_{tc}$ – паливний коефіцієнт пробігу; $K_{tn}$ – коефіцієнт часу несталого руху; $Q$с – витрати палива; $T$с – загального часу циклу; $K$vc – коефіцієнт швидкості

**Висновки.** 1. Встановлено, що на стадії придбання РС виникає задача обґрунтування споживчих переваг за конструкцією АТЗ, які відповідають техніко-технологічним преференціям перевізника.

2. Для забезпечення порівняльного аналізу споживчої якості та властивостей АТЗ в рамках сегменту ринку або типорозмірних рядів розроблено електронні таблиці, основним призначенням яких є збір, зберігання, автоматизовані розрахунки та систематизація детальних характеристик АТЗ, які використовуються при обґрунтуванні нового РС.

3. Запропонована методика забезпечує вибір АМВ з урахуванням їх конструктивних параметрів і відповідає розвитку технічного базису транспортної системи згідно з концепцією енергоресурсозбереження.

**Література**

1. Хабутдінов Р. А. Управлінські парадигми на автотранспорті: техноемпірична профітократія і інноваційна технократія / Р. А. Хабутдінов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2015. – Вип. 1 (31). – С. 513 – 518.
2. Хмельов І. В. Моніторинг енергетичної ефективності міських автобусів / І. В. Хмельов, О. В. Гусєв, О. В. Алєксєєнко, М. Г. Піцик // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2016. – Вип. 1 (34). – С. 499 – 505.
3. Хабутдінов Р. А. Системна проблема інноваційного розвитку автотранспорту в умовах теоретичного заперечення транспортних технологій і виробництва / Р. А. Хабутдінов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2016. – Вип. 1 (34). – С. 491 – 498.
4. Хабутдінов Р. А. Енергоресурсна ефективність автомобіля / Р. А. Хабутдінов, О. Я. Коцюк. – К.: УТУ, 1997. – 137 с.
5. Хмельов І. В. Метод оцінки транспортно-технологічної якості автопоїздів з урахуванням еволюції їх конструктивних параметрів / І. В. Хмельов, О. В. Гусєв // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2015. – Вип. 1 (31). – С. 539 – 544.
6. Туревский И. С. Теория автомобиля / Туревский И. С. – М. : Высшая школа, 2009. – 240 с.
7. Горев А. Э. Грузовые перевозки / Горев А. Э. – М. : Академия, 2013. – 304 с.
8. Гинзбург А. И. Экономический анализ: предмет и методы. Моделирование ситуаций. Оценка управленческих решений / А. И. Гинзбург. – СПб. : Питер, 2003. – 471 с.

**References**

1. Khabutdinov R. A. (2015). Upravlins′ki paradyhmy na avtotransporti: tekhnoempirychna profitokratiya i innovatsiyna tekhnokratiya [The management paradigms in road transport: technoempirical profanocracy and innovative technocracy]. Visnyk Natsionalnoho Transportnoho Universytetu, 1 (31), 513 –518 [in Ukrainian].
2. Khmelov I. V., Gusev O. V., Alekseenko O. V., Pitsyk M. H. (2016). Monitorynh enerhetychnoyi efektyvnosti mis′kykh avtobusiv [City buses' energy efficiency monitoring]. Visnyk Natsionalnoho Transportnoho Universytetu, 1 (34), 499 – 505 [in Ukrainian].
3. Khabutdinov R. A. (2016). Systemna problema innovatsiynoho rozvytku avtotransportu v umovakh teoretychnoho zaperechennya transportnykh tekhnolohiy i vyrobnytstva [Systemic problems of transport innovative development in terms of transport technologies and production theoretical objection]. Visnyk Natsionalnoho Transportnoho Universytetu, 1 (34), 491 – 498 [in Ukrainian].

4. Khabutdinov R. A., Kotsiuk O. Ya. (1997). Enerhoresursna efektyvnist′ avtomobilya [The car's energy-resources efficiency]. Kyiv: UTU, 137 [in Ukrainian].
5. Khmelov I. V., Gusev O. V. (2015). Metod otsinky transportno-tekhnolohichnoyi yakosti avtopoyizdiv z urakhuvannyam evolyutsiyi yikh konstruktyvnykh parametriv [Evaluation method of trucks' transport-technological quality using the development of structural parameters]. Visnyk Natsionalnoho Transportnoho Universytetu, 1 (31), 539 – 544 [in Ukrainian].
6. Turevskiy I. S. (2009). Teoriya avtomobilya [Car theory]. Moskva: Vysshaya shkola, 240 [in Russian].
7. Gorev A. E. (2013). Gruzovyye perevozki [Freight transportation]. Moskva: Akademiya, 304 [in Russian].
8. Ginzburg A. I. (2003). Ekonomicheskiy analiz: predmet i metody. Modelirovaniye situatsiy. Otsenka upravlencheskikh resheniy [Economic analysis: the subject and methods. Simulation of situations. Evaluation of management decisions]. SPb.: Piter, 471 [in Russian].

**Гальона И.И. Методика мониторинга энергетической эффективности автомобилей малой грузоподъемности.**

*В статье представлен метод мониторинга энергетической эффективности автомобилей малой грузоподъемности с учетом эволюции конструктивных параметров согласно концепции сохранения энергии и ресурсов.*

*Основным недостатком существующих методов обоснования и выбора автотранспортных средств является то, что они выходят из идеи противозатратной эффективности подвижного состава и не учитывают важную особенность будущих транспортных технологий - изменение параметров техники и увеличения энергетической результативности машинных процедур технологий перевозок. Обнаружено, что при выборе подвижного состава необходимо учитывать эволюцию конструктивных параметров автомобилей, а также разнообразия условий перевозок. Новизна заключается в выявлении взаимосвязи характеристик технологических процедур с энергетической эффективностью автомобиля для повышения энергоресурсной эффективности автомобильных перевозок.*

***Ключевые слова:*** *грузовые перевозки, автомобиль, конструктивный параметр, мониторинг, энергетическая эффективность.*

**Halona I. I. Monitoring technique of small loading capacity cars' energy efficiency.**

*The paper proposes the monitoring technique of small loading capacity cars' energy efficiency on the basis of structural parameters according to the energy and resources saving concept.*

*The main drawback of the existing methods of study and choice of vehicles is that they are based on the idea of the rolling stock's cost-effectiveness and do not reflect an important feature of future transport technologies – change the technology and increase the energy efficiency of machine procedures transportation technologies. It is found that the choice of rolling stock necessary to consider the evolution of the vehicles' structural parameters and variety of transportation conditions. The novelty is to identify the relationship of the technological procedures' characteristics to automobiles' energy efficiency to improve the energy-resource efficiency of road transportation.*

***Keywords:*** *cargo transportation, automobile, structural parameter, monitoring, energy efficiency.*

**Гальона Інеса Іванівна -** асистент кафедри «Транспортні технології» Національного транспортного університету, e-mail: ntu.tt.inesa@gmail.com

*Рецензент***:** д.т.н., проф**. *Чернецька-Білецька Н.Б.***

Стаття подана 12.04.2019

УДК 629.4.067.4

# РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ И МЕТОДОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТЬЮ ЛОКАЛЬНОГО ТРИБОЛОГИЧЕСКОГО КОНТАКТА

**Горбунов Н.И., Ковтанец М.В., Ковтанец Т.Н., Просвирова О.В.**

# DEVELOPMENT OF THE THEORY AND METHODOLOGY OF CONTROLLING THE LOCAL TRIBOLOGICAL CONTACT THERMOMECHANICAL LOADING

**Gorbunov N., Kovtanets M., Kovtanets T., Prosvirova O.**

*Проведены теоретико-экспериментальных исследования, которые подтвердили тот факт, что именно температура в контакте является важнейшим фактором, который оказывает влияние на весь комплекс служебных свойств контактирующих материалов. Авторами работы предлагается управление процессом фрикционного взаимодействия трибологического контакта за счет регулирования температуры принудительным охлаждением, что позволит стабилизировать коэффициент сцепления колеса с рельсом. Создан алгоритм управления термомеханической нагруженностью локального трибологического контакта, заключающийся в очистке и охлаждении контактирующих поверхностей двухфазным потоком гранул сухого льда и принудительным охлаждением сжатым воздухом с помощью трубки Ранка-Хилша.*

***Ключевые слова:*** *железнодорожный транспорт, коэффициент сцепления, температура, охлаждение, управление.*

**Введение.** Среди всех существующих передач трением (муфты сцепления, вариаторы, ременные передачи и т.п.) наиболее специфические условия эксплуатации фрикционная передача колесом локомотива силы тяги или торможения.

Специфика взаимодействия колес с рельсами имеет несколько аспектов. Во-первых, в контакт колеса с рельсом попадают частицы веществ, имеющие различное происхождение:

- климатическое (опавшая листва, влага, окружающая температура);
- технологическое (балластный камень, продукты коррозии, смазочные материалы);
- продукты износа колес, рельсов, тормозных колодок;
- перевозимые грузы (нефть, уголь, крупы и т.д.).

Во-вторых, на фрикционные условия контактирования колес с рельсами может оказываться активное воздействие (подача абразивных материалов, активаторов трения, лубрикация). Еще одной особенностью работы колесных пар является их многофункциональность. Колесные пары обеспечивают:

- опирание и направление подвижного состава при движении по рельсовому пути;
- передачу тягового (тормозного) усилия;
- пропускание тяговых токов в землю.

Все эти функции реализуются при контактировании колес с рельсами, причем разные функции реализуются в различных зонах поверхности трения, как колеса, так и рельса. Поэтому система «колесо-рельс» представляет собой сочетание двух пар трения «фрикционной» и «антифрикционной» [1].

**Изложение основного материала.** Как известно, реализация силы тяги (торможения) сопровождается скольжением колес относительно рельсов. Это приводит к тому, что часть мощности локомотива тратится не на тягу, а на разогрев и разрушение (износ) поверхностей в зоне контакта. Поэтому более корректным представляется использование, кроме уровня сцепления, еще и понятия КПД передачи, впервые сформулированное в работе [2]. В ней предложено следующее выражение для определения КПД:

$$\eta = \frac{W_n}{W_{об}} = \frac{F_{сц} \cdot V_л}{(F_{сц} \cdot V_л + F_{сц} \cdot V_{ск})} = \frac{1}{1 + \frac{V_{ск}}{V_л}}, \qquad (1)$$

где $\eta$ – КПД передачи; $W_n$ – полезная мощность; $W_{об}$ – общая мощность; $F_{сц}$ – сила сцепления колеса с рельсом; $V_л$ – скорость движения локомотива; $V_{ск}$ – скорость скольжения колеса относительно рельса.

Одним из фундаментальных понятий, используемых для описания процесса сцепления

колес с рельсами, является понятие «характеристика сцепления» – зависимость коэффициента сцепления от относительного скольжения $\psi = f(|\varepsilon|)$. Учитывая, что $\varepsilon = V_{ск}/V_{л}$ представляется целесообразным провести преобразование формулы (1) к следующему виду:

$$\eta = \frac{1}{1+\varepsilon}. \qquad (2)$$

Из рис. 1 следует, что во всех случаях использование песка увеличивает коэффициент сцепления и уменьшает скольжение, что приводит к росту КПД. Но при этом имеется «побочный эффект» – увеличение сопротивления движению (до 12 % [3]). Впрочем, при торможении этот эффект можно считать положительным [4, 5].

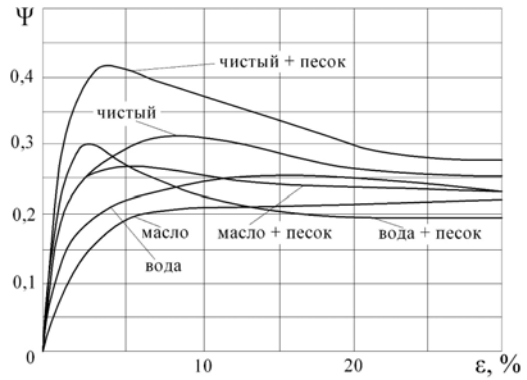



Рис. 1. Характеристики сцепления при различных условиях контактирования колеса с рельсом

Используя формулу (2) и зависимости, представленные на рисунке 1 определим КПД передачи при различных фрикционных состояниях. Рассмотрим реализацию локомотивом силы тяги соответствующую двум уровням коэффициента сцепления 0,2 и 0,25. Результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Таблица 1

**КПД передачи «колесо-рельс» при различных фрикционных условиях контактирования**

| Фрикционные условия | Скольжение, % | | КПД, % | |
|---|---|---|---|---|
| | 0,2 | 0,25 | 0,2 | 0,25 |
| Чистые поверхности | 0,9 | 2,5 | 0,991 | 0,975 |
| Вода | 3,5 | 12,1 | 0,966 | 0,892 |
| Масло | 6,5 | - | 0,939 | - |
| Вода + песок | 0,7 | 1,5 | 0,993 | 0,985 |

На основании полученных результатов можно сформировать требования к фрикционному взаимодействию в системе «колесо-рельс»: обеспечение стабильно высокого коэффициента сцепления при одновременном обеспечении максимально возможного ККД и минимизации величины сопротивления движению с учетом режимов и параметров движения (тяга, торможение, выбег, скорость движения и т.п.). Учитывая сказанное необходимо провести анализ методов активного воздействия на фрикционные свойства трибосистемы «колесо-рельс» [6]. Улучшение условий взаимодействия системы «колесо-рельс» достигается путем совершенствования конструкции локомотивов, профилактическими мероприятиями и непосредственным воздействием на фрикционные свойства поверхностей колес и рельсов при их эксплуатации [7, 8].

В работе создана математическая модель трибологического контакта с интенсивным тепловыделением в системе «колесо-рельс-тормозные элементы», позволяющая определять локальную поверхностную температуру взаимодействующих элементов в зависимости от различных факторов. Она предусматривает использование экспериментально полученных зависимостей коэффициента трения при качении со скольжением (далее коэффициент трения) от температуры в зоне контакта $f(\theta)$. Под температурой в контакте следует понимать полученное за счет относительного трения ролика о рельс превышение температуры в контакте над температурой окружающей среды.

В данной работе для установления зависимости $f(\theta)$ использовался оригинальный автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс «Машина трения» [7, 8], предназначенный для исследования фрикционных свойств контакта «колесо-рельс» при качении со скольжением, как в лабораторных, так и в полевых условиях.

При исследовании качения со скольжением коэффициент трения может рассматриваться как функция следующих параметров: абсолютная скорость скольжения; относительное скольжение; температура в зоне контакта.

Особый интерес представляет температура в зоне контакта. С целью проверки влияния данного фактора на коэффициент трения были проведены две серии экспериментов с различными значениями линейной скорости движения «Машина трения» ($V$ = 0,09 м/с и $V$ = 0,18 м/с). Эксперименты проводились на сухом чистом рельсе.

После соответствующей обработки по одним и тем же экспериментальным данным построены зависимости коэффициента трения от температуры в зоне контакта (рис.2), абсолютной скорости скольжения (рис.3) и относительного скольжения (рис.4). Последние две величины определяются по формулам:

$$\vartheta = \omega \cdot R - V; \qquad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{\vartheta}{V} \cdot 100, \qquad (4)$$

где $\vartheta$ – абсолютная скорость скольжения; $\varepsilon$, $\omega$, $R$ – относительное скольжение, угловая скорость и радиус рабочего ролика; $V$ – линейная скорость «Машины трения».

На всех рисунках окружностями обозначены экспериментальные точки, полученные при скорости движения машины трения 0,09 м/с, а кругами – 0,18 м/с.

Как видно из рис.2, экспериментальные данные, построенные в координатных осях «температура – коэффициент трения», для указанных скоростей движения практически совпадают. А вот данные в координатных осях «абсолютная скорость скольжения – коэффициент трения» (рис.3) и «относительное скольжение – коэффициент трения» (рис.4) значительно отличаются.

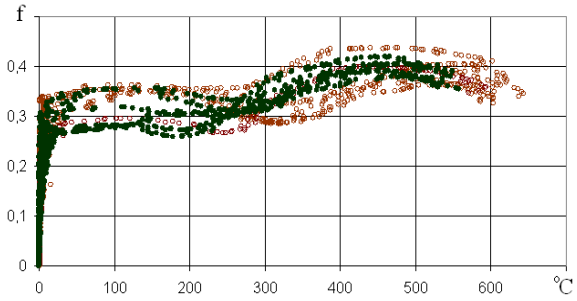



Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от температуры в контакте

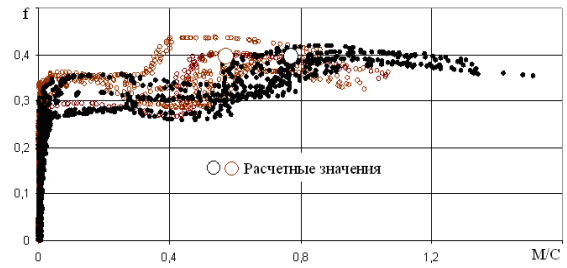



Рис. 3. Зависимость коэффициента трения от скорости скольжения

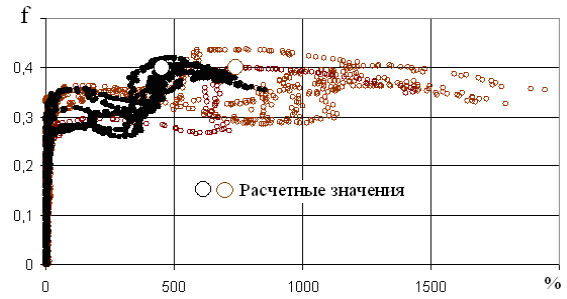



Рис. 4. Зависимость коэффициента трения от относительного скольжения

Данный результат позволяет выдвинуть предположение, что зависимость коэффициента трения от температуры носит универсальный характер (для конкретных фрикционных условий) и не зависит от параметров движения. С целью проверки данного предположения по заданной температуре и коэффициенту трения определим абсолютную скорость скольжения и относительное скольжение.

Воспользуемся полученными в работе [9] формулами для определения среднеинтегральной температуры на поверхности рельса и коэффициента распределения тепловых потоков между роликом и рельсом.

$$\theta_1^* cu = \frac{4 \cdot a_1 \cdot q}{3 \cdot \lambda_1} \cdot \sqrt{\frac{L_1 \cdot a_1}{\pi \cdot V}}, \quad (5)$$

$$a_1 = \frac{1}{1 + \sqrt{\omega \cdot R / V}}, \quad (6)$$

где $\theta_1^* cu$ – среднеинтегральная температура на поверхности рельса; $a_1$ – коэффициента распределения тепловых потоков между роликом и рельсом; $q$ – мощность источника тепла; $\omega$, $R$, $V$ – имеют тот же смысл, что и в (3); $\lambda_1$ – коэффициент теплопроводности материала рельса; $L_1$ – длина контакта ролика с рельсом.

Подставив (6) в (5), получим уравнение, которое связывает среднеинтегральную температуру $\theta_1^* cu$ с угловой скоростью $\omega$:

$$\theta_1^* cu = \frac{4 \cdot P \cdot f(\omega \cdot R - V)}{3 \cdot \lambda_1 \cdot F} \cdot \sqrt{\frac{L_1 \cdot a_1}{\pi \cdot V}} \cdot \frac{1}{1 + \sqrt{\omega \cdot R / V}} \quad (7)$$

где $P$ – вертикальная нагрузка от ролика на рельс; $F$ – площадь контакта ролика с рельсом.

Из рис. 2 следует, что максимуму коэффициента $f$, равного 0,4, соответствует температура $\theta_1^* cu = 450^{\circ}$C. Именно эти значения будем использовать в расчетах.

Значения остальных величин взяты из условия проведения эксперимента и сведены в табл. 2.

Таблица 2

**Расчетные величины**

| № | Обозначение | Величина |
|---|---|---|
| 1. | $R$, м | 0,02 |
| 2. | $V$, м/с | 0,09; 0,18 |
| 3. | $\lambda_1$, Дж/кг°С | 460 |
| 2. | $F$, м$^2$ | 0,0001230 |
| 5. | $L_1$, м | 0,0062583 |
| 6. | $a_1$, Вт/м °С | 74,4 |
| 7. | $P$, Н | 240 |

В данном случае, в уравнении (7) неизвестной величиной является угловая скорость ролика $\omega$. Подставив значения величин из табл. 2 в уравнение (7), решим его для двух значений линейной скорости (0,09 и 0,18 м/с) относительно $\omega$. Сделать это можно одним из численных методов, например, методом половинного деления. После нахождения $\omega$ величины $\vartheta$ и $\varepsilon$ определяются по уравнениям (3, 4). Результаты расчетов показаны на рис. 3 и рис. 4 большими окружностями.

Как видно из рисунков, погрешность определения расчетной абсолютной скорости скольжения не превышает 6 %, а относительного скольжения – 11 %.

Особенность проведенных экспериментов заключалась в том, оператор «Машины трения» производил увеличение напряжения питания двигателя рабочего ролика установки до начала возникновения буксования, но из-за опасения повреждения «Машины трения» время буксования ограничивалось 3-6 сек [7]. После срыва рабочего ролика «Машины трения» в буксование сила трения может расти падать или оставаться без изменения, но в задачу настоящего исследования не входило изучение развития и прекращения буксования.

Полученный результат свидетельствует о том, что согласно имеющейся зависимости коэффициента трения от температуры остальные параметры движения могут быть определены с достаточной для практических целей точностью.

Согласно данным [10] контактные напряжения на дорожке катания колеса по рельсу могут достигать до 600 МПа и выше. При этом температура вспышки взаимодействия выступов шероховатостей поверхностей колеса и рельса может достигать значений, соизмеримых с температурой плавления материала контактирующих тел.

При повышении температуры сталей колеса и рельса модуль упругости и предел прочности понижаются (рис. 5), следовательно, создаются благоприятные условия для пластической деформации и осуществления процесса схватывания выступов шероховатости контактирующих поверхностей [11, 12]. Процесс передачи крутящего момента от колеса к рельсу сопровождается проскальзыванием, вследствие чего в зоне контакта возникают значительные температурные градиенты, способствующие появлению благоприятных условий для схватывания поверхностей. Излишнее тепловыделение приводит к понижению прочности поверхностных слоев, деструкции связующего в композиционных материалах тормозных колодок локомотивов, термическим напряжениям, диссоциации адсорбированных пленок на металле [13].

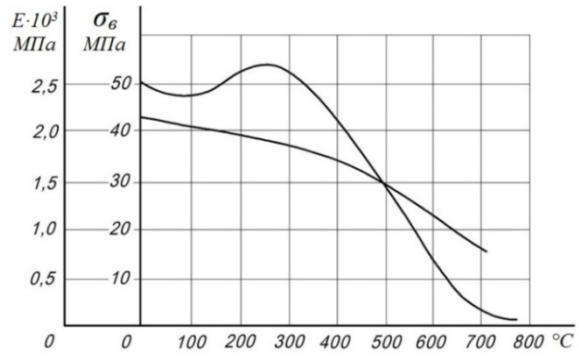



Рис. 5. Влияние температуры на величину предела прочности и модуля упругости стали

В работе [14] проведены стендовые испытания и выполнен анализ коэффициента трения и трибоспектральных характеристик при отсутствии и наличии в зоне фрикционного взаимодействия модельной подсистемы «колесо-рельс» модификаторов трения (рис. 6).

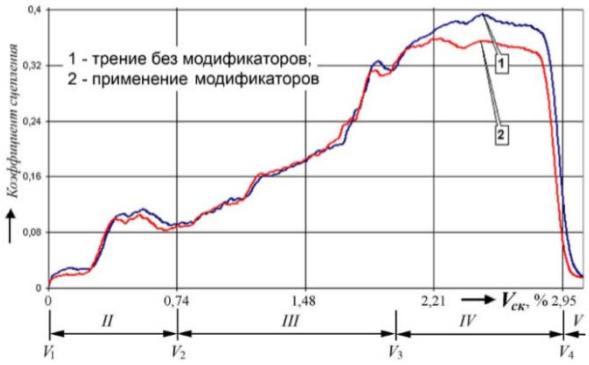



Рис. 6. Кривые изменения коэффициента сцепления во времени как функции скорости относительного скольжения

Как видно из рис.6 зона II представляет собой «трогание» подвижного состава, которая сопровождается периодическим образованием локальных участков фрикционного контакта с положительным и отрицательным градиентом механических свойств. Зона III – реализация тягового усилия локомотива, в которой поверхности трения разогреваются до благоприятной температуры, образуя мостики схватывания, разрыв которых приводит к мгновенному росту тягового усилия. Зона IV – эффективная работа и устойчивость реализации тягового усилия. Зона V – в результате пластических деформаций контактирующих поверхностей и их критического термического нагрева наблюдается падение устойчивости тягового усилия, снижение коэффициента сцепления и наступление боксования. Экспериментальные исследования, проведенные в работе [15], свидетельствуют, что по своему характеру зависимости $f_n = f(\theta)$ (рис.7) могут быть разделены на три самостоятельные зоны, в пределах которых наблюдается различный темп изменения молекулярной составляющей коэффициента трения $f_n$. При изменении температуры $\theta$ от 20° до 200°С (первая зона) наблюдается постоянство $f_n$, что говорит о слабом влиянии температуры на состояние контактного слоя.

Во второй зоне (от 200° до 400°С) происходит резкое снижение $f_n$ и весьма нестабильная зона схватывания. Основной защитой от схватывания служат окисные и иные неметаллические пленки на поверхности трения материалов. При статическом окислении, порог реакции железа равен 350°С, где под понятием «порога реакции» понимается температура, при которой наблюдается значительная скорость образования термодинамически устойчивых окисных соединений, но в процессе трения, когда происходит окисление активированного металла, порог реакции может быть и ниже.

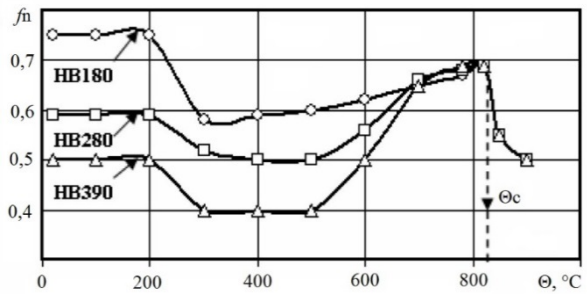



Рис. 7. Влияние температуры подогрева на характер изменения коэффициента трения

При дальнейшем повышении температуры до 800°С (третья зона) наблюдается значительное увеличение $f_n$ до температуры $\theta_c$ структурно-фазового превращения что указывает на качественные изменения, происходящие в зоне контакта исследуемых поверхностей. Для этой зоны характерно контактное схватывание с небольшими пластическими деформациями.

Дальнейшее повышение температуры выше $\theta_c$ значительно снижает предел текучести и резко повышает пластичность контактирующих поверхностей, что приводит разрушению мостиковых узлов спайки между выступами шероховатых поверхностей, вследствие чего при движении локомотива происходит вырывание частиц металла из поверхности колеса или рельса и осуществляется перенос частиц металла с одной поверхности на другую.

Анализ полученных температурных кривых характеристик трения и физико-механических свойств сталей показывает, что при температуре 350°С наблюдается падение значений касательных напряжений и коэффициента трения, но с повышением этой температуры увеличивается диффузионная подвижность атомов и склонность сталей к схватыванию.

По результатам исследований на «Машине трения» в диапазоне скоростей 0,1-0,9 м/с по схеме «вал – частичный подшипник» установлено, что влияние скорости скольжения на коэффициент трения и износ весьма незначительно до тех пор, пока не произойдёт существенного изменения температуры в зоне трения на скользящих контактах [16].

При увеличении скорости скольжения более 1 м/с наблюдается увеличение коэффициента трения. В случае поддержания искусственным путём неизменной температуры на скользящем контакте наблюдается увеличение коэффициента трения, а затем его стабилизация. Если же поддерживать температуру на поверхности и в объёме постоянными, то при повышении скорости максимум коэффициента трения практически не изменяется при постоянной нагрузке, а интенсивность изнашивания останется неизменной.

Согласно исследованиям Лужнова Ю.М. при достижении поверхностной температуры в локальном контакте свыше 450 °С происходит значительное ухудшение механических свойств взаимодействующих поверхностей, что ведет к снижению силы трения и их интенсивному износу [17].

Таким образом, проведенные теоретико-экспериментальных исследования подтвердили тот факт, что именно температура в контакте является важнейшим фактором, который оказывает влияние на весь комплекс служебных свойств контактирующих материалов.

Авторами работы предлагается управление процессом фрикционного взаимодействия трибологического контакта за счет регулирования температуры принудительным охлаждением, что позволит стабилизировать коэффициент сцепления. На основании численных экспериментов и стендовых испытаний установлено, что управляя температурой в зоне трибологического контакта, создаются условия управления процессом сцепления колеса с рельсом, а принудительное обеспечение постоянства температуры в контакте приводит к стабилизации коэффициента сцепления на максимальном уровне [18, 19, 20].

**Выводы.** На основании проведенного анализа теоретических и экспериментальных исследований фрикционного контакта можно утверждать, что управление механической составляющей недостаточно для достижения стабильно высоких тяговых качеств подвижного состава. Поэтому предлагается управление сцеплением трибологической системы «колесо-рельс» за счет управления и контроля локально-механической температурной составляющей в диапазоне от 250 до 450 °С в зависимости от фрикционных условий контакта.

На основании полученных результатов создан алгоритм управления термомеханической нагруженностью локального трибологического контакта, заключающийся в очистке и охлаждении контактирующих поверхностей двухфазным потоком гранул сухого льда и принудительным охлаждением сжатым воздухом с помощью трубки Ранка-Хилша для достижения стабильной температуры в контакте [18].

**Література**

1. Gorbunov M. Research to improve traction and dynamic quality of locomotives / Mykola Gorbunov, Vaclav Pistek, Maksym Kovtanets, Olena Nozhenko, Sergii Kara, Pavel Kučera // JVE International LTD. Vibroengineering Procedia. – 2017. – Vol. 13, ISSN 2345-0533. – P. 159-164.
2. Лисунов В.Н. Коэффициент полезного действия сцепления / В.Н. Лисунов // Межвуз. сб. науч. тр. Омск, 1981. – С. 27-30.
3. Gorbunov M. Supplying system abrasive material with automatic dosing control / M. Gorbunov, V. Píštěk, M. Kovtanets, O. Nozhenko, S. Kara, P. Kučera // Vibroengineering PROCEDIA, Volume 18, 2018. – p. 207-214.
4. Горбунов Н.И. Обеспечение безопасности эксплуатации железнодорожных транспортных средств созданием инновационных решений песочной

системы локомотива / Н.И. Горбунов, М.В. Ковтанец, Н.Н. Горбунов, В.С. Ноженко, Е.А. Кравченко // Наукові вісті Далівського університету. Технічні науки. Електронне наукове фахове видання. №3, 2011. – http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011_3/Tehno/ 11gnipsl.pdf – Дата доступа: 22.12.2011.
5. Gorbunov N. Adhesion control in the system of «wheel-rail» / N. Gorbunov, M. Kovtanets, O. Prosvirova, E. Garkushin // Silesian University of Technology Faculty of Transport (Poland). – Transport Problems, Volume 7, Issue 3, 2012. – P. 15-24.
6. Kostukevich A. Friction interaction management in two-point «wheel-rail» tribocontact / A. Kostukevich, N. Gorbynov, V. Nozgenko, M. Kovtanets, I. Tsiganovski // Silesian University of Technology Faculty of Transport (Poland). – Transport Problems, Volume 7, Issue 3, 2012. – P. 53-59.
7. Ковтанец М.В. Улучшение сцепных характеристик локомотива струйно-абразивным воздействием на зону контакта движущего колеса с рельсом: дис. - канд. техн. наук: 05.22.07 / М.В. Ковтанец; ВНУ им. В. Даля. – Северодонецк, 2015. – 206 с.
8. Костюкевич А.И. Экспериментальная проверка эффективности струйно-абразивного воздействия на рельсы для улучшения фрикционных свойств контакта «колесо-рельс» / А.И. Костюкевич, Н.И. Горбунов, М.В. Ковтанец // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2013. – Ч.1, № 18 (207). – С. 33-37.
9. Костюкевич А.И. Численная и экспериментальная идентификация процесса сцепления колес локомотива с рельсами: дис. - канд. техн. наук: 05.22.07 / А.И. Костюкевич. – Луганск: 1991. – 232 с.
10. Контактно-усталостные повреждения колес грузовых вагонов / Под ред. С.М. Захарова. – М.: Интекст, 2004. – 160 с.
11. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. – Киев: Наукова думка, 1988. – 734 с.
12. Керопян А.М. Развитие теории взаимодействия и обоснование рациональных параметров системы колесо – рельс карьерных локомотивов в режиме тяги: дис. - док. техн. наук: 05.05.06 / А.М. Керопян; ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»». – Екатеринбург, 2015. – 233 с.
13. Основы трибологии (трение, износ, смазка). Учебник для технических вузов / Под ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Центр «Наука и техника», 1995. – 778 с.
14. Озябкин А.Л. Развитие теории и методов динамического мониторинга фрикционных систем железнодорожного транспорта: автореф. дис. - док. техн. наук: 05.02.04 / А.Л. Озябкин; ФГБОУ ВПО РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2014. – 43 с.
15. Праведников И.С. Контактное взаимодействие твердых тел с учетом давления, температуры и твердости / И.С. Праведников. – Уфа: Нефтегазовое дело, 2005. – С. 1-11.
16. Колесников И.В. Системный анализ и синтез процессов, происходящих в металлополимерных узлах трения фрикционного и антифрикционного назначения: дис. - док. техн. наук: 05.02.04 / И.В. Колесников; ФГБОУ ВПО РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2016. – 394 с.
17. Лужнов Ю.М. Сцепление колес с рельсами. Природа и закономерности / Ю.М. Лужнов. – М.: Интекст, 2003. – 144 с.
18. Gorbunov M. The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the «wheel-braking pad-rail» system / M. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtanec, K. Kravchenko // Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. – Zeszyt 114, 2016. – Pp. 115-126.
19. Gerlici J. Slipping and skidding occurrence probability decreasing by means of the friction controlling in the wheel-braking pad and wheel-rail contacts / J. Gerlici, M. Gorgunov, K. Kravchenko, R. Domin, M. Kovtanets, T. Lack // «Manufacturing Technology». April 2017, Vol. 17, No 2. – p. 179-186.
20. Gorbunov M. Development of the theory and methodology of controlling the local tribological contact thermomechanical loading / M. Gorbunov, M. Kovtanets, A. Kostyukevich, V. Nozhenko, G. Vaičiūnas, S. Steišūnas // The proceedings of the 22nd International Scientific Conference. Transport Means 2018, 03-05 October, Trakai, Lithuania. 2018. – P. 1383-1388.
21. Gorbunov M. Experimental study of the influence of friction surfaces cooling parameters on the efficiency of the braking system of a railway vehicle operation / M. Gorbunov, O. Prosvirova, M. Kovtanets, V. Nozhenko, G. Bureika, V. Skrickij // The proceedings of the 22nd International Scientific Conference. Transport Means 2018, 03-05 October, Trakai, Lithuania. 2018. – P. 1435-1438.

**References**

1. Gorbunov M. Research to improve traction and dynamic quality of locomotives / M. Gorbunov, V. Pistek, M. Kovtanets, O. Nozhenko, S. Kara, P. Kučera // JVE International LTD. Vibroengineering Procedia, 2017. Vol. 13, ISSN 2345-0533. – P. 159-164.
2. Lisunov V.N. 1981. Coefficient of efficiency of adhesion / V.N. Lisunov // Interuniversity. Omsk. P. 27-30.
3. Gorbunov M. Supplying system abrasive material with automatic dosing control / M. Gorbunov, V. Píštěk, M. Kovtanets, O. Nozhenko, S. Kara, P. Kučera // Vibroengineering PROCEDIA, 2018, Volume 18. – P. 207-214.
4. Gorbunov N.I. Maintenance of safety of operation of railway vehicles by creation of innovative decisions of sand locomotive system / N.I. Gorbunov, N.N. Kovtanets, N.N. Gorbunov, V.S. Nozhenko, E.A. Kravchenko // Scientific news from the University of Dahlia. Technical sciences. Electronic scientific professional edition. 2011, №3, http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011-3/Tehno/11gnipsl.pdf – Дата доступа: 22.12.2011.
5. Gorbunov N. Adhesion control in the system of «wheel-rail» / N. Gorbunov, M. Kovtanets, O. Prosvirova, E. Garkushin // Silesian University of Technology Faculty of Transport (Poland). – Transport Problems, 2012, Volume 7, Issue 3. P. 15-24.
6. Kostukevich A. Friction interaction management in two-point «wheel-rail» tribocontact / A. Kostukevich, N. Gorbynov, V. Nozgenko, M. Kovtanets, I. Tsiganovski // Silesian University of Technology Faculty of Transport (Poland). – Transport Problems, Volume 7, Issue 3. P. 53-59.
7. Kovtanets M.V. Improvement of the adhesion characteristics of the locomotive jet abrasive effect on the contact zone of the driving wheel and the rail / M.V. Kovtanets //. dis. candidate tech sciences: 05.22.07, Severodonetsk.

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. 2015. – 206 p.
8. Kostukevich A.I. Experimental verification of the effectiveness of the jet-abrasive impact on the rails to improve the friction properties of the wheel-rail contact / A.I. Kostukevich, N.I. Gorbunov, M.V. Kovtanets // Bulletin of SNU them. V. Dahl. 2013, Part 1, No. 18 (207). P. 33-37.
9. Kostukevich A.I. Numerical and experimental identification of the process of engagement of locomotive wheels with rails / A.I. Kostukevich // dis. candidate tech sciences: 05.22.07, Lugansk. 1991. – 232 p.
10. Zakharov S.M. Contact-fatigue damage to the wheels of freight cars / S.M. Zakharov // Moscow: Intext. 2004. – 160 p.
11. Pisarenko G.S. Handbook on materials resistance / G.S. Pisarenko, A.P. Yakovlev, V.V. Matveyev // Kyiv: Scientific opinion. 1998. – 734 p.
12. Keropian A.M. Development of the theory of interaction and substantiation of rational parameters of the wheel - rail system of career locomotives in traction mode / A.M. Keropian // dis. dock tech sciences: 05.05.06. National Research Technological University «MISiS». Yekaterinburg. 2015. – 233 p.
13. Chichyadze A.V. Fundamentals of tribology (friction, wear, lubrication) / A.V. Chichyadze // Textbook for technical high schools. Moscow: Center «Science and Technology». 1995. – 778 p.
14. Ozyabkin A.L. The development of theory and methods of dynamic monitoring of friction systems of railway transport / A.L. Ozyabkin // dis dock tech sciences: 05.02.04. FGBOOU VPO RGUPS. Rostov-on-Don. 2014. – 43 p.
15. Pravednykov I.S. The Contact Interaction of solid bodies with uchetom pressure, temperature and hardness / I.S. Pravednykov // Oil and Gas Business. Ufa. 2005. – P. 1-11.
16. Kolesnikov I.V. Systems analysis and synthesis processes, proyshodyaschyh a metal-polymer friction units fryktsyonnoho and antyfryktsyonnoho purpose / I.V. Kolesnikov // dis. dock tech sciences: 05.02.04. FGBOOU VPO RGUPS. Rostov-on-Don. 2016. – 394 p.
17. Luzhnov Yu.M. Engaging wheels with rails. Nature and regularities / Luzhnov Yu.M. // Moscow: Intext. 2003. – 144 p.
18. Gorbunov M. The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the «wheel-braking pad-rail» system / M. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtanec, K. Kravchenko // Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. – Zeszyt 114. 2016. – P. 115-126.
19. Gerlici J. Slipping and skidding occurrence probability decreasing by means of the friction controlling in the wheel-braking pad and wheel-rail contacts / J. Gerlici, M. Gorgunov, K. Kravchenko, R. Domin, M. Kovtanets, T. Lack // «Manufacturing Technology». Vol. 17, No 2. 2017. – P. 179-186.
20. Gorbunov M. Development of the theory and methodology of controlling the local tribological contact thermomechanical loading / M. Gorbunov, M. Kovtanets, A. Kostyukevich, V. Nozhenko, G. Vaičiūnas, S. Steišūnas // The proceedings of the 22nd International Scientific Conference. Transport Means 2018, 03-05 October, Trakai, Lithuania. 2018. – P. 1383-1388.
21. Gorbunov M. Experimental study of the influence of friction surfaces cooling parameters on the efficiency of the braking system of a railway vehicle operation / M. Gorbunov, O. Prosvirova, M. Kovtanets, V. Nozhenko, G. Bureika, V. Skrickij // The proceedings of the 22nd International Scientific Conference. Transport Means 2018, 03-05 October, Trakai, Lithuania. 2018. – P. 1435-1438.

**Горбунов М.І., Ковтанець М.В., Ковтанець Т.М., Просвірова О.В. Розвиток теорії та методології управління термомеханічною навантаженістю локального трибологічного контакту.**

*Проведено теоретико-експериментальні дослідження, які підтвердили той факт, що саме температура у контакті є найважливішим фактором, який впливає на весь комплекс службових властивостей контактуючих матеріалів. Авторами роботи пропонується управління процесом фрикційної взаємодії трибологічного контакту за рахунок регулювання температури примусовим охолодженням, що дозволить стабілізувати коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою. Створено алгоритм управління термомеханічною навантаженістю локального трибологічного контакту, що полягає в очищенні і охолодженні контактуючих поверхонь двофазним потоком гранул сухого льоду і примусовим охолодженням стисненим повітрям за допомогою трубки Ранка-Хілша.*

***Ключові слова:*** *залізничний транспорт, коефіцієнт зчеплення, температура, охолодження, управління.*

**Gorbunov N., Kovtanets M., Kovtanets T., Prosvirova O. Development of the theory and methodology of controlling the local tribological contact thermomechanical loading.**

*Theoretical and experimental studies have been carried out, which confirmed the fact that the contact temperature is the most important factor affecting the entire complex of service properties of the contacting materials. The authors of the paper propose the control of the frictional interaction of the tribological contact by controlling the temperature by forced cooling, which will stabilize the coefficient of engagement of the wheel with the rail. An algorithm has been created for controlling the thermomechanical loading of a local tribological contact, which consists in cleaning and cooling contacting surfaces with a two-phase flow of dry ice granules and forced cooling with compressed air using a Ranka-Hilsch tube.*

***Keywords:*** *rail transport, clutch coefficient, temperature, cooling, clutch control.*

**Горбунов М.І.** – д.т.н., проф., завідувач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк.
**Ковтанець М.В.** – к.т.н., доц. кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк.
**Ковтанець Т.М.** – аспірант кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк.
**Просвірова О.В.** – к.т.н., старший викладач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк.

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Марченко Д.М.***

Стаття подана 15.04.2019

УДК 004.93:004.02

# ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ ПОШУКУ ГРУП ІДЕНТИЧНИХ КЛАСИФІКАЦІЙ В БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ

**Захожай О.І., Лифар В.О., Батурін О.І.**

# THE DECISION MAKING BY THE FINDING OF GROUPS WITH IDENTICAL CLASSIFICATION IN MULTIPARAMETRIC COMBINED PATTERNS RECOGNITION SYSTEMS

**Zakhozhay O., Lyfar V., Baturin O.**

*Багатопараметричні комбіновані системи розпізнавання образів дозволяють отримувати рішення на основі аналізу сукупності образів різної природи виникнення, що забезпечує достовірний результат за умови широкого діапазону змін вхідних даних, а також різного прояву завад і викривлень. Однак, наявність сукупності образів, може призводити до отримання неоднозначного результату, коли за різними образами отримується різна класифікація. Основні причини тому – не досить чіткий поділ класів, наявність викривлень відображення ознак об'єктів розпізнавання, неповний опис об'єктів, коли рішення приймається на основі часткової невизначеності. Таким чином, головною метою роботи є розробка методу прийняття рішень в багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання образів, який дозволяє у бідь-який момент часу визначати найдостовірніше рішення. Розроблений метод базується на тому, що в багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання кожен образ характеризує один і той самий об'єкт розпізнавання. Згідно методу, визначаються групи образів, що вказують на ідентичну класифікацію, а надалі здійснюється ранжування цих груп за показниками кількості образів, що входять до кожної з них. В результаті ранжування визначається найдостовірніший результат обробки даних.*

***Ключові слова:*** *системи розпізнавання образів, методи прийняття рішень, ранжування даних, достовірність розпізнавання, алгоритми обробки даних, інженерія програмного забезпечення, інформаційні технології.*

**Вступ.**

Розпізнавання образів широко використовується в системах автоматизованої обробки даних та прийняття рішень, особливо у випадках, коли об'єкт, що підлягає аналізу, представляє собою складну систему для якої відсутня можливість створення математичної моделі або ця модель достатньо переускладнена та її практичне використання для обробки і прийняття рішень пов'язано зі значними труднощами [1-4].

Апарат розпізнавання образів широко використовується для реалізації управління за станом складних систем [1-3], що на сучасному етапі розвитку техніки і технологій є достатньо поширеним.

Незважаючи на досить стрімкий розвиток методів та інформаційних технологій обробки даних та прийняття рішень, зокрема на основі апарату розпізнавання образів, існує ряд проблем, які обмежують сферу та умови їхнього використання. Зокрема, одна з таких проблем викликана наявністю наступного протиріччя [5]. Намагання підвищити достовірність розпізнавання призводить до необхідності ускладнення алгоритмів обробки даних, використання алгоритмів бустингу, що, в свою чергу, призводить до збільшення часової складності процесу прийняття рішення. Таким чином, збільшується проміжок часу між отриманням вхідних даних та формуванням остаточного достовірного рішення. При цьому, слід зазначити, що несвоєчасне отримання рішення щодо розпізнавання значно знижує його достовірність для реалізації управлінських рішень.

Постійне ускладнення об'єктів інформатизації призводить до збільшення кількості даних, що підлягають обробці і, як наслідок, до ускладнення алгоритмів обробки. Крім цього, у випадку динамічності змін умов отримання вхідних даних та наявності різноманітних перешкод та викривлень, завдання обробки додатково ускладняється за рахунок необхідності впровадження додаткових алгоритмів попередньої обробки даних, виділення перешкод та ін. Ці негативні аспекти призводять до того, що практичне впровадження систем обробки даних на основі інтелектуальних алгоритмів розпізнавання образів здійснюється для чітко обмежених умов зовнішнього середовища, рівня та динаміки зміни перешкод. Питання же побудови універсальних систем обробки даних на основі апарату розпізнавання образів,

які дозволяли би оперативно формувати достовірні рішення за широких змін умов спостереження за об'єктом інформатизації, залишається актуальним та остаточно невирішеним.

Основні підходи щодо підвищення достовірності та оперативності прийняття рішень пов'язані зі спеціалізацією систем та обмеженням умов їхнього використання [6-9], а також збільшенням продуктивності апаратного забезпечення обчислювальних систем, що дозволяє певною мірою зменшити час обробки даних та підвищити оперативність прийняття рішень за умови зберігання достатнього рівня достовірності. Однак, необхідність використання більш продуктивних обчислювальних систем також звужує сферу можливого використання, так як накладає додаткові обмеження на автономність та компактність таких систем [5].

Виходячи з вищезгаданого можна зробити висновок, що подальше вдосконалення методів і алгоритмів обробки даних та прийняття рішень на основі апарату розпізнавання образів є актуальною науково технічною задачею, розв'язання якої дозволить підвищити якість функціонування систем автоматизованої обробки інформації різноманітного застосування.

**Аналіз питання та постановка завдання.**

На сьогодень, відомий достатньо широкий спектр методів прийняття рішень щодо класифікації в системах розпізнавання, починаючи з класичних підходів статистичних оцінок та використання асимптотичних вирішальних правил, що достатньо докладно знайшли своє обґрунтування в статистичній теорії Вапніка-Червоненкіса [1, 3, 4, 6]. Також була розроблена достатньо велика кількість методів аналізу даних різного характеру інформації, що надаються для прийняття рішень: детермінованих, імовірнісних, логічних та структурних. Такі методи докладно розглянуті у роботах [1, 3, 7, 9-13]. Аналіз цих методів вказує, що достовірність рішення щодо класифікації значною мірою залежить від кількості інформаційних ознак, які надаються для аналізу та прийняття рішення, а також рівня їхньої інформативності [14, 15].

Для розширення інформаційного полю ознак, за якими отримується рішення, Журавлевим Ю.І. були запропоновані комбіновані системи розпізнавання образів, в яких ознаки об'єктів розпізнавання можуть мати різний характер інформації: детерміновані, імовірнісні, логічні та структурі, для аналізу яких та прийняття рішення використовуються алгоритми обчислення оцінок, колективи вирішальних правил [16, 17] та ін. Однак, збільшення кількості інформаційних ознак, дозволяє певною мірою підвищити достовірність отримуваних рішень, але, при цьому виникає проблема на якій робився акцент раніше – підвищення часової складності аналізу даних та зниження оперативності прийняття рішення.

В ряді робіт, зокрема [2, 4, 5, 9, 14, 15] пропонується використання багатопараметричних комбінованих систем розпізнавання образів, де на відміну від класичного підходу комбінованих систем, кожен об'єкт розпізнавання представляється не одним, а сукупністю образів, ознаки яких мають різну природу виникнення. Такий підхід дозволяє збільшити кількість інформаційних ознак, які мають різний характер і ступень впливу завад і перешкод, та отримувати достовірні рішення в широкому діапазоні змін умов спостереження за об'єктом розпізнавання. З метою мінімізації часової складності аналізу даних, а також зменшення помилок отримання рішень щодо класифікації, для таких систем запропоновано проводити селекцію інформативних ознак об'єкту розпізнавання та усунення від процесу прийняття рішень тих даних, які мають найбільший прояв викривлень та перешкод [2, 9, 15]. В цьому випадку, у відповідності до поточного стану спостереження об'єкту розпізнавання, селекція дозволяє усунути від аналізу менш інформативні дані та забезпечити прийняття рішення на основі меншої сукупності, але найбільш інформативних даних.

В багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання образів існує два підходи до аналізу та прийняття рішення: спільний та роздільний аналіз інформаційних ознак [5, 18].

При спільному аналізі, отримана сукупність образів об'єкту розпізнавання поєднується у загальний образ і, надалі, обробка і прийняття рішення може здійснюватися будь-якими класичними методами. В цьому випадку, багатопараметрична система розпізнавання образів, фактично, зводиться до класичного опису комбінованих систем, але з розширеною сукупністю інформаційних ознак. Але, в цьому випадку, ускладняється процес селекції інформаційних ознак, що негативно відбивається на часовій складності аналізу та прийняття рішення.

Усі переваги багатопараметричних комбінованих систем розпізнавання можна отримати у випадку використання роздільного аналізу [18], коли отримані образи об'єкту розпізнавання аналізуються окремо. В цьому випадку, селекція може бути здійснена на рівні виключення не окремих ознак, а найменш інформативних образів. Тобто, виключення неінформативного (за поточних умов спостереження) образу, автоматично призводить до виключення усієї відповідної сукупності ознак. Це значно спрощує алгоритм селекції та зменшує його часову складність. При цьому, для прийняття рішення щодо класифікації може бути використане одне з наступних вирішальних правил:

1) об'єкт розпізнавання відноситься до класу (з наявної сукупності апріорно визначених), до якого за одним з образів отримується мінімальна відстань;

2) об'єкт розпізнавання відноситься до визначеного класу, якщо за одним або декількома образами досягається значення відстані, яке не перевищує апріорно заданого;

3) об'єкт розпізнавання відноситься до того класу, з сукупності апріорно визначених, на який

вказує класифікація за більшістю образів з наявної сукупності.

Якщо мається хороша роз'єднувальність класів, задача прийняття рішення щодо класифікації вирішується достатньо просто, так як може бути отриманий однозначний результат, коли кожен образ з наявної сукупності буде вказувати на віднесення до одного й того самого класу. В цьому випадку, може бути використане перше вирішальне правило, яке дозволить отримати однозначний результат з високим ступенем достовірності. Але, на практиці, така ідеальна ситуація спостерігається не завжди, і обмеженість опису об'єкта розпізнавання, а також викривлення його характеристик, може призвести до того, що різні образи об'єкту розпізнавання будуть вказувати на класифікацією за декількома різними класами.

Таким чином, наведений аналіз вказує на достатньо актуальну задачу розробки нового методу прийняття рішень в багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання, який дозволив би визначати найбільш достовірний результат класифікації у випадку слабої роз'єднувальності класів, а також виникнення неоднозначного результату віднесення образів об'єкту розпізнавання до різних класів.

**Вирішення задачі.**

Для вирішення поставленої задачі, пропонується використання зваженого голосування коли об'єкт розпізнавання відноситься до визначеного класу в тому випадку, коли така класифікація підтверджується за більшістю образів. Тобто для кожного з $m$ визначених класів визначається характеристика $N(C_m)$ яка відповідає кількості образів, що вказують на класифікацію об'єкту розпізнавання до цього класу. Остаточно об'єкт розпізнавання відноситься до того класу, для якого характеристика $N(C_m)$ має максимальне значення. На рисунку розроблений метод пошуку груп ідентичних класифікацій, в результаті якого отримується масив $N$ результатів класифікації у вигляді

$$N = \begin{bmatrix} N(C_1) \\ N(C_2) \\ \dots \\ N(C_m) \end{bmatrix}, \qquad (1)$$

де $N(C_1)$-$N(C_m)$ – характеристики кількості ідентичних класифікацій по кожному з $m$ класів.

Згідно такого методу, спочатку здійснюється ініціалізація масиву $N$, кожен елемент якого буде відповідати кількості образів, за якими об'єкт розпізнавання відноситься до відповідного класу (тобто елементи характеризують $N(C_1)\dots N(C_m)$). Очевидно, що розмірність масиву $N$ дорівнює кількості класів $m$ за якими може бути здійсненний розподіл. За умовчанням, кожному елементу масиву привласнюється початкове нульове значення.

Надалі, в процесі аналізу інформативних ознак об'єкту розпізнавання, характеристики $N(C_1)$-$N(C_m)$ будуть збільшуватися до шуканих значень. Таким чином, організовується цикл для перебирання усіх образів у багатопараметричній комбінованій системі розпізнавання, за якими здійснюється класифікація. В цьому циклі, у відповідності до отриманої класифікації за поточним образом, збільшується один з елементів масиву $N$, що відповідає обраному класу. Таким чином, після завершення циклу, кожен елемент $N$ буде містити значення, що відповідає кількості образів, за якими об'єкт розпізнавання відноситься до відповідного класу з наявної сукупності $C_m$. Діапазон значень, які можуть приймати елементи масиву

$$N[i] \in [0;k], i = 1,2,...,m, \qquad (2)$$

де $k$ – кількість образів об'єкта розпізнавання;

$m$ – кількість передвизначених класів.

На основі отриманого масиву $N$, з використанням тривіального алгоритму пошуку максимального елемента, може бути знайдене остаточне рішення щодо класифікації, відповідно до критерія

$$P_k \in C_m, \max N(C_m). \qquad (3)$$

Фактично, елементи масиву $N$ характеризують ступень достовірності здійснення класифікації наданого об'єкта розпізнавання. Якщо в результаті використання алгоритму зворотного сортування $N$ отримується масив $N^S$ то його елементи будуть розміщатися у порядку зменшення достовірності відповідної класифікації

$$N^S = \begin{bmatrix} \max N(C_m) \\ \dots \\ \dots \\ \min N(C_m) \end{bmatrix}. \qquad (4)$$

Тобто, найбільш достовірне рішення щодо класифікації буде відповідати елементу max $N(C_m)$, а найменш достовірне – елементу min $N(C_m)$.

Особливий інтерес мають групи образів, що формують характеристики $N(C_m)$ (в методі представляються елементами масиву $N$). З погляду на те, що кількість образів, за якими об'єкт розпізнавання відноситься до визначеного класу, напряму впливає на достовірність, то очевидно, що групи цих образів за характеристикою $N(C_m)$ ранжуються за ознакою інформативності. Тобто, образи, що входять у найчисельнішу групу, за поточних умов спостереження об'єкта розпізнавання мають найвищу інформативність. Таким чином, визначення характеристик $N(C_m)$ дозволяє вирішити додаткову задачу селекції образів за ознакою інформативності. У подальшому, образи, що утворюють групи з меншими характеристиками $N(C_m)$ та дають інші результати класифікації, можуть бути усунені від розпізнавання.

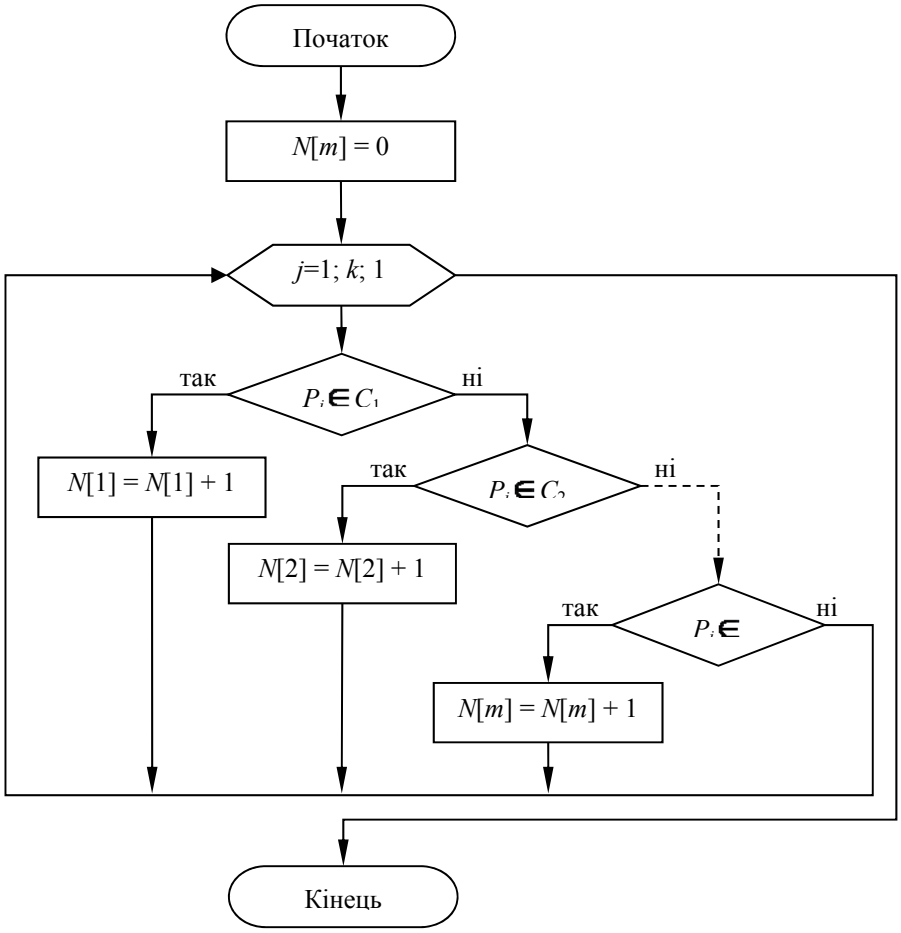



Рис. Ілюстрація методу пошуку груп ідентичних класифікацій

У випадку абсолютного розподілу класів, усі наявні образи дозволять віднести об‘єкт розпізнавання до одного й того ж самого класу *Cg*. В цьому випадку буде досягнута максимальна достовірність розпізнавання. Критерій максимальної достовірності розпізнавання буде мати вигляд

$$D_{\max} \Leftrightarrow \begin{cases} \forall P_i \in \{P\}, P_i \in C_g, \\ N[g] = k, \\ \forall i \neq g, N[i] = 0, \end{cases} \quad (5)$$

де k – кількість образів, що описують об’єкт розпізнавання;

*Cg* – клас, відношення до якого вказують наявні образи об’єкта розпізнавання;

*N*[*g*] – елемент масиву *N* груп ідентичних класифікацій, який характеризує кількість образів, що вказують на відношення об’єкту розпізнавання до класу *Cg*.

Однак, за реальних умов спостереження за об‘єктом інформаційного процесу, критерій (5) є асимптотичним, так як на практиці часто має місце недостатній опис об‘єкта розпізнавання, наявні викривлення відображення його характеристик у просторі образів, а також недосконаліть систем реєстрації та вимірювання цих характеристик. Все це може призвести до неоднозначності класифікації. В цьому випадку, достовірність розпізнавання буде визначатися за умови

$$D \Leftrightarrow \begin{cases} \exists P_i \in \{P\}, P_i \in C_g, \\ N[g] < k, \\ \forall i \neq g, N[i] \neq 0. \end{cases} \quad (6)$$

В цьому випадку, найбільш достовірне рішення класифікації може бути знайдене за максимальним значенням характеристики $N(C_m)$ (максимального значення елемента масиву *N* розмірністю *m*).

Таким чином, за максимумом характеристики $N(C_m)$ приймається остаточне рішення щодо розпізнавання об‘єкта інформаційного процесу, так як більшість образів, що описують об'єкт розпізнавання вказують саме на такий результат класифікації.

Якщо враховувати той факт, що кожній характеристиці $N(C_m)$ однозначно співставляється відповідна група образів з ідентичною класифікацією, то сортування *N* призводить до упорядкування груп образів з ідентичною класифікацією у відповідності до рівня достовірності розпізнавання.

Таким чином, на основі принципу роздільного аналізу інформаційних ознак, запропонований новий метод прийняття рішень в багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання, який дозво-

ляє визначати найбільш достовірний результат класифікації у випадку слабої роз'єднувальності класів, а також виникнення неоднозначного результату віднесення образів об'єкту розпізнавання до різних класів.

Запропонований метод може також бути використаний для апріорного визначення груп образів об'єкту розпізнавання, що за поточних умов спостереження, дозволяють отримати найдостовірніший результат класифікації. З цією метою, підчас синтезу інформаційної технології прийняття рішення на основі багатопараметричних комбінованих систем розпізнавання образів, за різних умов навколишнього середовища для об'єкта пред'являють репрезентативні образи. В результаті, для кожних умов спостереження, на основі експертної оцінки, визначаються характеристики $N(C_m)$, які відповідають достатньому рівню достовірності отримуваного результату. Надалі, відповідно до (4) здійснюється ранжування груп образів за рівнем інформативності та фіксується, які групи образів більш інформативні за поточних умов, або менш інформативні. В подальшому у життєвому циклі системи, та з урахуванням наявних умов спостереження, менш інформативні групи образів усуваються від розпізнавання.

Таким чином, у будь-який момент часу процес розпізнавання базується на аналізі меншої кількості образів найбільш інформативних груп, що забезпечує зменшення часової складності аналізу та прийняття управлінських рішень, при одночасному збереженні високого рівня достовірності.

Розроблений метод прийняття рішення був використаний для побудови інформаційної технології обробки даних ультразвукового вимірювання лінійної відстані для засобів автоматики [19, 20]. В результаті було отримано значення статистичної достовірності розпізнавання на рівні 94,2% при одночасному зниженні часової складності аналізу даних на 18%.

**Висновки.**

Основні результати, представлені в статті, полягають в наступному.

1. Розроблений новий метод прийняття рішень в багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання, який оснований на пошуку груп ідентичних класифікацій та дозволяє визначати найбільш достовірний результат класифікації у випадку слабої роз'єднувальності класів, а також виникнення неоднозначного результату віднесення образів об'єкту розпізнавання до різних класів.

2. Запропонований метод був використаний для побудови інформаційної технології обробки даних ультразвукового вимірювання лінійної відстані для засобів автоматики, що дозволило забезпечити достатній рівень статистичної достовірності розпізнавання при одночасному зниженні часової складності аналізу даних та прийняття рішення.

3. В контексті подальшого напрямку досліджень, доцільним є розробка методу селекції інформативних образів на основі визначених груп образів з ідентичною класифікацією.

**Література**


1. Симанков В. С. Адаптивное управление сложными системами на основе теории распознавания образов: Монография (научное издание) / В.С. Симанков, Е.В. Луценко. – Краснодар: Техн. ун-т Кубан. гос. технол. ун-та, 1999. – 318 с.
2. Захожай О.І. Інформаційна технологія розпізнавання образів в задачах автоматизованої обробки інформації й управління складними системами / О.І. Захожай // Журнал «Проблеми інформаційних технологій», 2013. – № 01 (013). – С. 61-68.
3. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний / Н.Г. Загоруйко. – Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1999. – 270 с.
4. Рябенький В.М. Комбіновані системи розпізнавання образів / В.М. Рябенький, О.І. Захожай // Журнал «Проблеми інформаційних технологій», 2011. – С. 156-160.
5. Захожай О.І. Спільний аналіз інформаційних ознак у багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання образів / О.І. Захожай // Електротехнічні та комп'ютерні системи, 2019. – № 27(103). – С. 78-86.
6. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации. / Я.З. Цыпкин. – М.: Наука, 1984. –520 с.
7. Горелик А.Л. Методы распознавания. Изд. 2. / А.Л. Горелик, В.А. Скрипкин. – М.: Высшая школа, 1984. – 219 с.
8. Дуда Р. Распознавание образов и анализ сцен: Пер. с англ. / Р. Дуда, П. Харт. – М.: Мир, 1978. – 510 с.
9. Захожай О.І. Селекція раціональної сукупності образів в комбінованих системах розпізнавання / О.І. Захожай // Електротехнічні та комп'ютерні системи, 2013. – № 09(85). – С. 186-192.
10. Кочетков Д.В. Распознающие алгоритмы, инвариантные относительно преобразований пространства признаков / Д.В. Кочетков // Распознавание, классификация, прогноз: Мат. методы и их применение. – М.: Наука, 1989. – Вып. 11. – С. 178-206.
11. Фу К. Структурные методы в распознавании образов: Пер.с англ. / К. Фу. – М.: Мир, 1977. – 320 с.
12. Васильев В.И. Распознающие системы: Справочник / В.И. Васильев. – К.: Наукова думка, 1983. – 230 с.
13. Ту Дж. Принципы распознавания образов: Пер. с англ. / Дж. Ту, Р. Гонсалез. – М.: Мир, 1978. – 410 с.
14. Захожай О.І. Спосіб розпізнавання образів / О.І. Захожай, О.С. Меняйленко, П.І. Бідюк // Патент на корисну модель № 100078 МПК (2015.01) G06K 9/00; опубл. 10.07.2015, бюл. №13.
15. Захожай О.І. Критерії визначення інформативності та ранжування образів при прийнятті рішень в багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання / О.І. Захожай // Електротехнічні та комп'ютерні системи, 2018. – № 27(103). – С. 196-204.
16. Журавлев Ю.И. Распознавание. Математические методы. Программная система. Практические применения. / Ю.И. Журавлев, В.В. Рязанов, О.В. Сенько. – М: Фазис, 2005. – 159 с.
17. Барабаш Ю.Л. Коллективные статистические решения при распознавании / Ю.Л. Барабаш. – М.: Радио и связь, 1983. – 224 с.
18. Захожай О.І. Концепція подальшого вдосконалення теоретико-методологічних основ синтезу інформаційних технологій автоматизованої обробки інформації і управління складними системами / О.І. Захожай // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2018. – №6(246). – С. 49-55.

19. Захожай О.І. Пристрій вимірювання відстані за допомогою ультразвуку / О.І. Захожай, О.С. Меняйленко // Патент на корисну модель № 93963 МПК (2006.01) G01S 7/52, G01S 15/14; опубл. 27.10.2014, бюл. №20.
20. Меняйленко О.С. Інформаційна технологія автоматизованої обробки даних в багатоканальних системах ультразвукового вимірювання / О.С. Меняйленко, О.І. Захожай // Наукові вісті Національного університету України «Київський політехнічний інститут», 2014. – № 6(98). – С. 62-67.

**References**

1. Simankov V. S. Adoptive controlling of complex systems on theory of patterns recognition: Monography (scientific publication) / V. S. Simankov, E. V. Lutsenko. – Krasnodar: Techn. Univ. Kuban State Technol. univ, 1999. – 318 p.
2. Zakhozhay O. I. Information technology of patterns recognition in tasks of automated information processing and complex systems controlling / O.I. Zakhozhay // Journal «Problems of information technologies», 2013. – № 01 (013). – P. 61-68.
3. Zagoruyko N. G. Applied methods of data and knowledge analysis / N. G. Zagoruyko. – Novosibirsk: Publ. Inst. of mathematics, 1999. – 270 p.
4. Ryabenkiy V. M. Combined systems of patterns recognition / V. M. Ryabenkiy, O. I. Zakhozhay // Journal «Problems of information technologies», 2011. – P. 156-160.
5. Zakhozhay O. I. Joint analysis of informational signs in multi-parametric combined patterns recognition systems / O.I. Zakhozhay // Electrotechnical and computer systems, 2019. – № 27(103). – P. 78-86.
6. Tsypkin Ya. Z. Base of information technology of identification. / Ya. Z. Tsypkin. – M.: Nauka, 1984. –520 p.
7. Gorelik A. L. Recognition methods. Ed. 2. / A. L. Gorelik, V. A. Skripkin. – M.: Vyshaya shkola, 1984. – 219 p.
8. Duda R. Patterns recognition and scene analysis: Trans. from eng. / R. Duda, P. Hart. – M.: Mir, 1978. – 510 p.
9. Zakhozhay O. I. The rational aggregate selection of informative patterns in the combined recognition systems / O. I. Zakhozhay // Electrotechnical and computer systems, 2013. – 09(85). – P. 186-192.
10. Kochetkov D. V. Recognition algorithms that invariantly relatively signs space transformation / D. V. Kochetkov // Recognition, classification, forecast: Math. methods and their using. – M.: Nauka, 1989. – Ed. 11. – P. 178-206.
11. Fu K. Structure methods in patterns recognition: Trans. from eng. / K. Fu. – M.: Mir, 1977. – 320 p.
12. Vasilev V. I. Recognition systems: Directory / V. I. Vasilev. – K.: Naukova dumka, 1983. – 230 p.
13. Tu J. Principe of patterns recognition: Trans. from eng. / J. Tu, R. Gonsalez. – M.: Mir, 1978. – 410 p.
14. Zakhozhay O. I. Method of patterns recognition/ O. I. Zakhozhay, O. S. Menyaylenko, P. S. Bidyuk // Patient of Ukraine 100078 IPC (2015.01) G06K 9/00; publ. 10.07.2015, bull. 13.
15. Zakhozhay O. I. Criteria for the determination of informativity and patterns ranking for making decisions in multiparametric combined recognition systems / O. I. Zakhozhay // Electrotechnical and computer systems, 2018. – 27(103). – P. 196-204.
16. Zhuravlyov Yu. I. Recognition. Mathematical methods. Program system. Practical using. / Yu. I. Zhuravlyov, V. V. Рязанов, O. V. Senko. – M: Phasis, 2005. – 159 p.
17. Barabash Yu. L. Collective statistic solving in time recognition / Yu. L. Barabash. – M.: Radio i svyaz, 1983. – 224 p.
18. Zakhozhay O. I. The concept of improving the theoretical and methodological foundations of synthesis information technologies for automated information processing and complex systems controlling / O. I. Zakhozhay // Bulletin of Volodymyr Dahl East Ukrainian University, 2018. – № 6(246). – P. 49-55.
19. Zakhozhay O. I. Ultrasonic device for linear distance measurement / O. I. Zakhozhay, O. S. Menyaylenko // Patient of Ukraine 93963 IPC (2006.01) G01S 7/52, G01S 15/14; publ. 27.10.2014, bull. №20.
20. Menyaylenko O. S. The information technology of automated data processing in the multi-channel ultrasonic measurement systems / O. S. Menyaylenko, O. I. Zakhozhay // Research Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", 2014. – № 6(98). – P. 62-67.

**Захожай О.И., Лыфарь В.А., Батурин А.И. Принятие решений на основе поиска групп идентичных классификаций в многопараметрических комбинированных системах распознавания образов.**

*Многопараметрические комбинированные системы распознавания образов позволяют получать решения на основе анализа совокупности образов различной природы возникновения, что обеспечивает достоверный результат при условии широкого диапазона изменений входных данных, а также различного проявления помех и искажений. Однако, наличие совокупности образов, может приводить к получению неоднозначного результата, когда по разным образам получается различный результат классификации. Основные причины этого - недостаточно четкое разделение классов, наличие искажений отображения признаков объектов распознавания, неполное описание объектов, когда решение принимается на основе частичной неопределенности. Таким образом, главной целью работы является разработка метода принятия решений в многопараметрических комбинированных системах распознавания образов, который позволяет в любой момент времени принимать наиболее достоверное решение. Разработанный метод основан на том, что в многопараметрических комбинированных системах распознавания каждый образ характеризует один и тот же объект распознавания. В соответствии с методом, определяются группы образов, указывающие на идентичную классификацию, а в дальнейшем осуществляется ранжирование этих групп по показателям количества образов, входящих в каждую из них. В результате ранжирования определяется самый достоверный результат обработки данных.*

***Ключевые слова:*** *системы распознавания образов, методы принятия решений, ранжирование данных, достоверность распознавания, алгоритмы обработки данных, инженерия программного обеспечения, информационные технологии.*

**Zakhozhay O., Lyfar V., Baturin O. The decision making by the finding of groups with identical classification in multiparametric combined patterns recognition systems.**

*Multiparameter combined pattern recognition systems make it possible to obtain solutions based on the analysis of a patterns set of different nature of occurrence. This provides reliable results under the condition of a wide range of changes in input data, and the different manifestations of interference and distortion. However, the presence of a set of patterns can lead to an ambiguous result, when a different classification*

*result is obtained for different patterns. The main reasons for this are the insufficiently clear separation of classes, the presence of distortions in the display of the recognition objects signs, the incomplete description of objects when the decision is made on the basis of partial uncertainty. Thus, the main purpose of the work is to develop a decision-making method in multiparameter combined pattern recognition systems, which allows to make the most reliable decision at any time. The developed method is based on the fact that in multiparameter combined recognition systems any pattern characterizes the same recognition object. In accordance with the method, groups of patterns that indicate an identical classification are determined, and then these groups are ranked according to the number of patterns included in each of them. As a result of ranking, the most reliable result of data processing is determined.*

***Keywords:*** *systems of patterns recognition, decision making methods, data ranking, recognition reliability, data processing algorithms, software engineering, information technologies.*

**Захожай О.І.** – к.т.н., доцент, доцент кафедри програмування та математики Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля,
e-mail: zakhozhay.oleg@gmail.com
**Лифар В.О.** – д.т.н., доцент, завідувач кафедри програмування та математики Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, e-mail: lyfarva61@ukr.net
**Батурін О.І.** – старший викладач кафедри програмування та математики Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, e-mail: aibaturin1973@gmail.com

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Соколов В.І.***

Стаття подана 22.03.2019

УДК 656.25

# ВИБІР НАПРЯМІВ ГАРМОНІЗАЦІЇ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ З МІЖНАРОДНИМИ СТАНДАРТАМИ З ПИТАНЬ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ

**Клюєв С.О.**

# DIRECTIONS CHOICE OF NORMATIVE BASE HARMONIZATION WITH INTERNATIONAL STANDARDS ON FUNCTIONAL SAFETY PROBLEMS

**Kliuiev S.**

*У статті розглянуто параметри безпеки в ході всього циклу існування системи, включаючи етапи розробки, підтвердження безпеки, монтажу, експлуатації та виведення з експлуатації. В якості технічної основи для підтримки забезпечення функціональної безпеки міжнародними та європейськими стандартами розглянуто використання поетапної структури, заснованої на життєвому циклі аналізованої системи. В загальному вигляді визначені рекомендації по використанню певних методів і заходів для методологічної підтримки функціональної безпеки в нормативних документах галузі, і стосуються в основному доказу безпеки систем.*

***Ключові слова:*** *нормативні документи, функціональна безпека, міжнародні стандарти, життєвий цикл, поетапна структура, гармонізація.*

**Вступ.** Збільшення обсягів використання мікропроцесорів в поєднанні зі зміною принципів обробки і передачі даних призводить до значних змін систем управління і забезпечення безпеки залізничних перевезень. Досягти високих вимог з безпеки стислі можна тільки при наявності сучасної нормативної бази, яка регламентує: обсяг організаційно-технічних заходів і порядок їх виконання; структуру і обсяг документації необхідної для відображення достатньої інформації; коло осіб і організацій, що беруть участь в прийнятті рішень про функціональну безпеки, порядок їх взаємодії і взаємної відповідальності [1, 2].

**Постановка проблеми.** Під керівництвом IEC (International Electrotechnical Commission) були розроблені нормативні документи IEC 61508 [3], що встановлюють загальний підхід до всіх видів діяльності і спрямовані на досягнення функціональної безпеки для систем містять електричні, електронні, програмовані електронні компоненти, які використовуються для виконання функцій безпеки. До таких компонентів можна віднести компоненти входять до складу існуючих і розроблюваних стислі. Розроблені нормативні документи дають можливість зрозуміти в якому напрямку і за допомогою яких кроків можна створювати безпечні складні системи для великого числа практичних застосувань. Однак їх не можна використовувати як однозначне керівництво до дії в застосуванні до питань безпеки залізничних перевезень. Нормативні документи, розроблені IEC, носять рекомендаційний характер.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розробку норм по функціональної безпеки на міжнародному рівні здійснює IEC, а в межах країн Європейського союзу, стосовно безпеки руху, зв'язку та інших пристроїв сигналізації - CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization).

Для визначення умов ефективного досягнення безпеки систем управління рухом, зв'язку та інших пристроїв сигналізації, під керівництвом CENELEC були створені такі основні норми:

- застосування на залізничному транспорті - Специфікація і демонстрація надійності, експлуатаційної готовності, ремонтопридатності і безпеки (RAMS) (EN 50126) [4];
- застосування на залізничному транспорті – Програмне забезпечення для систем управління і забезпечення безпеки на залізничному транспорті (EN 50128) [5];
- застосування на залізничному транспорті - Електронні системи, пов'язані із забезпеченням безпеки, призначені для сигналізації (EN 50129) [6];
- застосування на залізничному транспорті - Системи зв'язку сигналізації та обробки даних (EN 50159) [7].

Перераховані стандарти засновані на міжнародних нормах IEC 61508 [3], а також національних директивах в області безпеки, таких як MIL-STD-882 (військовий стандарт США) [8], Def Stan 00-55 (00-56) (військові стандарти Великобританії) [9, 10], Mü 8004 [11] (керівні вказівки Німецьких залізниць)

і вимагають обов'язкового виконання своїх положень.

**Мета статті.** Аналіз стану та визначення напрямів гармонізації міжнародної та галузевої нормативної бази з функціональної безпеки систем залізничної автоматики і телемеханіки.

**Основний зміст.** Для проведення порівняльного аналізу підходів до функціональної безпеки сучасних міжнародних нормативних документів та існуючих галузевих стандартів виділимо актуальні, з власної точки зору, напрямки:

- існуючі принципові відмінності в підходах;
- структура організації процесу забезпечення функціональної безпеки;
- методологічна підтримка заходів для досягнення функціональної безпеки;
- технологічна підтримка розробки безпечних систем;
- документальний супровід процесу розробки.

Перш за все, необхідно відзначити, що міжнародні та європейські нормативні документи IEC 61508 [3], CENELEC вперше пропонують використовувати для аналізу систем критичних до безпеки заснований на ризиках підхід. Це означає, що критерії безпеки встановлюються в залежності від відповідних ризиків. Заснований на ризики підхід або концепція ризику - це комбінація двох елементів: ймовірності, з якою відбувається подія або група подій, що призводять до небезпеки і наслідків небезпечних подій. Залежно від імовірності відмов системи або її елемента і категорії ризику стандартами для досягнення економічної доцільності, при якій витрати на забезпечення безпеки не повинні перевищувати вимоги поставленого завдання, введені чотири класи безпеки. Найбільш високі вимоги пред'являє клас 4, до якого відносяться, наприклад, системи централізації. Нижчий клас 1 виділений для найпростіших додатків з відповідальними функціями. Додатки, які не впливають на безпеку, віднесені до класу 0. Належність до того чи іншого класу безпеки залежить від того, наскільки важкими можуть бути пов'язані з керованим процесом виникненню небезпечних ситуацій, як часто вони можуть виникати, а також від бажаного рівня безпеки [12].

В якості технічної основи для підтримки забезпечення функціональної безпеки міжнародними та європейськими стандартами рекомендується використовувати поетапну структуру, засновану на життєвому циклі аналізованої системи.

Для кожного етапу нормативні документи визначають цілі і завдання, вимоги, які є необхідною умовою досягнення цілей і завдань етапу, способи і методи виконання вимог етапу.

Доказом того, що процес забезпечення функціональної безпеки йде відповідно до певних вимог, служать процедури верифікації, атестації та експертизи, що розробляється. Процедура верифікації виконується на кожному етапі життєвого циклу розроблюваної системи. Вона призначена для доказу виконання завдань, визначених на попередньому етапі, і дозволяє при будь-деталізації завдання дотримуватися основної концепції безпеки. Процедура експертизи проводиться для визначення правильності завдання рівня безпеки аналізованої системі.

Важливою особливістю такого підходу, є те, що він вимагає розгляду параметрів безпеки в ході всього циклу існування системи, включаючи етапи розробки, підтвердження безпеки, монтажу, експлуатації та виведення з експлуатації.

Такий підхід, при якому для досягнення безпеки розроблюваної системи використовується не тільки тестування кінцевого продукту на відповідність вимогам, що пред'являються, а й перевірка самого процесу розробки, дозволяє отримувати більш ефективні результати при створенні систем критичних до безпеки, що підтверджується реальним практичним досвідом зарубіжних фахівців (Японія, Німеччина).

Прийнятий в даний час в галузі підхід до структури розробки систем критичних до безпеки заснований на порядку формування документації супроводу створюваних систем. Концепція безпеки в цьому випадку полягає в доказі безпеки аналізованої системи методами тестування (аналітичного, експериментального, імітаційного і т.д.). гармонізації з міжнародними стандартами в цьому напрямку можна досягти шляхом поетапного переходу до рекомендованої міжнародними нормами структурі процесу забезпечення функціональної безпеки. Вимоги щодо формування додаткової документації, яка визначається процесом, вводяться в існуючу структуру. На наступному етапі здійснюється повний перехід до порядку і обсягом формування регламентованої міжнародними стандартами документації.

Відповідно до заданого класом безпеки методи і заходи, що застосовуються на різних рівнях життєвого циклу системи, в цих документах поетапно посилюються для різних додатків - від щодо некритичних систем до систем з високими вимогами до безпеки. Допустимі процедури і критерії, організовані таким чином, що для перевірки пропонується кілька рівноцінних технологій і методів.

Рекомендації по використанню певних методів і заходів для методологічної підтримки функціональної безпеки в нормативних документах галузі визначені в загальному вигляді, і стосуються в основному доказу безпеки систем. Крім цього застосовуються в галузі методи докази функціональної безпеки на основі схематичного аналізу відмов апаратури, стендових випробувань, імітаційного моделювання відмов складових пристроїв, розрахунків імовірності небезпечного відмови апаратури, широко апробовані для стиснення на релейних компонентах, і недостатньо орієнтовані на доказ безпеки складних програмованих систем. Напрямок вдосконалення і гармонізації методологічної підтримки процесу забезпечення функціональної безпеки полягає, з нашої точки зору, по-перше, в прийнятті структури формування рекомендацій щодо використання методів і заходів, в залежності від пропонованих до системи

вимог безпеки, по-друге, в прийнятті до використання сучасних методів аналізу, розробки та перевірки правильного функціонування, як апаратури, так і, в першу чергу, програмного забезпечення, і, потретє, використання власних напрацювань в цій галузі, наприклад, розроблені під ВНІІАС України: методи аналізу систем на основі напівмарковських методів; методи прискорених натурних випробувань; методи імітаційного моделювання на безпеку складних мікропроцесорних систем з використанням прикладного математичного пакету MATLAB [13].

У плані технологічної підтримки міжнародні та європейські стандарти не пропонують конкретних рішень виконання поставлених вимог безпеки. Тому в рамках технологічної підтримки функціональної безпеки при розробці нових нормативних документів слід орієнтуватися на багатий досвід фахівців галузі з розробки ефективних, оригінальних схематичних рішень забезпечення функціональної безпеки.

Однією з основних проблем при гармонізації є питання про необхідність переходу до нового підходу до формування документації супроводу створюваної системи. Обсяг необхідної документації суттєво збільшується, тому що на кожному етапі життєвого циклу формується вихідна документація етапу, і крім цього формується документ «Доказ безпеки». За оцінками зарубіжних фахівців процес переходу є досить трудомістким, вимагає великих затрат часу, але в кінцевому підсумку виправдовує такі витрати.

Таким чином в порівнянні з колишніми інструкціями по розробці критичних до безпеки систем в стандартах IEC, CENELEC з'явився ряд змін серед яких такі: - введення нового підходу заснованого на оцінці ризиків; - регламентація ієрархічно структурованих заходів на кожному етапі процесу розробки для різних рівнів вимог до безпеки; - визнання недостатності тестування для повного підтвердження безпечної роботи; - не тільки регламентація процесу розробки (від постановки завдання до результуючого продукту, включаючи тестування), але і його перевірка на основі результатів окремих етапів.

Для ефективного вирішення завдання гармонізації з міжнародними стандартами при розробці нового покоління галузевих нормативних документів, необхідно: регламентувати поетапний перехід до структури процесу забезпечення функціональної безпеки; прийняти форму рекомендацій використання методів і заходів в залежності від вимог безпеки до системи; використовувати досвід зарубіжних і вітчизняних фахівців в методичній підтримці досягнення безпеки; при виборі рекомендації по використанню технологічних рішень орієнтуватися на напрацювання фахівців галузі в цій області.

В якості практичного прикладу вирішення завдання гармонізації з міжнародними стандартами, можна навести досвід зі створення нових керівних принципів для залізничних систем Японії [14].

Керівні принципи об'єднують умови управління безпекою та технічні заходи протягом усього терміну служби. Регулювання при цьому не передбачається.

Керівні принципи включають в себе необхідні технічні умови, розроблені в рамках залізничних систем Японії на основі IEC 61508 [3].

Основний текст принципів не встановлює будь-яких конкретних, заходів або цілей, виражених цифровими показниками, але для пояснення вони даються в таблицях відповідно до IEC 61508 [3].

Керівні принципи, відповідно до положень, зазначених вище, узгоджуються з IEC 61508 [3], що визначають правила для комп'ютеризованих систем безпеки загального призначення і стосуються необхідних умов забезпечення роботи систем захисту залізничних перевезень.

**Висновок.** Аналіз стану міжнародної та галузевої нормативної бази з функціональної безпеки систем залізничної автоматики і телемеханіки показав необхідність створення нового покоління галузевих нормативних документів, які гармонізують з міжнародними стандартами і забезпечують безпечну експлуатацію і конкурентоспроможність вітчизняних систем залізничної автоматики.

Для ефективного вирішення завдання гармонізації з міжнародними стандартами при розробці нового покоління галузевих нормативних документів, необхідно:

- регламентувати поетапний перехід до структури процесу забезпечення функціональної безпеки;

- прийняти форму рекомендацій використання методів і заходів в залежності від вимог безпеки до системи;

- використовувати досвід зарубіжних і вітчизняних фахівців в методичній підтримці досягнення безпеки;

- при виборі рекомендації по використанню технологічних рішень орієнтуватися на напрацювання фахівців галузі в цій області.

**Література**


1. Клюєв С.О. Підвищення безпеки руху на залізниці. Вісник СНУ ім. В. Даля. Сєвєродонецьк, 2016. № 1 (225). С. 104–107.
2. Клюєв С.О. Підвищення безпеки систем залізничної автоматики і телемеханіки / С.О. Клюєв // Збірник наукових праць державного університету інфраструктури та технологій. Серія "Транспортні системи і технології". – Київ: ДУІТ. – 2018. – Вип. № 32 (Т.2). – С. 32–40.
3. IEC 61508: Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems. 2000.
4. CENELEC EN 50126: Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS). 1998.
5. CENELEC EN 50128: Railway Applications - Communications, signaling and processing systems - Software for Railway Control and Protection Systems. 2000.
6. CENELEC EN 50129: Railway Applications - Safety-related Elec-tronic Systems for Signalling. 2000.

7. CENELEC 50159-1/-2: Railway Applications - Communications, signaling and processing systems - Safety-related communication in open/closed communication systems. 2001.
8. MIL-STD-882: System Safety Program Requirements. Department of Defense (US). 1993 (version C). 2000 (version D).
9. Def Stan 00-55: Safety Management Requirements for Defence System. Ministry of Defence (UK). 1996.
10. Def Stan 00-56: Requirements for Safety Related Software in De-fence Equipment. Ministry of Defence (UK). 1997.
11. Mü 8004: Anweisung zu den technischen Anforderungen fur die Zulassung von Sicherungsanlagen (Principles of Technical Approval for Signalling and Communications Technology; in German). Federal German Railways Office (EBA). 1988.
12. Braband J., Lennartz A.; Systematic Process for the Definition of Safety Targets for Railway Signalling Applications/ Signal + Draht. - 1999. - №9.
13. Розенберг Е.Н., Шубинский И.Б. Методы и модели анализа функциональной безопасности технических систем. - М.: ВНИИАС, 2004.
14. RTRI: Safety guidelines for computerized train control and protection systems (in Japanese). 1996.

**References**

1. Kliuiev, S. O. (2016). Pidvyshchennia bezpeky rukhu na zaliznytsi. Visnyk SNU im. V. Dalia. Sievierodonetsk, 1 (225), 104–107.
2. Kliuiev, S. O. (2018). Pidvischennya bezpeki sistem zaliznichnoyi avtomatiki i telemehaniki. Zbirnik naukovih prats derzhavnogo universitetu Infrastrukturi ta tehnologiy. Seriya "Transportni sistemi i tehnologiyi". Kiyiv, DUIT, 32 (T.2), 32–40.
3. IEC 61508 (2000): Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems.
4. CENELEC EN 50126 (1998): Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS).
5. CENELEC EN 50128 (2000): Railway Applications - Communications, signaling and processing systems - Software for Railway Control and Protection Systems.
6. CENELEC EN 50129 (2000): Railway Applications - Safety-related Elec-tronic Systems for Signalling.
7. CENELEC 50159-1/-2 (2001): Railway Applications - Communications, signaling and processing systems - Safety-related communication in open/closed communication systems.
8. MIL-STD-882 (2000): System Safety Program Requirements. Department of Defense (US), version D.
9. Def Stan 00-55 (1996): Safety Management Requirements for Defence System. Ministry of Defence (UK).
10. Def Stan 00-56 (1997): Requirements for Safety Related Software in Defence Equipment. Ministry of Defence (UK).
11. Mü 8004 (1988): Anweisung zu den technischen Anforderungen fur die Zulassung von Sicherungsanlagen (Principles of Technical Approval for Signalling and Communications Technology; in German). Federal German Railways Office (EBA).
12. Braband J., Lennartz A. (1999). Systematic Process for the Definition of Safety Targets for Railway Signalling Applications / Signal + Draht, 9.
13. Rozenberg E.N., Shubinskiy I.B. (2004). Metodyi i modeli analiza funktsionalnoy bezopasnosti tehnicheskih sistem. M, VNIIAS.
14. RTRI (1996): Safety guidelines for computerized train control and protection systems (in Japanese).

**Клюев С.О. С Выбор направлений гармонизации нормативной базы с международными стандартами по вопросам функциональной безопасности.**

*В статье рассмотрены параметры безопасности в ходе всего цикла существования системы, включая этапы разработки, подтверждения безопасности, монтажа, эксплуатации и вывода из эксплуатации. В качестве технической основы для поддержки обеспечения функциональной безопасности международными и европейскими стандартами рассмотрено использование поэтапной структуры, основанной на жизненном цикле рассматриваемой системы. В общем виде определены рекомендации по использованию определенных методов и мер по методологической поддержки функциональной безопасности в нормативных документах отрасли, и касаются в основном доказательства безопасности систем.*

***Ключевые слова:*** *нормативные документы, функциональная безопасность, международные стандарты, жизненный цикл, поэтапная структура, гармонизация.*

**Kliuiev S. Directions choice of normative base harmonization with international standards on functional safety problems.**

*The article discusses the safety parameters during the entire life cycle of the system, including the stages of development, confirmation of safety, installation, operation and decommissioning. As a technical basis for supporting the provision of functional safety by international and European standards, the use of a phased structure based on the life cycle of the system under consideration has been considered. In general, recommendations on the use of certain methods and measures for the methodological support of functional safety in the industry regulatory documents are defined, and mainly relate to evidence of system safety.*

*Analysis of the international and sectoral regulatory framework for the functional safety of railway automation and remote control systems has shown the need to create a new generation of industry regulatory documents that harmonize with international standards and ensure the safe operation and competitiveness of domestic railway automation systems.*

*To effectively address the task of harmonization with international standards in the development of a new generation of industry regulatory documents, it is necessary to regulate a phased transition to the structure of the process of ensuring functional safety.*

***Keywords:*** *regulatory documents, functional safety, international standards, life cycle, phased structure, harmonization.*

**Клюєв С.О.** – к.т.н., доц. кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк, e-mail: sergistreet@gmail.com.

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Чернецька-Білецька Н.Б.***

Стаття подана 15.04.2019

УДК 622.882

# РЕКУЛЬТИВАЦІЯ РОЗРІЗУ «МОРОЗІВСЬКИЙ»

**Круть О.А., Чернецька-Білецька Н.Б.**

# RECULTIVATION OF «MOROZOVSKY» SECTION

**Krut O., Chernetska-Biletska N.**

*Розглянуті альтернативні проекту варіанти виконання гірничотехнічної рекультивації розрізу «Морозівський» буро-вибуховим способом та способом гідромеханізації, розроблена технологія їх використання, визначені їх технологічні і вартісні показники, проведено техніко-економічне порівняння варіантів, в результаті якого найбільш вигідним варіантом встановлено варіант рекультивації крокуючими екскаваторами ЕШ-10/70 та ЕШ-6/45 з урахуванням їх ремонту.*

***Ключові слова:*** *родовище, гідротехнічна рекультивація, крокуючі екскаватори, навал, транспортно-відвальний комплекс, техніко-економічне порівняння.*

Морозівський розріз розташований в Олександрійському районі Кіровоградської області. Родовище розкрито розрізною та виїзною траншеями. Виїзна траншея зовнішнього закладення примикає до західного торця розрізної траншеї (рис. 1) [1, 2]. Вся розкривна товща відпрацьовувалась по комбінованій схемі розробки. Основний уступ висотою до 50 м відпрацьовувався по транспортно-відвальній схемі транспортно-відвальним комплексом в складі транспортно-відвального моста РГ-1 та двох ланцюгових екскаваторів ДС-1000 та ДС-1500.

Передовий уступ висотою до 40 м відпрацьовувався по транспортній схемі роторно-конвеєрним комплексом в складі роторного екскаватора ЕРШР-1600, міжуступного перевантажувача ПМК-5000/27, відвалоутворювача ОШР-5000/95 та системи стрічкових конвеєрів. Розкрив транспортно-відвальним мостом і відвалоутворювачем укладався в три яруси внутрішніх відвалів: передвідвал висотою 15 м, відвал основного уступу висотою 40 м і конвеєрний відвал висотою від 25 до 40 м. З 2008 року розріз не працює, розрізна та виїзна траншеї затоплені. В 2012 році ДП «Інститут «УкрНДІпроект» розробив проект ліквідації розрізу «Морозівський», однією із складових частин якого є гірничотехнічна рекультивація порушених земель.

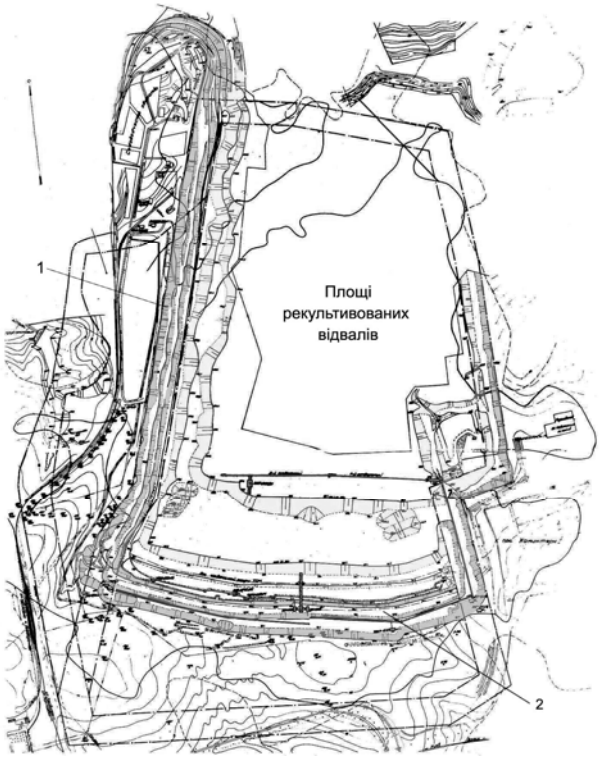



Рис. 1. Розріз «Морозівський»:
*1* і *2* – виїзна і розрізна траншеї

Гірничотехнічна рекультивація розрізу «Морозівський» полягає у приведенні в екологічно безпечний стан усіх порушених земель і повернення їх землекористувачам.

Об’єктами гірничотехнічної рекультивації є:

1. Залишкова розрізна траншея в районі селища Комінтерн.

2. Розрізна траншея, до складу якої входять: конвеєрний відвал (неробочий борт); мостовий відвал (неробочий борт); східний торець; робочий борт; західний торець.

3. Виїзна траншея.

Навали розкриву, відсипані відвалоутворювачем ОШР-5000/95 в районі селища Комінтерн, проектом передбачено скинути в котлован за допомогою екскаватора ЕШ-10/70, розпланувати бульдозерами, нарізати тераси і посадити лісонасадження.

Обсяги робіт складатимуть: екскаватор ЕШ-10/70 – 80 тис. м³; бульдозери – 100 тис. м³.

Конвеєрний відвал складається з двох ярусів: верхнього і нижнього.

Верхній ярус відсипався відвалоутворювачем ОШР-5000/95 під час роботи з верхнім відсипанням. Він має велику висоту (до 31 м) і круті схили (до 40°) без берм і майданчиків. Планування його укосів до кута 14° передбачається виконати бульдозерами під час роботи «зверху-вниз».

Нижній ярус відсипався відвалоутворювачем під час роботи з нижньою відсипкою. Він має висоту до 40–50 м, але більш пологий кут укосу (14°–25°). Виположити укоси планується бульдозером під час роботи «зверху-вниз».

Обсяг бульдозерних робіт по виположуванню укосів верхнього і нижнього ярусів складе 576 тис. м³ (340 тис. м³ + 236 тис. м³). Після виположування, укоси будуть терасувати і передаватися під лісонасадження. Частина практично рівної поверхні нижнього ярусу конвеєрного відвалу, яка примикає до раніше рекультивованих площ, передбачається рекультивувати під пасовища. Сюди будуть завозити родючий шар ґрунту (РШГ) зі складу у східного кордону (10 тис. м³) та зі складу на робочому борті в західній частині ділянки (52 тис. м³) – всього 62 тис. м³. Автосамоскиди повинні рівномірно укладати РШГ на поверхні, після чого буде виконуватися планування його бульдозерами в обсязі 25 тис. м³. Сумарний обсяг бульдозерних робіт становить 601 тис. м³.

Мостовий відвал неробочого борту (висота в межах 46–48 м, кут укосу 40°) планується виположити до результуючого кута 14° екскаватором ЕШ-10/70 за два проходи. Під час першого проходу екскаватор розпланує по поверхні відвалу навал розкриву, що знаходиться на поверхні мостового відвалу.

Під час другого проходу, з установкою на гор. +120 м, екскаватор, працюючи верхнім і нижнім черпанням, формує борт. Після завершення робіт на створених майданчиках планується висадка лісонасаджень.

Обсяг робіт по екскаватору ЕШ-10/70 складе 2660 тис. м³. При цьому обсяг бульдозерних робіт (планування поверхні, планування трас руху екскаватора, роботи в забої) буде дорівнювати 235 тис. м³.

На поверхню мостових відвалів для підготовки їх під пасовище планується завезти 600 тис. м³ суглинків, в тому числі: зі східного торця – 100 тис. м³; із західного торця – 300 тис. м³; з борту виїзної траншеї – 200 тис. м³.

При цьому обсяг бульдозерних робіт по плануванню суглинків складе 240 тис. м³.

Верхню частину верхнього уступу східного торця передбачається розвантажити екскаватором Е-2503. Екскаватор буде стояти на денній поверхні, і працювати нижнім черпанням з навантаженням суглинків в автосамоскиди.

Нижня частина уступу буде зніматися бульдозером з переміщенням породи в основу уступу, що дозволить створити необхідний кут ухилу 18°.

Укіс нижнього уступу планується сформувати екскаватором ЕШ-10/70. Екскаватор буде розташовуватися на проміжному майданчику з відміткою +120,0 м і працюючи верхнім і нижнім черпанням, пройде уздовж торця. Розкрив буде скидатися в вироблений простір з підсипанням борту, що забезпечить його довготривалу стійкість.

Обсяги робіт визначилися рівними: по екскаватору Е-2503 – 100 тис. м³, по екскаватору ЕШ-10/70 – 270 тис. м³, по бульдозеру – 201 тис. м³.

Суглинки в обсязі 100 тис. м³ (180 тис. т) будуть транспортуватися на поверхню мостових відвалів.

Розрізна траншея має довжину знизу 2,4 км при ширині від верхньої бровки передового уступу до верхньої бровки відвалу основного уступу – 500 м. Повна ширина виробленого простору з урахуванням конвеєрних відвалів досягає 1,1–1,3 км. Довжина розрізної траншеї по розкриву з урахуванням східного і західного торців становить 2,8 км.

Робочий борт розрізної траншеї передбачено виположити екскаватором ЕШ-10/70 за три проходи. При першому проході екскаватор встановлюється на площадку з відміткою +160 м і працюючи нижнім и верхнім черпанням проходить по всій довжині фронту виполажуючи укіс передового уступу і формує необхідний кінцевий контур. Розкрив при цьому скидається униз на робочу площадку передового уступу. Під час другого і третього проходів, екскаватор здійснює переекскавацію розкриву, складуючи його у нижню частину траншеї, що дозволить вирішити два завдання: збільшити стійкість робочого борту у цілому і екранізувати потужним шаром породи виходи в траншею пластів бурого вугілля.

Обсяги робіт по робочому борту складуть: екскавація – 2300 тис. м³; переекскавація – 3550 тис. м³; обсяг бульдозерних робіт (підготовка трас руху екскаваторів, розчищення площадок і т. д.) – 300 тис. м³.

Передбачається розвантаження борту західного торця шляхом вивезення навалів суглинків і частини розкриву автотранспортом на мостовий відвал; навантаження може здійснюватися екскаватором ЕКГ-5 (або ЕШ-6/45). Обсяг робіт складе 300 тис. м³.

Правий внутрішній борт залишкової виїзної траншеї розташований у внутрішніх відвалах. Його виположення передбачено виконувати екскаватором ЕШ-10/70 за два проходи від сполучення з розрізної траншеєю на довжині ~ 600 м, а далі – у один прохід. Обсяг робіт складе 1210 тис. м³.

Лівий борт розташований у цілику. Однак, від сполучення із західним торцем на відстань 1100 м

його кут не відповідає технічним умовам. Тому передбачається екскаватором ЕШ-6/45 пройти нижнім черпанням одну заходку, що дозволить розвантажити борт, збільшити його стійкість і створити необхідний кут відкосу. Обсяг зняття і завантаження суглинків складе 920 тис. м$^3$.

Із цього обсягу 200 тис. м$^3$ будуть перевезені на мостовий відвал, 55 тис. м$^3$ – на ставки-відстійники, а 665 тис. м$^3$ – у виїзну траншею для захоронення будівельного сміття, для покриття вугільного складу та інших площ в районі західного борта дільниці.

Режим роботи по гірничотехнічній рекультивації прийнято круглий рік при шестиденному робочому тижні і двох змін на добу по 8 годин кожна. Кількість робочих днів у році – 300.

Тривалість робіт з гірничотехнічної рекультивації визначається обсягом робіт крокуючого екскаватора ЕШ-10/70: екскавація – 6520 тис. м$^3$, переекскавація – 3550 тис. м$^3$.

З урахуванням підготовчого періоду (у тому числі витрат у підготовчому періоді часу на ремонт крокуючих екскаваторів) визначено тривалість робіт з гірничотехнічної рекультивації – 81 місяць.

Основні обсяги робіт з рекультивації розрізу «Морозівський» відповідно до проекту ліквідації приведені в таблиці 1.

Крокуючі екскаватори ЕШ-10/70 та ЕШ-6/45, які передбачались проектом ліквідації розрізу «Морозівський», не працюють з 2008 року, прийшли в неробочий стан, рекультивація порушених земель не проводиться. Постає запитання яким чином в нинішніх умовах провести рекультивацію, відремонтувати наявні недіючі на розрізі екскаватори-драглайни, чи купити нові? Інших подібних екскаваторів в Олександрійському районі немає, один ЕШ-10/70 затоплений на розрізі «Костянтинівський». Тому для встановлення технічного стану екскаваторів ЕШ-10/70 та ЕШ-6/75 розрізу «Морозівський» були виконані відповідні роботи ТОВ «Науково-технічне об'єднання «Модекс–привід» та на основі актів деформації обраховані витрати на ремонт екскаваторів. Порівняльна таблиця об'ємів та вартості виконання робіт з рекультивації новими та відремонтованими екскаваторами наведена нижче. Як видно із таблиці 2, вартість виконання рекультивації новими екскаваторами значно більша, ніж відремонтованими. Розгляд цього питання в більш широкому плані приводить до необхідності визначення, розробки та розгляду альтернативних технологій рекультивації розрізу «Морозівський». В якості таких технологій прийнято технології рекультивації порушених земель із застосуванням гідромеханізації та буро-вибуховим способом. Для визначення техніко-економічного доцільного варіанту виконано порівняння базового (проектного з відремонтованими драглайнами) та наведених двох.

Рекультивація порушених земель розрізу «Морозівський» гідромеханізованим способом передбачає формування технологічних шляхів під установку гідромоніторної техніки, обладнання плавучої напірної насосної станції, формування мережі напірного водопроводу, додаткові роботи по обвалуванню, екскавації, руйнуванню і змиву гірських порід та формування площ екскавацією технікою згідно з проектом рекультивації розрізу. Виконання гідромеханізованих робіт передбачає використання сучасного парку гідромоніторів з дистанційним управлінням та захисним кожухом для зменшення дистанції дії напірного струменю на забій [3, 4].

Таблиця 1

**Обсяги робіт з рекультивації розрізу «Морозівський (проектний варіант)**

| Найменування об'єкту | Обсяг робіт, тис. м³ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | у тому числі по видах обладнання | | | | | | |
| | Екскаватор ЕШ-10/70 | | Екскаватор ЕКГ-6/45 | Екскаватор ЕКГ-5 | Екскаватор Е-2503 | Бульдозер | Автотранспорт, тис. т |
| | Екскава-ція | Переекскавація | Екскавація | Екскавація | Екскавація | | |
| Залишкова розрізна траншея | | | | | | | |
| Конвеєрний відвал | – | – | – | – | 62 | 601 | 93 |
| Мостовий відвал | 2660 | – | – | – | – | 475 | – |
| Східний торець | 270 | – | – | – | 100 | 201 | 180 |
| Робочий борт | 2300 | 3550 | – | – | – | 300 | – |
| Західній торець | – | – | – | 300 | – | 15 | 540 |
| Виїзна траншея | 1210 | – | 920 | – | – | 386 | 1557 |
| Залишкова розрізна траншея в районі селища Комінтерн | 80 | – | – | – | – | 110 | – |
| Зовнішній відвал | – | – | – | – | – | 32 | – |
| Ставки- відстійники | – | – | – | – | 18 | 22 | 126 |
| Проммайданчик | – | – | – | – | 30 | – | – |
| Нагірна канава | – | – | – | – | 5 | – | – |
| **Всього** | **6520** | **3550** | **920** | **300** | **215** | **2142** | **2496** |

Таблиця 2

**Порівняльна таблиця виконання робіт з рекультивації розрізу «Морозівський» (варіант використання крокуючих екскаваторів)**

| Перелік ділянок робіт | | Обсяг, тис. м$^3$ | Нові крокуючі екскаватори | | Крокуючі екскаватори після ремонту | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Термін, міс. | Загальна вартість, тис. грн | Термін, міс. | Загальна вартість, тис. грн |
| Всього | | 13536 | 81 | 462892,405 | 81 | 310568,405 |
| 1 | Залишкова розрізна траншея селища Комінтерн | 186 | 4 | 1984,284 | 4 | 1984,284 |
| 2 | Залишкова розрізна траншея | 40834 | 72 | 141808,353 | 72 | 141808,353 |
| 3 | Залишкова виїзна траншея | 2516 | 17 | 69499,768 | 17 | 69499,768 |
| 4 | Крокуючі екскаватори ЕШ-10/70, ЕШ-6/45 | | 9 | 249600 | 9 | 97276 |

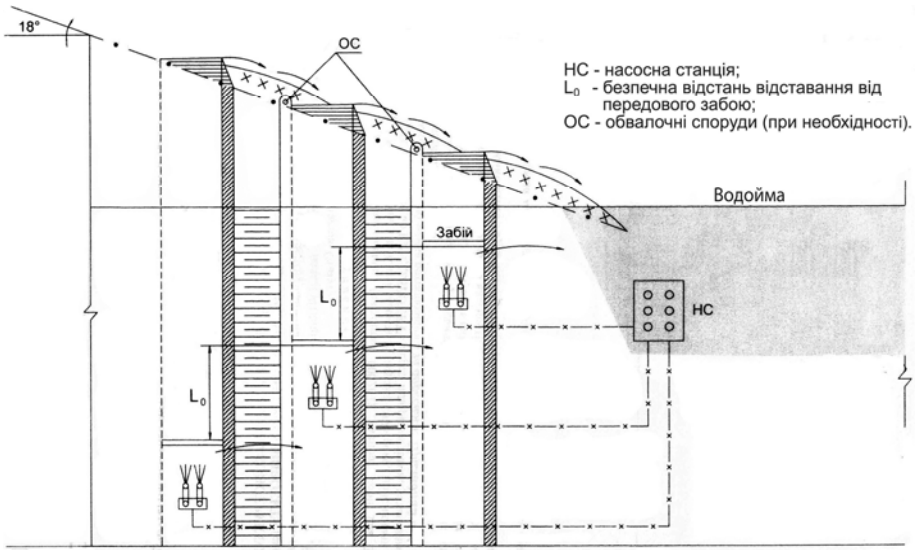



Рис. 2. Принципова технологічна схема гідромоніторного руйнування порід із застосуванням забоїв знизу

Таблиця 3

**Вартість робіт за варіантами гідромеханізації**

| Умови і місце роботи | Одиниця виміру | Варіанти технічного рішення | | |
|---|---|---|---|---|
| | | передовим забоєм зверху або знизу | з перекачкою пульпи землесосною системою | екскаваційні роботи |
| Робочий борт | млн грн | 20,1 | 134,9 | 40,2 |
| Західний торець | млн грн | 23,0 | 126,1 | 55,8 |
| Східний торець | млн грн | 4,6 | 13,1 | 5,8 |

Вода використовується із затоплених виїзної та розрізної траншей. Насосна станція монтується на поверхні води. Струмінь води гідромонітора розмиває підошву розкривного уступу, утворюючи в ньому врубову штору. Порода над щілиною і частина масиву обрушується і потім змивається водою на верхню частину наступного уступу, або заповнює міжуступний простір. Бульдозер пересуває монітор і вирівнює майданчик для подальшої роботи. Під час розрахунку параметрів гідромеханізації бралось до уваги залежність інтенсивності розмиву грунту від швидкості вильоту струменю води, витрати води, діаметру насадки, відстані до забою та фізико-технічні властивості порід, куту їх укосу, технології розмиву і інше.

Розглянута гідромоніторна розробка гірських порід зустрічним, попутним та зустрічно-попутним забоєм. Встановлені наступні параметри і характеристики гідромоніторної виїмки: висота врубу – 0,2…0,5 м; глибина врубу – 2…5 м; ширина забою 25–30 м, крок пересування, в основному, дорівнює довжині однієї ланки напірного трубопроводу (6÷12 м); кут вертикального відхилення гідромоніторів ±35°; тип гідромонітору – ГМ-350, водопродуктивність – 350 м$^3$/год.; питома витрата води на 1 м$^3$ породи – 10 м$^3$/м$^3$п; коефіцієнт використання – 0,7–0,8; насосна установка – ЦНС-400, тиск води – 100 атм.

Одна із принципових технологічних схем гідромоніторного руйнування порід із застосуванням забоїв наведена на рис. 2. Розглянуті два способи гідромеханізації: змив породи у водойму розрізної і виїзної траншей, змив та переміщення порід на мостові відвали. Результати розрахунків вартості робіт за варіантами наведені в таблиці 3. Безпосередній

змив порід у водоймище не прийнятний з екологічної точки зору, тому в подальшому розглядається варіант з гідротранспортом породи на мостові відвали. Основним фактором економічної доцільності застосування одного чи другого способу є об'єми переекскавації порід і дальність транспортування самоскидами до відвалів. Загальна вартість виконання робіт з рекультивації розрізу «Морозівський» з використанням гідромеханізації становить 471113,7 тис. грн, термін виконання робіт – 99 місяців (три гідромоніторні забої на робочому борту).

Під час повної гідромеханізації вартість робіт зростає в 2,2–2,5 рази (відносно змиву) за рахунок спорудження терміналів ґрунтів і пристроїв по перекачуванню пульпи, облаштуванню дамб, або ставків-накопичувачів.

Технологічні схеми рекультивації розрізу за допомогою гідромеханізації передовим забоєм зверху, або передовим забоєм знизу, практично, тотожні і вартість їх застосування залежить від рельєфу бортів розрізу і міжуступних просторів.

Термін виконання робіт гідромеханізацією можна скоротити за рахунок організації робіт зустрічної проходки забоїв (6 гідромоніторних забоїв) до 4,5 років.

Варіант рекультивації розрізу «Морозівський» буро-вибуховим способом розроблений ТОВ «Гірничий Геолого-технологічний Центр». Рекультивація цим способом передбачає декілька етапів. Першим етапом передбачена розробка та оформлення проектної та дозвільної документації. Другий етап виконання передбачає формування площадок під буріння та технологічних шляхів по території розрізу механізованою технікою, які у подальшому будуть слугувати шляхами під'їзду до водоймища та по території розрізу. Вибухові роботи входять до третього етапу виконання. Останнім етапом передбачено остаточне формування площ екскаваційною технікою.

Виконання буро-вибухових робіт передбачає використання бурового обладнання та емульсійних вибухових речовин під час проведення масових вибухів. Вибір емульсійних вибухових речовин (ЕВР) зумовлений обводненістю свердловин, а також з ціллю зменшення негативного впливу на навколишнє середовище і організм людини. Під час виконання вибухових робіт використовується метод вибуху на викид та скид. Під час проведення вибухових робіт передбачаються сучасні методи з використанням неелектричних систем ініціювання вибуху, що дозволяє точно вирахувати переміщення гірничої маси під час вибуху.

Прийнятий метод свердловинних зарядів полягає в тому, що вздовж фронту уступу вибурюють ряди похилих свердловин глибиною 6–22 м, діаметром 130–160 мм. Похилі свердловини буряться з кутом нахилу, відповідним заданому куту укосу виїмки, на повну висоту уступу з урахуванням перебуру нижче підошви вибою на розрахункову глибину і заряджають суцільними зарядами по всій висоті, за винятком самої верхньої частини, в якій розміщується набійка з сипучого і дрібного матеріалу. Схема розташування похилих свердловин наведена на рис. 3.

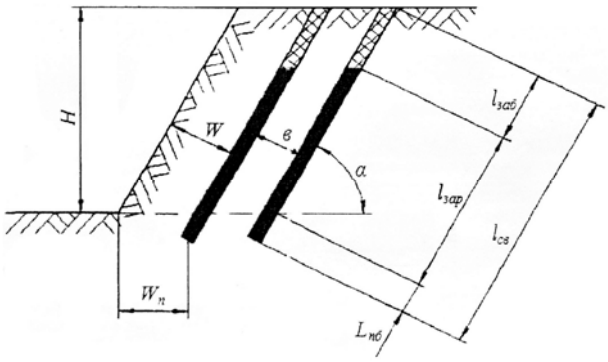



Рис. 3. Схема розташування похилих свердловин

Вибрані основні параметри розташування свердловин на уступах. В таблиці 4 наведені параметри для робочого борту.

Таблиця 4

**Параметри розташування свердловин**

| № п/п | Найменування параметра | Позначення | Прийняте значення відмітки | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | +102 | +120 | +156 |
| 1 | Діаметр свердловини, мм | $d_c$ | 160 | 160 | 160 |
| 2 | Висота уступу, м | H | 7,86 | 14 | 15 |
| 3 | Кут укосу уступу, градуси | α | 45 | 45 | 60 |
| 4 | Лінія опору по підошві уступу, м | W | 3,5 | 3,5 | 3,2 |
| 5 | Відстань між свердловинами в ряду, м | a | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| 6 | Відстань між рядами свердловин, м | b | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| 7 | Глибина свердловин, м | $L_{скв}$ | 12,72 | 21,4 | 18,9 |
| 8 | Глибина перебуру, м | $L_{пер}$ | 1,6 | 1,6 | 1,6 |
| 9 | Питома витрата ВР, кг/м$^3$ | q | 2,27 | 2,26 | 2,29 |
| 10 | Обсяг ґрунту, що підривається, м$^3$ | V | 490653 | 635040 | 489240 |

Таблиця 5

**Порівняльна таблиця виконання робіт з рекультивації розрізу «Морозівський»**

| Перелік ділянок робіт | | Крокуючі екскаватори | | БВР | | Гідромонітори | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Термін, міс. | Загальна вартість, тис. грн | Термін, міс. | Загальна вартість, тис. грн | Термін, міс. | Загальна вартість, тис. грн |
| Всього | | 81 | 310568,4 | 43 | 412575,1 | 99 | 471137,2 |
| 1. | Залишкова розрізна траншея селища Комінтерн | 4 | 1984,2 | 4 | 1984,2 | 4 | 1984,2 |
| 2. | Залишкова розрізна траншея | 72 | 141808,3 | 34 | 243815,1 | 99 | 469152,9 |
| 2.1. | Конвеєрний відвал | 21 | 14179,9 | 21 | 14179,9 | 21 | 14179,9 |
| 2.2. | Мостовий відвал | 20 | 30185,6 | 20 | 30185,6 | 20 | 30185,6 |
| 2.3. | Східний торець | 9 | 9547,4 | 9 | 9547,4 | 35 | 20153,2 |
| 2.4. | Робочий борт | 39 | 65872,7 | | | 99 | 209157,6 |
| 2.5. | Західний торець | 6 | 22022,5 | 34 | 189902,0 | | |
| 3. | Залишкова виїзна траншея | 17 | 69499,768 | 17 | 69499,768 | 17 | 69499,768 |
| 4. | Ремонт крокуючих екскаваторів ЕШ-10/70, ЕШ-6/45 | 9 | 97276,0 | 9 | 97276 | | |

Для проведення вибухових робіт в умовах розрізу «Морозівський» прийнято використання типових промислових вибухових речовин та засоби ініціювання: амоніт № 6ЖВ, емульсійні вибухові речовини; електродетонатори ЕД-8-Ж, ЕД-К-З.

Розрахунки зарядів виконані у відповідності до НПАОП 0.00-1.66-13 «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення та інших нормативних документів [6, 7, 8].

Результати розрахунку вартості робіт з рекультивації розрізу «Морозівський» за трьома варіантами зведені в таблицю 5.

Аналізуючи дані таблиці 5 та технологію виконання робіт з рекультивації розрізу «Морозівський» трьома способами: за допомогою крокуючих екскаваторів ЕШ-10/70, ЕШ-6/45, буро-вибуховим, гідромеханізацією необхідно констатувати наступне.

1. Рекультивація буро-вибуховим способом можлива тільки на робочому борту. Буро-вибухові роботи на конвеєрному відвалі, мостовому відвалі, залишковій розрізній траншеї, східному торцю, західному торцю, залишковій виїзній траншеї не можливі через цілу низку чинників, а саме: властивостей насипних ґрунтів; безпеки виконання робіт (відсутня гарантована стійкість бортів та завелика призма обвалення, а також можливі непередбачені зсувні явища); технології буріння та заряджання вибухових речовин у даних типах ґрунтів.

2. Рекультивація розрізу «Морозівський» ДП «Бурвугілля» із застосуванням гідромоніторів можлива на всіх ділянках.

3. Найменший термін виконання робіт по рекультивації розрізу «Морозівський» – 43 місяці у варіанта за допомогою буро-вибухового способу.

4. Вартість виконання робіт з рекультивації розрізу «Морозівський» (проектний варіант з урахуванням вартості крокуючих екскаваторів ЕШ-10/70 і ЕШ-6/45) у цінах 2017 року складає 310568,4 тис. грн.

5. Для коректності порівняння економічних показників по варіантах вартість робіт буро-вибуховим способом визначена як сума витрат на буровибухові роботи по робочому борту доповнена витратами (за проектним варіантом) на рекультивацію інших дільниць розрізу, а саме: східного і західного торців, мостових відвалів, залишкових розрізної і виїзної траншеї. В результаті повна вартість робіт буро-вибуховим способом з урахуванням всіх дільниць складає 434597,7 тис. грн.

6. Вартість робіт з рекультивації розрізу «Морозівський» із застосуванням гідромоніторів складає 471137,2 тис. грн.

7. Таким чином найменша вартість рекультивації розрізу «Морозівський» в проектному варіанті (з урахуванням витрат на ремонт крокуючих екскаваторів ЕШ-10/70 і ЕШ-6/45).

8. Буро-підривним способом можна виконувати рекультивацію тільки робочого борту, все інше – технологію та обладнання, прийнятими у проекті. Тому цей варіант не має сенсу.

9. До недоліків рекультивації із застосуванням гідромоніторів слід віднести сезонний характер робіт, що подовжує термін їх виконання, відсутність досвіду їх виконання у вугільній галузі та значне технічне навантаження на довкілля.

**Висновки**. Беручи до уваги всі чинники техніко-економічного порівняння варіантів, найбільш вигідним способом рекультивації розрізу «Морозівський» в умовах, що склалися на даний час, є спосіб рекультивації крокуючими екскаваторами ЕШ-10/70 і ЕШ-6/45 з урахуванням їх ремонту.

**Література**

1. Розробка техніко-економічного обгрунтування вибору найбільш економічно ефективного способу рекультивації розрізу «Морозівський» ДП «Бурвугілля»: ТЕО4599-33/ОП-17-П32. Київ: ДП «Інститут «УкрНДІпроект», 2017.
2. Проект ліквідації ДП «Бурвугілля». Київ: ДП «Інститут «УкрНДІпроект», 2012.
3. Нурок Г. А. Процесы и технология гидромеханизации горных работ. М.: Недра, 1985.

4. Шапарь А. Г. Разработка высоких уступов с обрушением. М.: Недра, 1985.
5. Кутузов Б. Н. Проектирование взрывных работ в промышленности. М., 1983.
6. Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення: НПАОП 0.00-1.66-13. Київ: Норматив, 2013.
7. Покровський Г. Н., Черниговский А. А. Расчет зарядов при массовых взрывах на выброс. М.: Госгортехиздат, 1962.
8. Інструкція з безпечної організації та проведення масових вибухів свердловинних зарядів на відкритих гірничих роботах: НПАОП 0.00-5.41-14. Київ: Норматив, 2014.

**R e f e r e n c e s**

1. Rozrobka tekhniko-ekonomichnoho obgruntuvannia vyboru naibilsh ekonomichno efektyvnoho sposobu rekulty-vatsii rozrizu «Morozivskyi» DP «Burvuhillia»: TEO4599-33/OP-17-P32. Kyiv: DP «Instytut «UkrN-DIproekt», 2017.
2. Proekt likvidatsii DP «Burvuhillia». Kyiv: DP «Instytut «UkrNDIproekt», 2012.
3. Nurok G. A. Procesy i tehnologiya gidromehanizacii gornyh rabot. M.: Nedra, 1985.
4. Shapar A. G. Razrabotka vysokih ustupov s obrushe-nim. M.: Nedra, 1985.
5. Kutuzov B. N. Proektirovanie vzryvnyh rabot v pro-myshlennosti. M., 1983.
6. Pravyla bezpeky pid chas povodzhennia z vybukhovymy materialamy promyslovoho pryznachennia: NPAOP 0.00-1.66-13. Kyiv: Normatyv, 2013.
7. Pokrovskij G. N., Chernigovskij A. A. Raschet zaryadov pri massovyh vzryvah na vybros. M.: Gosgortehizdat, 1962.
8. Instruktsiia z bezpechnoi orhanizatsii ta provedennia maso-vykh vybukhiv sverdlovynnykh zariadiv na vidkrytykh hir-nychykh robotakh: NPAOP 0.00-5.41-14. Kyiv: Normatyv, 2014.

**Круть А.А., Чернецкая-Белецкая Н.Б. Рекультивация разреза «Морозовский».**

*Рассмотрены альтернативные проекту варианты выполнения горнотехнической рекультивации разреза «Морозовский» буро-взрывным способом и способом гидромеханизации, разработана технология их использования, определены их технологические и стоимостные показатели, проведено технико-экономическое сравнение вариантов, в результате которого наиболее выгодным вариантом установлено вариант рекультивации шагающими экскаваторами ЭШ-10/70 и ЭШ-6/45 с учетом их ремонта.*

***Ключевые слова:*** *месторождение, гидротехническая рекультивация, шагающие экскаваторы, навал, транспортно-отвальный комплекс, технико-экономическое сравнение.*

**Krut O., Chernetska-Beletska N. Recultivation of «Morozovsky» section.**

*Considered alternatives to the project options for the implementation of the mining and technical recultivation of the Mozarovsky open-pit mine using the drilling and blasting method and the hydro-mechanization method, developed a technology for their use, determining their technological and cost indicators, making a feasibility comparison of the options, which resulted in the most profitable option the option of reclamation by walking excavators ESh-10/70 and ESh-6/45, taking into account their repair, has been established.*

***Keywords:*** *field, hydrotechnical recultivation, walking excavators, pile, transport-dump complex, technical and economic comparison.*

**Круть О.А.** - Державне підприємство «Інститут «УКРНДІПРОЕКТ», Україна.
**Чернецька-Білецька Н.Б.** – д.т.н., проф., зав. кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля.

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Соколов В.І.***

Стаття подана 08.04.2019

УДК 681.5

# ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ВУЗЛОМ ОХОЛОДЖЕННЯ І КОНДЕНСАЦІЇ ГАЗОПРОДУКТОВОЇ СУМІШІ У ВИРОБНИЦТВІСИНТЕЗУ МЕТАНОЛУ

**Лорія М.Г., Поркуян О.В., Целіщев О.Б., , Єлісєєв П.Й.**

# OPTIMUM MANAGEMENT OF COOLING AND CONDENSATION OF GAS PREPARED MIXTURE IN METHANOL PRODUCTION METHODS

**Loriia M.G., Porkuyan O. V., Tselishchev O.B., Yeliseyev P.I.**

*В роботі розглянуто аналіз впливу роботи вузла охолодження і конденсації газопродуктової суміші на стабільність виробничого процесу синтезу метанолу. Запропоновано нетрадиційний підхід до регулювання роботи вузла охолодження і конденсації, заснований на принципі компенсації збурень шляхом вибору оптимальної схеми включення елементів вузла.*

***Ключові слова:*** *Математична модель, адаптація моделі, реактор, автоматизована система регулювання, оптимізація.*

**Вступ.** Сучасні хіміко-технологічні процеси відрізняються складністю і великою швидкістю протікання, а також чутливістю до відхилення режимних параметрів від нормальних значень, шкідливістю умов роботи речовин, що переробляються. Із збільшенням навантаження апаратів, потужності машин виконувати технологічні процеси при високому і дуже високому тиску і температурах (близьких до критичних значень), а також швидкостей хімічних реакцій з використанням ручного використовування неможливо. При таких обставинах навіть висококваліфікований фахівець не може своєчасно вплинути на процес, у разі відхилення його від норми, а це може привести до втрати якості готової продукції, псування сировини, допоміжних речовин, наприклад каталізаторів, а також до аварійної ситуації, включаючи пожежі, вибухи, викиди великої кількості шкідливих речовин в навколишнє середовище. Більшість технологічних процесів, враховуючи їх масштабність, можна здійснювати тільки при їхній повній автоматизації. З використанням поліпшуються показники ефективності виробництва – поліпшується якість вироблюваної продукції, зменшується собівартість, зростає продуктивність праці. Автоматизація передбачає контроль, сигналізацію, регулювання й блокування технологічних параметрів за допомогою автоматичного обладнання.

Задачі, які розв'язуються при автоматизації сучасних хімічних виробництв, вельми складні. Від фахівців вимагають знання не тільки пристроїв різних приладів, але і загальних принципів складання систем автоматичного управління.

Засоби контролю і управління розташовані у виробничому приміщенні, на місцевих щитах, безпосередньо біля установки.

Мета даної роботи – оптимізація процесу повітряного охолодження та конденсації метанолу на стадії синтезу у виробництві метанолу.

Агрегат синтезу метанолу переробляє конвертований газ виробництва оцтової кислоти, синтез-газ цеху ацетилену і конвертований газ відділення підготовки газу цеху синтезу метанолу в метанол-сирець, який є проміжним продуктом для виробництва метанолу-ректифікату. Ефективність роботи агрегату визначається витратним коефіцієнтом вхідного газу, який повинен становить близько 2,7 (2700 $м^3$ вхідного газу на тонну метанолу-сирцю). Щоб отримати позитивні економічні показники необхідно забезпечити стабільну роботу агрегату. Це може бути досягнуто за рахунок виключення або зведення до мінімуму збурюючих впливів, що виникають у технологічному процесі (рис. 1)[4].

Синтезу метанолу здійснюється в реакторі на низькотемпературному мідь-цинк-алюмінієвому каталізаторі під тиском до 5,3 МПа. Парогазова суміш з температурою до 300 °С з виходу реактора надходить у трубний простір рекуперацийного теплообмінника, де охолоджується до температури 150 °С газосировинним потоком, що надходить у реактор. Далі парогазова суміш проходить через вузол охолодження і конденсації, в якому при температурі не більше 60 °С конденсується метанол. З виходу вузла охолодження і конденсації газометанольна суміш надходить у сепаратор, з якого сконденсований метанол скидається в збірник метанолу-сирцю, а газ надходить на прийом циркуляційного компресора,

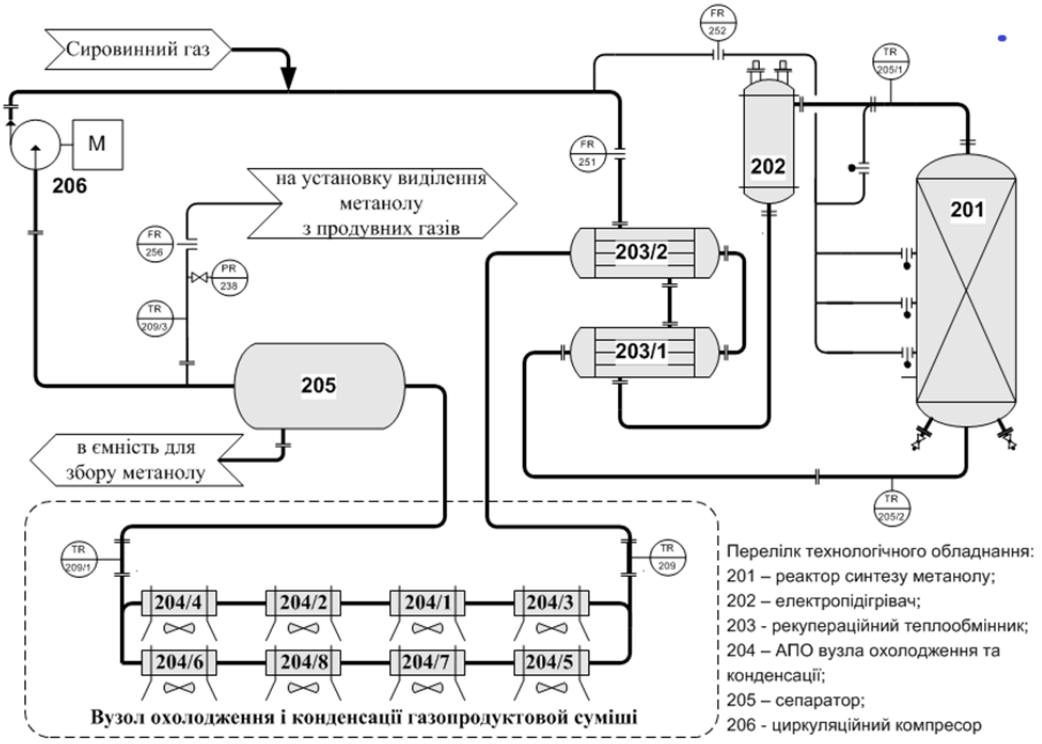



Рис. 1. Технологічна схема синтезу метанолу

що забезпечує подачу суміші циркуляційного та вхідного сировинного газу в реактор синтезу. Частина газу з сепаратора надходить на установку виділення метанолу з продувних газів, причому збільшення витрат продувних газів при незмінному виробленні метанолу свідчить про погіршення властивостей каталізатора[4].

Вузол охолодження і конденсації складається з восьми холодильників-конденсаторів з повітряним охолодженням (АПО) [3]. Холодильники розділені на дві групи, що з'єднані між собою паралельно. У кожній групі чотири послідовно з'єднаних апарата. Температурний режим конденсації парів метанолу регулюється зміною кількості працюючих АПО. Щоб уникнути температурного розбалансу паралельних потоків газопродуктової суміші АПО вмикають або вимикають попарно. При низьких температурах навколишнього повітря частина вентиляторів виводиться у резерв. Для підвищення ефективності роботи вузла в літній час передбачена система зрошення теплообмінників АПО оборотною водою. Увімкнення та вимкнення вентиляторів, а також системи зрошення, здійснюється оперативним персоналом з місцевих постів керування або дистанційно з пульта управління, який знаходиться в приміщенні операторної.

Керування роботою вузла охолодження і конденсації в «ручному» режимі призводить до неузгодженої роботи повітряних холодильників і є однією з причин нестабільної роботи циклу синтезу метанолу.

Аналізуючи данні, які надани підприємством, можна стверджувати, що при змінах складу або витрати синтез-газу відбувається зміна температурного режиму реактора синтезу. У результаті цього змінюється температура газу на виході реактора, а потім і на виході вузла охолодження і конденсації. При фіксуванні зміни температури після АПО, оператор вмикає або вимикає, в залежності від напрямку (зменшення або збільшення) відхилення температури від заданого значення, вентилятори однієї або декількох пар апаратів повітряного охолодження на свій розсуд. Це призводить до різкої зміни температури газопродуктового потоку, і, отже, до зміни перепаду тиску на АПО вузла охолодження і конденсації. Відповідно змінюється перепад тиску між прийомом компресора і входом в реактор, що призводить до зміни витрат синтез-газу і подальшої нестабільної роботи всього циклу синтезу. Такий механізм роботи процесу вмикання вентиляторів апаратів повітряного охолодження призводить до падіння температури і збільшення перепаду тиску на вузлі охолодження та конденсації газопродуктової суміші, збільшення перепаду тиску між прийомом і нагнітанням компресора і збільшення витрати синтез-газу. Вимикання вентиляторів АПО призводить до зворотних наслідків, це зменшення витрат синтез-газу. Час протікання перехідних процесів в циклі синтезу метанолу, викликаних зміною режиму обдування АПО вузла охолодження і конденсації, становить кілька годин.

Запропоновано оптимальний підхід до регулювання роботи вузла охолодження і конденсації газопродуктової суміші у виробництві метанолу, який не вимагає використання додаткового обладнання і дозволяє обійтися тільки тими технічними засобами, які вже встановлені на виробництві. Запропонована система управління здатна виключити ймовірність «температурних ривків», різкої зміни перепаду тиску між виходом реактора та прийомом циркуляційного компресора, і, як наслідок, виникнення збурюючих впливів, які можуть призвести до дестабілізації роботи агрегату синтезу метанолу.

Стандартним рішенням для регулювання температури технологічних потоків на виході апаратів повітряного охолодження є використання перетворювачів частоти [5]. У розглянутій схемі для регулювання температури газопродуктової суміші на виході вузла охолодження і конденсації можна додатково встановити два перетворювача частоти для зміни потужності електродвигунів однієї з чотирьох пар АПО. В цьому випадку регулювання температури можна було б здійснювати зміною продуктивності однієї пари АПО, а інші пари вмикати і вимикати в залежності від частоти обертання двигунів апаратів з регульованою продуктивністю. При збільшенні частоти обертання двигунів регульованих АПО до максимуму включати додаткові пари холодильників, а при зниженні до мінімуму – робити відключення «зайвих» потужностей. Однак описаний підхід не є оптимальним. По-перше, необхідне встановлення додаткового обладнання – двох перетворювачів частоти для двигунів потужністю 100 кВт кожний. Але ж промислові підприємства прагнуть мінімізувати витрати на виробництво продукції, а придбання нового дорогого обладнання не є кращим заходом підвищення ефективності. По-друге, при веденні технологічного процесу недоцільно використовувати для управління показання приладу контролю температури на виході вузла охолодження і конденсації, так як в цьому випадку збурююча дія вже пройшла через об'єкт управління і спричинить за собою зміну в роботі колони синтезу за описаним раніше механізмом, а вмикання або вимикання вентиляторів буде тільки погіршувати виниклу технологічну ситуацію[6].

На сьогодні актуальною науково-технічною проблемою є безперервне вдосконалення існуючих технологічних схем основних хімічних виробництв, зокрема багатотоннажних, таких як виробництва метанолу, аміаку, нітратної кислоти тощо. Зростання вартості сировини на світових ринках спричиняє стрімке зростання собівартості продукції українських виробництв[7]. Зміна кон’юнктури ринка, що призвела до змін вартості сировини, робочої сили тощо, зробила більшість виробництв, побудованих у 60 – 90-их роках минулого століття нерентабельними. У цих умовах на перший план виходять роботи щодо модернізації існуючих виробництв. Враховуючи, що можливості конструкторів і проектувальників, щодо структурної оптимізації класичних схем майже вичерпані, особливу увагу слід приділити саме параметричної оптимізаціїВиходячи з аналізу даної проблематики, процес охолодження і конденсації необхідно вести не по відхиленню температури на виході вузла, а за показниками приладу контролю температури парогазової суміші на вході, що дозволить своєчасно компенсувати збурення. При цьому для стабілізації процесу теплообміну доцільно застосувати систему дискретного регулювання, в якій буде задіяне лише існуюче технологічне, контрольно-вимірювальне та електросилове устаткування. Сама система регулювання може бути реалізована у вигляді математичного алгоритму, що виконується в комп’ютері або в контролері.

Результатом роботи керуючого алгоритму є вмикання (вимикання) одного або декількох апаратів повітряного охолодження при зміні температури на вході вузла, з урахуванням витрати газопродуктової суміші та її температури. Якщо при всіх працюючих АВО не вдається відвести необхідну кількість тепла, то вмикається зрошення на одному або декількох холодильниках.

При цьому головною проблемою, а відповідно й задачею дослідження, було визначення умов, за якими дискретне керування об’єктом буде наближатись за якістю до аналогового.

Дійсно, при послідовному включенні ефективність теплообміну в холодильниках повітряного охолодження буде різною (залежно від перепаду температур на вході кожного теплообмінника і температури навколишнього середовища). Перший холодильник працює з найбільшою ефективністю, а останній – з найменшою. Отже, на теплообміннику кожного холодильника відбуватиметься падіння температури на певну величину, на першому – на $\Delta_1$, на другому – на $\Delta_2$, на третьому – на $\Delta_3$, а на четвертому – на $\Delta_4$. Причому $\Delta_1 > \Delta_2 > \Delta_3 > \Delta_4$. При включенні повітряного охолодження на холодильниках відбувається додаткове зниження температури на величини, відповідно, $\Delta_1' > \Delta_2' > \Delta_3' > \Delta_4'$.

Застосовуючи пошуковий алгоритм, система, з урахуванням реальної продуктивності кожного апарату, вмикає їх у такому наборі та послідовності, щоб мінімізувати стрибок температури газопродуктової суміші на виході вузла в цілому.

Оскільки апарати повітряного охолодження розташовані на відкритому майданчику, процес теплообміну залежить від кліматичних умов. Тому в алгоритмі, в обов'язковому порядку, повинна враховуватися температура повітря навколишнього середовища.

Спрощена функціональна схема запропонованого технічного рішення наведена на рис. 2.

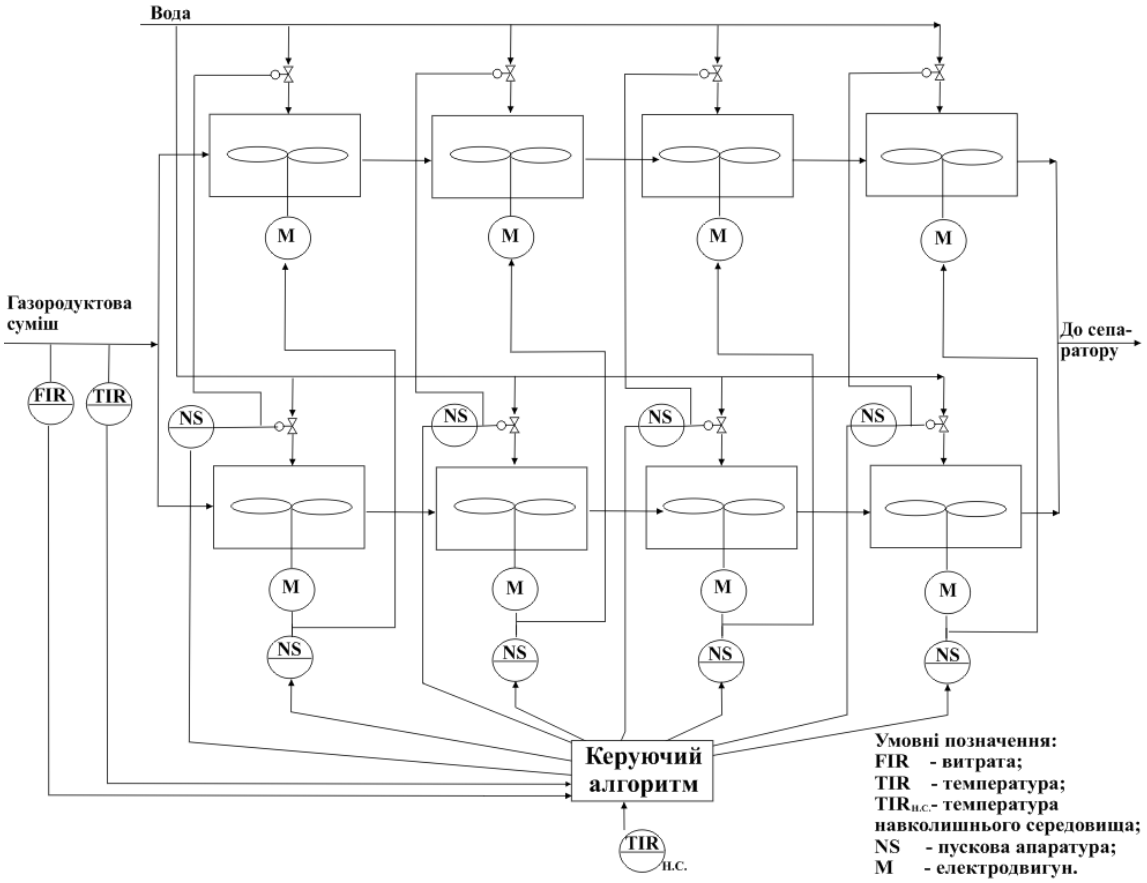



Рис. 2. Схема автоматизації вузла охолодження і конденсації із застосуванням дискретної системи регулювання на базі керуючого алгоритму

**Висновки.** Запропонований оптимальний підхід до регулювання роботи вузла охолодження і конденсації газопродуктової суміші у виробництві метанолу не вимагає використання додаткового обладнання і дозволяє обійтися тільки тими технічними засобами, які вже встановлені на виробництві. Запропонована система управління здатна виключити ймовірність «температурних ривків», різкої зміни перепаду тиску між виходом реактора та прийомом циркуляційного компресора, і, як наслідок, виникнення збурюючих впливів, які можуть призвести до дестабілізації роботи агрегату синтезу метанолу.

Оскільки використання АПО замість інших відомих теплообмінних апаратів є економічно виправданим [3], вони широко використовуються в хімічної та нафтохімічної промисловості, при транспортуванні природного газу та у інших галузях. Для керування роботою багатовентиляторних АПО з послідовним з'єднанням теплообмінних секцій доцільно використовувати дискретну систему ступінчатого регулювання з пошуком оптимальних комбінацій вмикнених та вімкнених вентиляторів, що дозволяє значно, в залежності від кількості вентиляторів, зменшувати ступінь дискретності регулювання температури охолоджуваної речовини на виході з АПО.

Запропоновано оптимальний підхід до регулювання роботи вузла охолодження і конденсації газопродуктової суміші у виробництві метанолу, який не вимагає використання додаткового обладнання і дозволяє обійтися тільки тими технічними засобами, які вже встановлені на виробництві. Запропонована система управління здатна виключити ймовірність «температурних ривків», різкої зміни перепаду тиску між виходом реактора та прийомом циркуляційного компресора, і, як наслідок, виникнення збурюючих впливів, які можуть призвести до дестабілізації роботи агрегату синтезу метанолу.

**Література**

1. Амелин А.Г. Общая химическая технология [Текст] / А.Г.Амелин, А.М.Кутепов – М.: Химия, 1977. – 324 с.
2. Стенцель Й.І. Автоматизація технологічних процесів хімічних виробництв: Підручник [Текст] / Й.І. Стенцель, О.В. Поркуян - Луганськ: вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля, 2010. – 300 с.
3. Математичне моделювання технологічних об'єктів [Текст] : Підручник / О.Б.Целіщев, П.Й.Єлісєєв, М.Г.Лорія, І.І.Захаров – Луганськ. Вид–во Східноукр. нац. унів. ім. В. Даля, 2011. – 421 с.
4. Принципы математического моделирования химикотехнологических систем [Текст] / В.В.Кафаров, В.Л.Перов, В.П.Мешалкин и др.– М.: Химия, 1974. - 344 с.

5. Spatial Self-Organization in One Process of Chemical Technology [Text] : International Conference on Differential Equations and Dynamical Systems., 1-4 August 1997. Canada. Watérloo : 1997. - P. 166.
6. Thermal Spots in an Industrial Packed Bed Catalytic Reactor [Text] : Year 2000 International Conference on Dynamical Systems and Differential Equations (ICDSDE) Abstracts Book. USA, Kennesaw, 2000. - P.81.
7. Абдалхамид, Д. Система экстремального управления многополочным реактором с моделью [Текст] / Д.Абдалхамид, М.Г.Лория, А.Б.Целищев, П.И.Елисеев // Вісник СНУ. - 2012. - №15(186). - ч.2. - С.152-156

**R e f e r e n c e s**

1. Amelin A.G., General chemical technology. (1977). Moscow, USSR:Higher school, 448c.
2. Stentsel Y.I., (2010). Avtomatyzatsiia tekhnologichnykh protsesiv khimichnykh vyrobnytstv, Pidruchnyk [Automation of technological processes of chemical production, Textbook], Luhansk, vyd-vo Skhidnoukr. nats. uh-tu im. V. Dalia, , 300 p.
3. Tselishchev O.B. (2011), Matematychne modelyuvannia tekhnologichnykh obektiv [Mathematical modeling of technological objects], Luhansk. Vyd-vo Skhidnoukr. nats. uh-tu im. V. Dalia, 421 p.
4. Kafarov V.V., (1974).Principles of mathematical design of the chemical-technological systems. Moscow, USSR:Chemistry,. 344 p.
5. Spatial Self-Organization in One Process of Chemical Technology [Text] : International Conference on Differential Equations and Dynamical Systems., 1-4 August 1997. Canada. Watérloo : 1997. - P. 166.
6. Thermal Spots in an Industrial Packed Bed Catalytic Reactor [Text] : Year 2000 International Conference on Dynamical Systems and Differential Equations (ICDSDE) Abstracts Book. USA, Kennesaw, 2000. - P.81.
7. D.Abdalhamid, (2012). System extreme management by a multishelf of Reactor with the model / D.Abdalhamid, Loriia M.G., Tselishchev O.B., Yelisieiev P.Y., // Visnik SNU. - №15(186). - p.2. p.152-156p

**М.Г. Лория, О. В. Поркуян, А.Б. Целищев, П.И. Елисеев. Оптимальное управление узлом охлаждения и конденсации газопродуктовой смеси в производстве синтеза метанола.**

*Приведен анализ влияния несогласованной работы узла охлаждения и конденсации на стабильность производственного процесса синтеза метанола. Предложен нетрадиционный подход к регулированию работы узла охлаждения и конденсации, основанный на принципе компенсации возмущений путем выбора оптимальной схемы включения элементов узла.*

***Ключевые слова:*** *Математическая модель, адаптация модели, реактор, автоматизированная система регулирования, оптимизация.*

Ключові слова: Математична модель, адаптація моделі, реактор, автоматизована система регулювання, оптимізація.

**Loriia M.G., Porkuyan O. V., Tselishchev O.B., P.I. Yeliseev Optimum management of cooling and condensation of gas prepared mixture in methanol production methods**

*Analysis of impact of uncoordinated work of the node of cooling and condensing of gas product mix on stability of process of methanol synthesis is described. Unconventional approach to the control of the node of cooling and condensation is proposed. The approach is based on the principle of compensation of disturbances by selecting the optimal scheme of work of elements of the node.*

***Keywords:*** *Mathematical model, adaptation of model, reactor, automatic system of adjusting, optimization.*

**Лорія Марина Геннадіївна** – доцент кафедри електронних апаратів Східноукраїнського національного університету ім.. В. Даля, кандидат технічних наук, доцент.E-mail: atp01@ukr.net.

**Поркуян Ольга Вікторівна**– доктор наук, професор, ректор Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.E-mail: olgaporkuyan@gmail.com

**Целіщев Олексій Борисович** – директор інституту міжнародних відносин Східноукраїнського національного університету ім.. В. Даля, доктор технічних наук, доцент. E-mail: atp00@ukr.net.

**Єлісєєв Петро Йосипович** – доцент кафедри автоматизації технологічних процесів Східноукраїнського національного університету ім.. В. Даля, кандидат технічних наук, доцент. E-mail: eliseev@sed.lg.ua.

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Соколов В.І.***

Стаття подана 03.04.2019

УДК 656.025.2

# АНАЛІЗ ДОСТУПНОСТІ ВОКЗАЛІВ АТ «УКРАЇНСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ» ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ОБМЕЖЕНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ

**Музикін М. І., Нестеренко Г. І., Авраменко С. І.**

# ANALYSIS OF THE AVAILABILITY OF THE STATION OF JSC «UKRAINIAN RAILWAY» FOR PEOPLE WITH DISABILITIES

**Muzykin M., Nesterenko H., Avramenko S.**

*У даній статті розглянуте питання проблем перевезення людей з обмеженими можливостями. Проведено аналіз доступності вокзалів Дніпро, Запоріжжя-1, Львів, Чернівці та Чоп для людей з обмеженими можливостями. Надані рекомендації щодо безперешкодного доступу до вокзалів для маломобільних пасажирів. Створити всі умови для того, щоб люди з обмеженими фізичними можливостями відчували себе вільно і впевнено – саме в цьому полягає завдання держави в сфері соціального захисту населення.*

***Ключові слова:*** *особа з обмеженими можливостями; маломобільні пасажири; вокзал; безперешкодний доступ.*

**Вступ.** Політика, яка проводиться в даний час щодо інвалідів – результат розвитку суспільства протягом останніх двохсот років. Багато в чому ця політика є відображенням загальних умов життя і соціально-економічної політики, що проводилась в різний час. Однак інвалідність має багато характерних для неї рис, які вплинули на умови життя цих людей. Невігластво, зневага, забобони, страх і т. п. – ось ті соціальні чинники, які на протязі всієї історії були перешкодою для розвитку здібностей інвалідів та вели до їх ізоляції.

Протягом багатьох років політика щодо інвалідів змінювалася: вона пройшла шлях від звичайного догляду за інвалідами у відповідних установах до отримання освіти дітьми-інвалідами та реабілітації осіб, які стали інвалідами вже в зрілому віці. Завдяки освіті і реабілітації інваліди стали більш активно виступати за подальший розвиток політики по відношенню до інвалідів. Створені організації інвалідів, їх сімей та прихильників, які виступають за поліпшення умов життя інвалідів. Після другої світової війни з'явилися такі концепції, як інтеграція і включення інвалідів в нормальне життя суспільства, що відображають зростаюче розуміння потенційних можливостей інвалідів.

В кінці 60-х років в деяких країнах організації інвалідів почали розробляти нову концепцію інвалідності. Ця концепція враховувала тісний зв'язок між обмеженнями, які відчуває інвалід, структурою і характером навколишнього його середовища і ставленням населення до інвалідів. Одночасно проблеми інвалідів все частіше починають висвітлюватися в країнах, що розвиваються. У деяких з цих країн відсоток інвалідів від загальної чисельності населення досить великий, причому інваліди, як правило, є найбіднішими особами в суспільстві [1].

**Постановка проблеми.** З огляду на загальноприйняті вимоги міжнародного права, очевидно, що залізничний транспорт, як і весь транспортний комплекс Європи і України в цілому, має безпосереднє відношення до забезпечення здійснення інвалідами прав і свобод в частині транспортного обслуговування на одному рівні з усіма членами суспільства.

Таким чином, сьогодні перед транспортним комплексом України, яка прагне до інтеграції в європейську транспортну систему, стоять актуальні завдання по створенню повного комплексу послуг з перевезення та обслуговування інвалідів та осіб з обмеженою рухливістю.

На залізницях України з метою підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту за рахунок залучення нових пасажиропотоків [2], що можливо тільки при поліпшенні обслуговування пасажирів з наданням їм на станціях і в поїздах різноманітних послуг високої якості, в даний час особлива увага приділяється такій категорії пасажирів, як особи з обмеженими фізичними можливостями.

На мережі залізниць вживаються заходи щодо створення оптимальних умов для поїздок пасажирів з обмеженими фізичними можливостями, тобто інвалідів (останній термін в Європі з міркувань політкоректності намагаються не вживати). Це нелегке завдання, тому що більшість станцій побудовано багато років тому, коли вимоги до забезпечення мобільності осіб з обмеженими фізичними можливостя-

ми були не настільки жорсткими і специфічні потреби пасажирів певних категорій практично не враховувалися.

Ще більше ускладнює ситуацію те, що має місце значення висоти посадкових платформ. Крім того рухомий склад, що будувався до 1985 року, не мав пристроїв для обслуговування інвалідів [3, 4]. Тому, незважаючи на заходи, що реалізуються, завдання пристосування інфраструктури і рухомого складу для потреб пасажирів цієї категорії ще далеко від повного вирішення.

Необхідно проводити пошук додаткового пасажиропотоку для залізничного транспорту. Одним з сегментів цього ринку є люди з обмеженими можливостями. Створення безперешкодного доступу для цієї категорії пасажирів дозволить збільшити прибутки АТ «Українська залізниця».

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У закордонній практиці при удосконаленні технології роботи залізничних вокзалів приділяється багато уваги правильній організації простору приміщень вокзалу на основі принципів зонування [5]. Вченими розглянута можливість реалізації концепції трансферних пасажирських перевезень. При цьому визначається завантаження інфраструктури залізничних вокзалів, що дозволить підвищити точність планування перевезень на залізницях України.

Для пасажира відсутність можливості швидко та зручно визначити вірний напрямок руху або визначити свою наступну мету призначення на залізничному вокзалі та за його межами є визначальним щодо задоволеності рівнем послуг під час подорожі [6]. Автори ставили за мету вдосконалити систему орієнтування пасажирів на вокзалах. Завдяки цьому можливо мінімізувати дезорієнтацію пасажирів, що перебувають на вокзалі, та мінімізувати перехресні маршрути руху пасажирів під час посадки у поїзд.

В статті [7] проводився аналіз видів конкуренції на транспортному ринку з метою пошуку шляхів підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту. Автори прийшли до висновку, що конкуренція між підприємствами транспортної галузі поставить питання про підвищення конкурентоспроможності не тільки залізничних підсистем, безпосередньо задіяних у технологіях руху вантажів і пересування пасажирів, але й організації інфраструктури. Це стосується, в першу чергу, підсистем із розширення послуг та поліпшення сервісу для пасажирів, зокрема такої категорії як маломобільні пасажири.

В дослідженні [8] з метою формалізації процесу пошуку топології залізничної пасажирської мережі та визначення найбільш імовірного розподілення в сформованій мережі потоків поїздів (високошвидкісних та звичайних), було запропоновано використати критерій ентропії системи, адаптований к пасажиро-орієнтованим перевезенням. Це дозволить підвищити економічну ефективність високошвидкісного та звичайного руху поїздів відповідно до попиту на перевезення.

**Мета статті.** Провести аналіз доступності вокзалів для людей з обмеженими можливостями та визначення заходів щодо створення безперешкодного доступу для цієї категорії пасажирів.

**Результати досліджень.** Дуже великий вклад в створення умов для безперешкодного доступу осіб з обмеженими можливостями до інфраструктури АТ «Українська залізниця» здійснюють начальники вокзалів разом зі своїми підлеглими. Багато роботи вже зроблено, але основна робота ще попереду.

На сьогоднішній день стан прилеглої території та зон паркування автомобілів на вокзалах АТ «Українська залізниця» наведені в таблицях 1-2.

Таблиця 1

**Прилегла територія до вокзалів**

| № п/п | Архітектурна доступність | Вокзали | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Дніпро | Запоріжжя-1 | Львів | Чернівці | Чоп |
| 1 | пішохідні переходи | + | + | + | + | + |
| 2 | відстань до входу (м.) | 20 | 10 | 5 | 5 | 15-30 |
| 3 | понижені до 2-4 см бордюри і похилі площини (пандуси) | + | + | + | + | + |
| 4 | озвучені переходи | - | - | - | - | - |
| 5 | табло відліку часу на світлофорах | - | - | - | - | - |

Таблиця 2

**Зона паркування автомобілів**

| № п/п | Архітектурна доступність | Вокзали | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Дніпро | Запоріжжя-1 | Львів | Чернівці | Чоп |
| 1 | відстань від головного входу (м.) | 15 | 15 | 100 | 100 | 15 |
| 2 | виділені місця для стоянки а/м осіб з інвалідністю | + | + | + | + | + |
| 3 | ці місця є найближче до входу у будівлю вокзалу | + | + | - | - | + |
| 4 | виїзд зі стоянки на тротуар обладнаний похилою площиною (пандусом) | + | + | + | + | + |
| 5 | похила площина позначена контрастною фарбою | + | + | + | + | + |

Як бачимо з таблиці 2 на вокзалах Львів та Чернівці місця для стоянки автомобілів осіб з інвалідністю не розташовані найближче до входу у будівлю вокзалу.

Принаймні одні з дверей входу мають бути доступні для вільного користування маломобільними особами з відповідним їх позначенням міжнародним символом доступності. Потрібно встановити засоби попередження та орієнтування пасажирів з порушенням зору відповідно до вимог вказаних у ДСТУ-Н В.2.2-31-2011 «Будинки і споруди. Настанова з облаштування будинків і споруд цивільного призначення елементами доступності для осіб з вадами зору та слуху» [9]. Необхідно нанести контрастні смуги на всі прозорі скляні конструкції (двері, перегородки тощо) відповідно до вимог викладених у ДБН В.2.2-40:2018 «Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення» [10]. На всіх сходах повинні бути встановлені перила, при ширині сходів більше 2,5 м, встановлювати додаткові перила. Уздовж обох боків усіх сходів і пандусів, а також біля всіх перепадів висот висотою більше 0,45 м. необхідно встановлювати огорожу з поручнями. Доступність до приміщень та входів/виходів до будівлі вокзалів наведено в таблицях 3-4.

З таблиці 3 бачимо, що на вокзалі Чернівці відсутній звуковий маячок (інформатор) при вході до будівлі вокзалу.

Як свідчать дані таблиці 4 на вокзалі Чоп слизька підлога в холі вестибюлю, а на вокзалі Запоріжжя-1 інформаційне табло не пристосовано для користування людьми з порушенням зору. Потрібно створити рельєфний план будівлі вокзалу та прилеглої території таким чином, щоб це було доступно для ознайомлення з ним пасажирам з порушенням зору. Варто відмітити, що на вокзалі Львів є в наявності ліфт з площі на перон. Доступність до приміщень залу очікування та закладів харчування наведена в таблиці 5.

Таблиця 3

**Входи/виходи до будівлі вокзалу (головний)**

| № п/п | Архітектурна доступність | Вокзали | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Дніпро | Запоріжжя-1 | Львів | Чернівці | Чоп |
| 1 | кількість входів | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 |
| 2 | ширина тротуару перед входом (м.) | 12-16 | 15 | 10 | 4 | 7 |
| 3 | перепад рівнів від землі до рівня входу (м.) | 3 | - | 0,5 | 0,2 | № 1 – 1,4 м; № 2,3 – 0,3 м |
| 4 | кількість сходинок при вході № 1 | 18 | 6 | 3 | 0 | 9 |
| 5 | кількість сходинок при вході № 2 | 16 | 12 | 3 | 0 | 2 |
| 6 | кількість сходинок при вході № 3 | - | 5 | - | - | 2 |
| 7 | розміри сходинок (см.) | ширина - 30см; висота - 16÷20 см | - | ширина - 50см | - | ширина - 25см |
| 8 | сходи захищені накриттям від атмосферних опадів | - | - | + | - | № 1,2 – ні; № 3 – так |
| 9 | сходи слизькі | - | - | - | - | № 1 – так; № 2,3 – ні |
| 10 | сходи промарковані контрастною розміткою | + | + | + | - | + |
| 11 | сходи облаштовані поручнями | - | + | + | - | + |
| 12 | висота поруччя при сходах (см.) | - | - | 100 | - | 120 |
| 13 | біля сходів існує пандус згідно ДБН В.2.2-17-2006 | + | - | + | - | + |
| 14 | якщо двері прозорі чи є контрастне маркування на полотні дверей | + | + | + | + | + |
| 15 | поріг в дверях головного входу до 2,5 см. | + | + | + | + | + |
| 16 | наявність тамбура | - | + | + | - | + |
| 17 | Звуковий маячок (інформатор) при вході | + | + | + | - | + |

Таблиця 4

**Доступність до приміщення вестибюлю**

| № п/п | Архітектурна доступність | Вокзали | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Дніпро | Запоріжжя-1 | Львів | Чернівці | Чоп |
| 1 | достатнє освітлення в приміщенні вестибюлю | + | + | + | + | + |
| 2 | слизька плитка в холі вестибюлю | - | - | - | - | + |
| 3 | наявність інформації про місця доступні (облаштовані) для людей з інвалідністю | + | + | + | + | + |
| 4 | висота до інформаційного табло (см.) | 90 | 250 | 500 | 100 | 120 |
| 5 | інформаційне табло добре читається людям з порушенням зору | + | - | + | + | + |
| 6 | наявність туалету на першому поверсі вокзалу | + | + | + | + | + |
| 7 | туалет доступний для малобільних груп населення (МГН) | + | + | + | + | + |
| 8 | кількість поверхів будівлі залізничного вокзалу | 2 (6) | 3 | 3 | 2 | 2 |
| 9 | всі поверхи залізничного вокзалу доступні для МГН | - | - | - | - | - |
| 10 | наявність ліфта у будівлі вокзалу | - | - | - | - | - |
| 11 | кількість ліфтів | - | - | 1 (з площі на перон) | - | - |
| 12 | ширина дверей у ліфт (см.) | - | - | 100 | - | - |
| 13 | висота до кнопки виклику ліфта (см.) | - | - | 100 | - | - |
| 14 | висота до пульта керування ліфтом (см.) | - | - | 100 | - | - |
| 15 | поверхи зупинки ліфта озвучуються | - | - | - | - | - |
| 16 | висота віконечка до кас приміського сполучення (см.) | 90 | 100 | 100 | 80 | 140 |
| 17 | висота віконечка до кас дальнього сполучення (см.) | 90 | 100 | 100 | 80 | 140 |

Таблиця 5

**Доступність до приміщень залу очікування та закладів харчування**

| № п/п | Архітектурна доступність | Вокзали | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Дніпро | Запоріжжя-1 | Львів | Чернівці | Чоп |
| | **Зал очікування** | | | | | |
| 1 | наявність місць для людей з інвалідністю | + | + | + | + | + |
| 2 | поверхня лавки | тверда, м'яка | тверда, м'яка | тверда | тверда | тверда, інша |
| 3 | Висота сидіння (см.) | 50 | 50 | 50 | 40 | 40 |
| | **Заклади харчування (ресторани, бари, тощо)** | | | | | |
| 1 | заклади харчування | + | - | ресторан, бари, кафе | - | - |
| 2 | на якому поверсі вони знаходяться | 1 | - | 1, 2, 3 | - | - |
| 3 | вхід в заклад | з приміщен-ня | - | окремий та з приміщен-ня | - | - |
| 4 | загальна ширина дверей (см.) | - | - | 150 | - | - |
| 5 | висота порогу | - | - | - | - | - |
| 6 | місця між столами (стійками), для проїзду інвалідним візком достатньо | + | - | + | - | - |

Таблиця 6

**Доступність сходів між поверхами, коридорів та перону/платформ**

| № п/п | Архітектурна доступність | Вокзали | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Дніпро | Запоріжжя-1 | Львів | Чернівці | Чоп |
| | **Сходи між поверхами** | | | | | |
| 1 | сходи слизькі | - | - | - | - | + |
| 2 | сходи суцільні без просвітів | + | - | + | + | - |
| 3 | сходи промарковані контрастною розміткою | + | + | + | + | + |
| 4 | сходи облаштовані поручнями | + | + | + | + | + |
| | **Коридори** | | | | | |
| 1 | освітлення в коридорах достатнє | + | + | + | + | + |
| 2 | покриття підлоги утруднює рух інвалідним візком | - | - | - | - | - |
| 3 | кольори підлоги та стін контрастують | - | + | + | + | + |
| 4 | кольори дверей і стін контрастують | - | + | + | + | + |
| | **Перон/платформа для посадки у вагон поїзда** | | | | | |
| 1 | загальна кількість перонів, платформ | 5 | 4 | 5 | 5 | 3 |
| 2 | пониження в місцях переходу через колію зроблені | + | + | + | + | + |
| 3 | позначені інформаційною табличкою номери колії (перонів, платформ тощо), котрі можна прочитати здалеку при переході через колії | + | + | + | + | + |

На кожному вокзалі в наявності місця для людей з інвалідністю. Заклади харчування є в наявності на вокзалах Дніпро та Львів, в цих закладах достатньо місця між столами для проїзду інвалідним візком. Необхідно врахувати, що для деяких людей з порушенням опорно-рухового апарату потрібні стільці, крісла тощо, збільшеної висоти, з високим поруччям, для комфортного сідання та вставання. В таблиці 6 наведена доступність сходів між поверхами, коридорів та перону/платформ.

**Висновки.** Створити всі умови для того, щоб люди з обмеженими фізичними можливостями відчували себе вільно і впевнено – саме в цьому полягає завдання держави в сфері соціального захисту інвалідів. На сьогоднішній день АТ «Українська залізниця» проводиться велика робота щодо поетапного включення до составів поїздів далекого сполучення спеціалізованих вагонів для перевезення інвалідів. Крім того, створюються необхідні умови для безпечного користування особами з обмеженими фізичними можливостями транспортної інфраструктури: вокзалами, привокзальними територіями, переходами через залізничні колії і т. і.

**Література**


1. Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН от 20.12.1993 № 48/96.
2. Нестеренко Г. І., Авраменко С. І., Музикін М. І., Ханеня О. І. Залучення додаткових обсягів пасажирів. *Міжнародний професійний журнал «Вагонний парк»*. 2017. № 05-06 (122-123). С. 48-50.
3. Нестеренко Г. И., Музыкина С. И., Музыкин М. И. Анализ существующей системы организации перевозок пассажиров с ограниченными возможностями железнодорожным транспортом Украины. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2016. №1 (225). С. 139-146.
4. Нестеренко Г. И., Яновский П. А., Литвиненко С. Л., Габриэлова Т. Ю. Техническая спецификация интероперабельности для перевозки инвалидов и пассажиров с ограниченной подвижностью. Учебное пособие – 2-ое изд. перераб. и доп. К. : Кондор-Издательство, 2017. 264 с.
5. Прохорченко А. В., Журба О. О., Кобаренко Я. Е. Аналіз організації роботи залізничних вокзалів в умовах здійснення трансферних пасажирських перевезень. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016. Вип. 165. Стор. 34-43.
6. Прохорченко А. В., Паламарчук В. В. Удосконалення системи орієнтування пасажирів на залізничних вокзалах України в умовах упровадження швидкісного руху пасажирських поїздів. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. Вип. 169. Стор. 213-224.
7. Бех П. В., Нестеренко Г. І., Музикіна С. І., Лашков О. В., Музикін М. І. Шляхи підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту в сучасних умовах. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2015. №5 (59). Стор. 25-39.
8. Panchenko S., ButkoT., Prokhorchenko A., Parkhomenko L., Zhurba O. Development of rational rail network topology for high-speed and conventional trains based on bacterial foraging optimization. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Issue 7 (4.3). P. 217-221.

9. ДСТУ-Н В.2.2-31-2011 «Настанова з облаштування будинків і споруд цивільного призначення елементами доступності для осіб з вадами зору та слуху».
10. ДБН В.2.2-40:2018 «Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення».

**R e f e r e n c e s**

1. Rezoljucija Generalnoj Assamblei OON ot 20.12.1993 № 48/96.
2. Nesterenko H. I., Avramenko S. I., Muzykin M. I., Khanenja O. I. Zaluchennja dodatkovykh obsjaghiv pasazhyriv [Attraction of additional volumes of passengers], *Mizhnarodnyj profesijnyj zhurnal «Vaghonnyj park»* [International professional magazine «Railcar park»], 2017, issue 05-06 (122-123), pp. 48-50.
3. Nesterenko H. I., Muzykina S. I., Muzykin M. I. Analiz sushhestvujushhej sistemy organizacii perevozok passazhirov s ogranichennymi vozmozhnostjami zheleznodorozhnym transporttom Ukrainy [Analysis of the existing system of organization of transportation passengers with disabilities by railway transport in Ukraine], *Visnyk Skhidnoukrajinskjogho nacionaljnogho universytetu imeni Volodymyra Dalja* [Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University], 2016, issue 1 (225), pp. 139-146.
4. Nesterenko H. I., Janovskij P. A., Litvinenko S. L., Habrijelova T. Ju. Tehnicheskaja specifikacija interoperabelnosti dlja perevozki invalidov i passazhirov s ogranichennoj podvizhnostju. Uchebnoe posobie – 2-oe izd. pererab. i dop. K. : Kondor-Izdatelstvo, 2017. – 264 s.
5. Prokhorchenko A. V., Zhurba O. O., Kobarenko Ja. E. Analiz orghanizaciji roboty zaliznychnykh vokzaliv v umovakh zdijsnennja transfernykh pasazhyrsjkykh perevezenj [Analysis of the work station under the conditions of the transfer of the passenger traffic], *Zbirnyk naukovykh pracj Ukrajinsjkogho derzhavnogho universytetu zaliznychnogho transport* [Proceedings of Ukrainian State University of Railway Transport], 2016, issue 165, pp. 34-43.
6. Prokhorchenko A. V., Palamarchuk V. V. Udoskonalennja systemy orijentuvannja pasazhyriv na zaliznychnykh vokzalakh Ukrajiny v umovakh uprovadzhennja shvydkisnogho rukhu pasazhyrsjkykh pojizdiv [Improvement of the passenger orientation system at railway stations in Ukraine in conditions of introducing the speed movement of passenger trains], *Zbirnyk naukovykh pracj Ukrajinsjkogho derzhavnogho universytetu zaliznychnogho transport* [Proceedings of Ukrainian State University of Railway Transport], 2017, issue 169, pp. 213-224.
7. Bekh P. V., Nesterenko H. I., Muzykina S. I., Lashkov O. V., Muzykin M. I. Shljakhy pidvyshhennja konkurentospromozhnosti zaliznychnogho transportu v suchasnykh umovakh [Ways to increase competitiveness of railway transport in modern conditions], *Nauka ta progress transportu. Visnyk Dnipropetrovsjkogho nacionaljnogho universytetu zaliznychnogho transport* [Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2015, issue 5(59), pp. 25-39.
8. Panchenko S., ButkoT., Prokhorchenko A., Parkhomenko L., Zhurba O. Development of rational rail network topology for high-speed and conventional trains based on bacterial foraging optimization. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Issue 7 (4.3). P. 217-221.
9. DSTU-N V.2.2-31-2011 «Nastanova z oblashtuvannja budynkiv i sporud cyviljnogho pryznachennja elementamy dostupnosti dlja osib z vadamy zoru ta slukhu» [«Guidelines for the installation of buildings and facilities for civilian use by accessibility elements for visually impaired and hearing impaired persons»].
10. DBN V.2.2-40:2018 «Inkljuzyvnist budivel i sporud. Osnovni polozhennja» [«Incluziya of buildings and strukches. Substantive provisions»].

**Музыкин М. И., Нестеренко Г. И., Авраменко С. И. Анализ доступности вокзалов АО «Украинская железная дорога» для людей с ограниченными возможностями.**

*В данной статье рассмотрен вопрос проблем перевозки людей с ограниченными возможностями. Проведен анализ доступности вокзалов Днепр, Запорожье-1, Львов, Черновцы и Чоп для людей с ограниченными возможностями. Даны рекомендации по беспрепятственному доступа к вокзалам для маломобильных пассажиров. Создать все условия для того, чтобы люди с ограниченными физическими возможностями чувствовали себя свободно и уверенно – именно в этом состоит задача государства в сфере социальной защиты населения.*

***Ключевые слова:*** *лицо с ограниченными возможностями; маломобильные пассажиры; вокзал; беспрепятственный доступ.*

**Muzykin M., Nesterenko H., Avramenko S. Analysis of the availability of the station of JSC "Ukrainian Railway" for people with disabilities.**

*In this article the question of problems of transportation of physically disabled people is considered. The analysis of availa-bility of stations Dnipro, Zaporizhia-1, Lviv, Chernivtsi and Chop for physically disabled people is carried out. Recommendations for unimpeded access to stations for handicapped passengers are given. To create all conditions in order that physically disabled people felt freely and surely – this is the task of the state in the sphere of social protection of the population consists. To date, JSC "Ukrainian Railways" is carrying out a great deal of work on the gradual incorporation into the trains of long-distance trains of specialized cars for the transportation of persons with disabilities. In addition, necessary conditions are created for the safe use of persons with disabilities in the transport infrastructure: railway stations, railway stations, railways crossings, etc.*

***Keywords:*** *a person with disabilities; handicapped passengers; railway station; unhindered access.*

**Музикін М. І.** – к.т.н., старший викладач кафедри «Безпека життєдіяльності» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ), e-mail: mihailmuzykin@ gmail.com
**Нестеренко Г. І.** – к.т.н., доцент, доцент кафедри «Управління експлуатаційною роботою» ДНУЗТ,
e-mail: galinamuzykina@rambler.ru
**Авраменко С. І.** – к.т.н., доцент, доцент кафедри «Безпека життєдіяльності» ДНУЗТ, e-mail: fufei8791@gmail.com

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Н. Б. Чернецька-Білецька***

Стаття подана 13.04.2019

УДК 519.852.35: 656.073

# ОПТИМІЗАЦІЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ МАРШРУТАМИ МІЖНАРОДНИХ ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРІВ

**Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудін О.Г., Пилипенко Ю.В.**

# OPTIMIZATION OF MULTIMODAL FREIGHT TRANSPORT BY ROAD ROUTES OF INTERNATIONAL TRANSPORT CORRIDORS

**Prokudin G.S., Chupaylenko O.A., Prokudin O.G., Pilipenko Yu.V.**

*Опис моделі мультимодальних перевезень у транспортних системах дає можливість системно підійти до задачі оптимізації транспортних перевезень вантажів за комбінованою схемою взаємодії різних видів транспорту (автомобільного, водного і залізничного) з урахуванням усього спектра обмежень, що існують у системах подібного роду. Приведений опис структури і змісту бази даних основних видів транспорту та міжнародних транспортних коридорів у цілому представляє інфраструктуру транспортних систем України та Західної Європи, яка за допомогою спеціальної процедури перетворює відповідні бази даних у матриці транспортних кореспонденцій. Матричне представлення перевізного процесу, у свою чергу, дозволяє описати його у вигляді відповідної математичної моделі і застосувати при її аналізі методи і засоби сучасних інформаційних технологій. Процедура знаходження оптимальних планів перевезення вантажів на транспортних мережах обирає з усіх існуючих варіантів перевезення вантажів найбільш дешеві або за критерієм вартості, або за критерієм часу. Використання в процесі знаходження оптимального плану вантажних перевезень маршрутів міжнародних транспортних коридорів дозволяє значною мірою підвищити якість управлінських рішень, які приймаються.*

***Ключові слова:*** *оптимізація, критерій, процедура, база даних, міжнародні транспортні коридори, перевезення вантажів, маршрут.*

**Вступ.** Глобалізація світової економіки вимагає розвитку економічних зв'язків між країнами. Для цього потрібна розвинута система міжнародної тарнспортної мережи між країнами. Транспортна мережа України, як транзитної країни, є частиної не тільки європейської, но і світової транспортної мережи. Важливим елементом мережи є міжнародні транспортні коридори (МТК), які проходять через територію України з півночі до півдня та з заходу до сходу. МТК є комплексом наземних і водних шляхів з відповідною інфраструктурою, яка відповідає міжнародним стандартам. Ефективне використання МТК не можливе без розвитку мультимодальних перевезень, які дозволяють використовувати різні види транспорту. Концепція розвитку транспортно-дорожнього комплексу (ТДК) України на середньостроковий період та до 2020 року передбачає активізацію процесів інтеграції в міжнародну транспортну мережу. Використання сучасних транспортних технологій у міжнародних перевезеннях дозволить прискорити переміщення пасажирів і вантажів між країнами та прискорити економічний розвиток України.

**Постановка проблеми.** Постійний розвиток системи МТК і транспортних засобів потребує оптимізації системи взаємодії різних видів транспорту і оптимальних планів вантажних перевезень у міжнародному сполученні маршрутами МТК, що дозволить у значній мірі підвищити якість управлінських рішень. Впровадження сучасних інформаційних технологій дозволяє автоматизувати ці процеси і зробити їх доступними для усіх учасників транспортних процесів. Тому актуальними є дослідження впливу МТК на підвищення ефективності перевезення вантажів у міжнародному сполученні.

**Аналіз останніх досліджень.** Використання МТК підтримується на державному та міжнародному рівні [1]. Це не тільки створення умов для швидкого переміщення вантажів, безпечної роботи водіїв. Но і створення пільгових митних тарифів, спрощення митних процедур. Інформаційні технології повинні враховувати вартісні показники міжнародних перевезень.

Уся інфраструктура МТК управляється і координується з єдиного центру. Але є проблеми з створенням сучасних інформаційних технологій, які можуть використовувати усі учасники транспортних процесів [2].

Сучасні транспортні системи використовують велику кількість учасників, які потребують координації дій, розробки оптимальної взаємодії різних видів транспорту в різних країнах. Мультимодальні перевезення потребують спеціальних комп'ютерних програм, які повинні враховувати не тільки взаємо-

дію різних видів транспорту, но і комбінацію оптимальних маршрутів з використанням МТК по вартісним показникам [3].

**Метою статті** є використання при знаходженні оптимальних планів вантажних перевезень у міжнародному сполученні маршрутів міжнародних транспортних коридорів, що дозволить у значній мірі підвищити якість управлінських рішень, які приймаються. Процедура знаходження оптимальних планів перевезення вантажів на транспортних мережах повинна обирати з усіх існуючих варіантів перевезення вантажів найбільш дешеві або за критерієм вартості, або за критерієм часу.

**Матеріали і результати досліджень.** Представимо мультимодальні перевезення з використанням автомобільного, залізничного і водного транспорту (включає морський і річковий) у вигляді узагальненої моделі комплексних транспортних перевезень [4, 5]. Припустимо, що ми маємо ряд транспортних вузлів (т/в), що з'єднані між собою відповідними транспортними комунікаціями. Необхідною умовою приналежності т/в до цієї множини є наявність автомобільних доріг, що з'єднують цей т/в у загальну транспортну систему (ТС).

Таким чином *робочою гіпотезою* побудови моделі організації мультимодальних вантажних перевезень у міжнародному сполученні є наступне: наявність автомобільних комунікацій, які проходять крізь кожний транспортний вузол, сприяє об'єднанню цих транспортних вузлів у єдине ціле – транспортну мережу (ТМ).

Причому в т/в можуть бути розташовані або залізничні станції (з/с), водні порти (в/п) або їхні різні комбінації, які можна представити у вигляді наступних типів:

– сукупність т/в, у яких не розташовані з/с і в/п – 1-ий тип (множина $M_1$);
– сукупність т/в, у яких розташована тільки з/с – 2-ий тип (множина $M_2$);
– сукупність т/в, у яких розташований тільки в/п – 3-ий тип (множина $M_3$);
– сукупність т/в, у яких розташовані з/с і в/п – 4-ий тип (множина $M_4$),

$$M \in \bigcup M_i, \quad i = \overline{1,4}, \tag{1}$$

де $M$ – множина всіх т/в.

Перевезення між т/в можуть здійснюватися або з використанням одного виду транспорту, або декількох. Причому в останньому випадку найбільше часто комбінуються перевезення автомобільним з яким-небудь іншим видом транспорту. Виходячи із цього, ми маємо наступні варіанти перевезення вантажу:

1) перевезення автомобільним транспортом здійснюються від т/в постачальника будь-якого типу до т/в споживача також будь-якого типу, тобто за наступною схемою:

т / в $1 \div 4$ типу $\rightarrow$ т / в $1 \div 4$ типу і дорівнює

$$K_1 = 2! \cdot C_M^2 + \ldots + (M-1)! \cdot C_M^{M-1}; \tag{2}$$

Примітка: знак $\rightarrow$ означає процес транспортування вантажів;

2) перевезення залізничним транспортом припускають наявність у т/в постачальника й споживача вантажу з/с і здійснюються за наступною схемою:

т / в $2,4$ типу $\rightarrow$ т / в $2,4$ типу і дорівнює

$$K_2 = 2! \cdot C_{M_2+M_4}^2 + 3! \cdot C_{M_2+M_4}^3 + \ldots + (M_2 + M_4 - 1)! \cdot C_{M_2+M_4}^{M_2+M_4-1}; \tag{3}$$

3) перевезення водним транспортом припускають наявність у т/в постачальника й споживача вантажу в/п і здійснюються за наступною схемою:

т / в $3,4$ типу $\rightarrow$ т / в $3,4$ типу і дорівнює

$$K_3 = 2! \cdot C_{M_3+M_4}^2 + 3! \cdot C_{M_3+M_4}^3 + \ldots + (M_3 + M_4 - 1)! \cdot C_{M_3+M_4}^{M_3+M_4-1}; \tag{4}$$

*перевезення автомобільним і водним видами транспорту мають три різновиди:*

4) перевезення спочатку автомобільним, а потім водним видами транспорту припускають переміщення вантажу спочатку від т/в постачальника будь-якого типу автомобільним транспортом до найближчого до нього в/п і потім водним транспортом до т/в споживача вантажів, що має в/п і здійснюються за наступною схемою:

т / в $1 \div 4$ типу $\rightarrow$ т / в $3,4$ типу $\rightarrow$ т / в $3,4$ типу і дорівнює

$$K_4 = K_1 \cdot K_3 \tag{5}$$

5) перевезення спочатку водним, а потім автомобільним видами транспорту припускають переміщення вантажу спочатку від т/в постачальника, що має в/п водним транспортом до найближчого до т/в споживача вантажу в/п і потім автомобільним транспортом до т/в споживача вантажу будь-якого типу й здійснюються за наступною схемою:

т / в $3,4$ типу $\rightarrow$ т / в $3,4$ типу $\rightarrow$ т / в $1 \div 4$ типу і дорівнює

$$K_5 = K_3 \cdot K_1; \tag{6}$$

6) перевезення спочатку автомобільним, після водним, а потім знову автомобільним видами транспорту припускають переміщення вантажу автомобільним транспортом спочатку від т/в постачальника будь-якого типу до найближчого до нього в/п, після водним транспортом до найближчого до т/в споживача вантажу в/п і потім автомобільним транспортом до т/в споживача вантажу будь-якого типу й здійснюються за наступною схемою:

$$K_6 = K_1 \cdot K_3 \cdot K_1; \tag{7}$$

*перевезення автомобільним і залізничним видами транспорту мають три різновиди*:

7) перевезення спочатку автомобільним, а потім залізничним видами транспорту припускають переміщення вантажу спочатку від т/в постачальни-

ка будь-якого типу автомобільним транспортом до найближчої до нього з/с і потім залізничним транспортом до т/в споживача вантажів, що має з/с і здійснюються за наступною схемою:
т/в $1 \div 4$ типу $\rightarrow$ т/в $2,4$ типу $\rightarrow$ т/в $2,4$ типу і дорівнює

$$K_7 = K_1 \cdot K_2; \quad (8)$$

8) перевезення спочатку залізничним, а потім автомобільним видами транспорту припускають переміщення вантажу спочатку від т/в постачальника, що має з/с залізничним транспортом до найближчої до т/в споживача вантажу з/с і потім автомобільним транспортом до т/в споживача вантажу будь-якого типу й здійснюються за наступною схемою:
т/в $2,4$ типу $\rightarrow$ т/в $2,4$ типу $\rightarrow$ т/в $1 \div 4$ типу і дорівнює

$$K_8 = K_2 \cdot K_1; \quad (9)$$

9) перевезення спочатку автомобільним, після залізничним, а потім знову автомобільним видами транспорту припускають переміщення вантажу автомобільним транспортом спочатку від т/в постачальника будь-якого типу до найближчої до нього з/с, після залізничним транспортом до найближчої до т/в споживача вантажу з/с і потім автомобільним транспортом до т/в споживача вантажу будь-якого типу й здійснюються за наступною схемою:

$$K_9 = K_1 \cdot K_2 \cdot K_1; \quad (10)$$

Виходячи з вище викладеного загальна кількість варіантів перевезення вантажів буде становити:

$$K = \sum_{i=1}^{9} K_i \quad (i = \overline{1,9}). \quad (11)$$

Розглянемо транспортну система України та Західної Європи, яка включає 794 транспортних вузла – населених пунктів (н/п), що з'єднані між собою відповідними транспортними комунікаціями. Необхідною умовою приналежності н/п до цієї множини є наявність автомобільних доріг, що з'єднують цей н/п у загальну ТС. Причому в н/п можуть бути розташовані або залізничні станції (з/с), водні порти (в/п) або їхні різні комбінації, які можна класифікувати наступним чином:

– 66 н/п без з/с і в/п –(множина $M_1$);
– 566 н/п, у яких розташована тільки з/с – (множина $M_2$);
– 119 н/п, у яких розташований тільки в/п – (множина $M_3$);
– 43 н/п, у яких розташовані і з/с і в/п –(множина $M_4$).

База даних (БД) транспортної системи України та Західної Європи (ТСУ та ЗЄ) включає 16 файлів, серед яких шість зберігають дані о різних видах транспорту [6], а десять файлів зберігають дані інфраструктури десяти міжнародних транспортних коридорів, а саме:

N_p – масив н/п, що лежать на автомагістралях і Marsh_avto – масив ділянок автомагістралей:

Файл N_P

| Kod | Naim | Kol_g |
|---|---|---|
| 1 | Каховка | 42600 |
| 2 | Северодонецк | 130300 |
| … | | |
| 794 | Килкис | 22914 |

Файл Marsh_Avto

| Kod | I_N | P_O | P_N | L |
|---|---|---|---|---|
| 1 | M - 01 | Киев | Копти | 90 |
| 3 | M - 01 | Чернигов | Новые Яриловичи | 52 |
| … | | | | |
| 875 | MTK-10 | Килкис | Салоники | 55 |

G_d – масив з/с (566 з/с), неодмінною умовою яких є їхня наявність у масивіN_p; Marsh_gd – масив ділянок залізничних магістралей (654 ділянки):

Файл G_D

| Kod | N_P | Kol_g |
|---|---|---|
| 1 | Любомль | 10300 |
| 2 | Ковель | 71800 |
| … | | |
| 566 | Килкис | 22914 |

Файл Marsh_Gd

| Kod | I_N | P_O | P_N | L |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | Ягодин | Любомль | 16 |
| 2 | 2 | Любомль | Ковель | 46 |
| … | | | | |
| 654 | 654 | Килкис | Салоники | 55 |

V_p – масив річкових і морських портів (119 в/п), неодмінною умовою яких також є їхня наявність у масиві N_p; Marsh_voda – масив ділянок водних магістралей (123 ділянки):

Файл V_P

| Kod | N_P | Klass |
|---|---|---|
| 1 | Рени | 1 |
| 2 | Измаил | 1 |
| … | | |
| 119 | Браила | 2 |

Файл Marsh_Voda

| Kod | I_N | P_O | P_N | L |
|---|---|---|---|---|
| 1 | P - 1 | Рени | Измаил | 72 |
| 2 | P - 2 | Измаил | Килия | 45 |
| … | | | | |
| 123 | P - 123 | Браила | Рени | 41 |

МТК_1, МТК_2, МТК_3, МТК_4, МТК_5, МТК_6, МТК_8, МТК_9 та МТК_10 – масиви автомобільних і залізничних ділянок крітських МТК, відповідно, № 1, № 2, № 3, № 4, № 5, № 6, № 8, № 9 та № 10, які додаються до масивів Marsh_avto і Marsh_gd; МТК_7 – масив водних ділянок крітського МТК № 7, які додаються до масиву Marsh_voda: (де: Kol_g – кількість мешканців у н/п; L – відстань у км; Klass – клас в/п: 1 – морський; 2 – річковий; Z – відстань у км залізничної ділянки МТК).

Файл МТК_1

| Kod | P_O | P_N | L | Z |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Хельсинки | Таллин | 88 | 88 |
| 2 | Таллин | Марьямаа | 55 | 55 |
| … | | | | |
| 18 | Пултуск | Варшава | 60 | 60 |

Файл МТК_2

| Kod | P_O | P_N | L | Z |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Берлин | Зелов | 70 | 70 |
| 2 | Зелов | Суленцин | 62 | 62 |
| … | | | | |
| 39 | Золино | Нижний-Новгород | 51 | 51 |

Файл МТК_3

| Kod | P_O | P_N | L | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Брюссель | Синт-Трейден | 67 | 67 |
| 2 | Синт-Трейден | Ахен | 91 | 91 |
| … | | | | |
| 36 | Белогородка | Киев | 30 | 30 |

Файл МТК_4

| Kod | P_O | P_N | L | Z |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Дрезден | Теплице | 69 | 69 |
| 2 | Теплице | Прага | 90 | 90 |
| … | | | | |
| 36 | Сидирокаст | Салоники | 92 | 92 |

Файл МТК_5

| Kod | P_O | P_N | L | Z |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Венеция | Монфальконе | 85 | 85 |
| 2 | Монфальконе | Триест | 77 | 77 |
| … | | | | |
| 31 | Белогородка | Киев | 30 | 30 |

Файл МТК_6

| Kod | P_O | P_N | L | Z |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Гданьск | Нове | 92 | 92 |
| 2 | Нове | Хелмно | 55 | 55 |
| … | | | | |
| 11 | Чадца | Жилина | 34 | 34 |

Файл МТК_8

| Kod | P_O | P_N | L | Z |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Дуррес | Тирана | 38 | 38 |
| 2 | Тирана | Преняс | 97 | 97 |
| … | | | | |
| 17 | Обзор | Варна | 61 | 61 |

Файл МТК_9

| Kod | P_O | P_N | L | Z |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Хельсинки | Ловийса | 88 | 88 |
| 2 | Ловийса | Хамина | 61 | 61 |
| … | | | | |
| 29 | Жовтень | Одесса | 98 | 98 |

Файл МТК_10

| Kod | P_O | P_N | L | Z |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Зальцбург (Австрия) | Радштадт | 80 | 80 |
| 2 | Радштадт | Шпитталь-ан-дер-Драу | 75 | 75 |
| … | | | | |
| 24 | Килкис | Салоники | 55 | 55 |

Файл МТК_7

| Kod | P_O | P_N | L | Z |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Линц | Ибс-на-Дунае | 58 | 0 |
| 2 | Ибс-на-Дунае | Кремс-на-Дунае | 54 | 0 |
| … | | | | |
| 31 | Килия | Вилково | 26 | 0 |

Також у БД ТСУ та ЗЄ присутні ще два допоміжних файли, а саме: Tarify – масив тарифів на перевезення вантажів по Україні по основних видах транспорту, що включає вартість перевезення 1 т вантажу на 1 км, а також час перевезення вантажу за 1 км кожним видом транспорту і Propusk – масив пропускних здатностей по перерахованим видах транспорту у тонах за 1 годину:

Файл Tarify

| Vid_Trans | Suma_grn | Suma_chas |
|---|---|---|
| Водный | 0,5 | 0,1 |
| Железнодорожный | 1,5 | 0,02 |
| Автомобильный | 2,2 | 0,01 |

Файл Propusk

| Vid_Trans | Prop_spos |
|---|---|
| Водный | 1000 |
| Железнодорожный | 3000 |
| Автомобильный | 10000 |
| Воздушный | 50 |

Після запуску програмно-інструментального комплексу оптимізації перевезень (ПІКОП) на ТСУ та ЗЄ [7] відпрацьовує процедура перетворення БД видів транспорту у матриці транспортних кореспонденцій прямих (безпосередніх) зв'язків усіх н/п аналізованої ТМ (рис. 1).

Аналізуючи зміст матриці (див. рис. 1) слід зазначити наступне: по-перше, матриця симетрична внаслідок не орієнтованості ТМ і ,по-друге, якщо н/п не мають безпосередніх транспортних зв'язків, то відстань між ними задається свідомо більшим кожного з наявних відстаней на ТМ (у нашому випадку це число 777777).

Потім процедура знаходження оптимальних маршрутів перевезень вантажів на транспортної мережі знаходить самі вигідні (у нашому випадку з точки зору вартості перевезень) комбінації застосування різних видів транспорту і формувати відповідний оптимальний маршрут перевезень вантажу.

Розглянемо дії цієї процедури по кроках і для цього спочатку розглянемо масив записів mas_min: Array [1..3] Of min_str, який має запис min_str наступної структури:

```
Type min_str = Record
cel : Real;
sttr : String;
End.
```

Цей масив записів, що складається із трьох елементів – по числу видів транспорту, у ході роботи ПІКОП заповнюється мінімальною вартістю перевезення 1 тонни вантажу від поточного пункту постачання до пункту споживання (поле *cel*) і відповідної цієї вартості маршрутом транспортування (поле *sttr*):

```
mas_min[1].cel := voda;
mas_min[1].sttr := sttr_voda;
mas_min[2].cel := gd;
mas_min[2].sttr := sttr_gd;
mas_min[3].cel := avto;
mas_min[3].sttr := sttr_avto.
```

Для нашого прикладу вміст масиву mas_min буде наступним:

для постачальника **Ужгород** і споживача **Жешув**:

mas_min[1].cel := 0.00; mas_min[1].sttr := '';
mas_min[2].cel := 634.50; mas_min[2].sttr := 'ПОЇЗДОМ з Ужгород до Самбор за ціною = 240.00 грн з Самбор до Львов за ціною = 118.50 грн з Львов до Мостиска за ціною = 112.50 грн з Мостиска до Пшемысль за ціною = 39.00 грн з Пшемысль до Жешув за ціною = 124.50 грн';
mas_min[3].cel := 589.60; mas_min[3].sttr := 'АВТОМОБІЛЕМ з Ужгород до Кошице за ціною = 193.60 грн з Кошице до Прешов за ціною = 70.40 грн з Прешов до Гиралтовце за ціною = 55.00 грн з Гиралтовце до Тылява (Польща) за ціною = 103.40 грн з Тылява (Польща) до Дукля за ціною = 22.00 грн з Дукля до Жешув за ціною = 145.20 грн'.

для постачальника **Ужгород** і споживача **Бухарест**:

mas_min[1].cel := **0.00**; mas_min[1].sttr:= '';
mas_min[2].cel := **1485.00**; mas_min[2].sttr := 'ПОЇЗДОМ з Ужгород до Чоп за ціною = 33.00 грн з Чоп до Батьево за ціною = 24.00 грн з Батьево до Мукачево за ціною = 39.00 грн з Мукачево до Халмеу за ціною = 165.00 грн з Халмеу до Сату-Маре за ціною = 34.50 грн з Сату-Маре до Залэу за ціною = 180.00 грн з Залэу до Клуж-Напока за ціною = 232.50 грн з Клуж-Напока до

| | Ужгород | Одесса | Жешув | Бухарест | Авейру | Авеццано | Айсфельд | Александрия |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ужгород | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 |
| Одесса | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 |
| Жешув | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 |
| Бухарест | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 |
| Авейру | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 |
| Авеццано | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 |
| Айсфельд | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 | 777777 |

Рис. 1. Матриця транспортних кореспонденцій прямих (безпосередніх) зв'язків усіх н/п ТСУ та ЗЄ

Кымпия-Турзи за ціною = 55.50 грн з Кымпия-Турзи до Себеш за ціною = 118.50 грн з Себеш до Сибиу за ціною = 94.50 грн з Сибиу до Слатина за ціною = 285.00 грн з Слатина до Попешть за ціною = 81.00 грн з Попешть до Бухарест за ціною = 142.50 грн';

mas_min[3].cel := **1526.80**; mas_min[3].sttr := 'АВТОМОБІЛЕМ з Ужгород до Мукачево за ціною = 96.80 грн з Мукачево до Халмеу за ціною = 143.00 грн з Халмеу до Сату-Маре за ціною = 72.60 грн з Сату-Маре до Залэу за ціною = 169.40 грн з Залэу до Клуж-Напока за ціною = 151.80 грн з Клуж-Напока до Турда за ціною = 63.80 грн з Турда до Тыргу-Муреш за ціною = 158.40 грн з Тыргу-Муреш до Сигишоара за ціною = 94.60 грн з Сигишоара до Брашов за ціною = 242.00 грн з Брашов до Плоешти за ціною = 213.40 грн з Плоешти до Бухарест за ціною = 121.00 грн'.

для постачальника **Одесса** і споживача **Жешув**:

mas_min[1].cel := **1850.50**; mas_min[1].sttr := 'ПАРОПЛАВОМ з Одесса до Ильичевск за ціною = 14.00 грн з Ильичевск до Вилково за ціною = 84.00 грн з Вилково до Килия за ціною = 13.00 грн з Килия до Измаил за ціною = 22.50 грн з Измаил до Рени за ціною = 36.00 грн з Рени до Браила за ціною = 20.50 грн з Браила до Гиндерешть за ціною = 44.00 грн з Гиндерешть до Чернаводэ за ціною = 22.00 грн з Чернаводэ до Силистра за ціною = 40.50 грн з Силистра до Тутракан за ціною = 25.50 грн з Тутракан до Джурджу за ціною = 24.00 грн з Джурджу до Свиштов за ціною = 36.00 грн з Свиштов до Никопол за ціною = 24.00 грн з Никопол до Оряхово за ціною = 42.00 грн з Оряхово до Видин за ціною = 47.00 грн з Видин до Груя за ціною = 31.50 грн з Груя до Дробета-Турну-Северин за ціною = 42.50 грн з Дробета-Турну-Северин до Доньи Милонавац за ціною = 34.00 грн з Доньи Милонавац до Голубац за ціною = 26.50 грн з Голубац до Смедерево за ціною = 34.00 грн з Смедерево до Белград (Серб.) за ціною = 29.50 грн з Белград (Серб.) до Нови-Сад за ціною = 39.50 грн з Нови-Сад до Апатин за ціною = 44.00 грн з Апатин до Бая за ціною = 33.50 грн з Бая до Дунауйварош за ціною = 44.00 грн з Дунауйварош до Будапешт за ціною = 28.50 грн АВТОМОБІЛЕМ з Будапешт до Фюзешабонь (H) за ціною = 242.00 грн з Фюзешабонь (H) до Мишкольц за ціною = 132.00 грн з Мишкольц до Сеня (SK) за ціною = 143.00 грн з Сеня (SK) до Кошице за ціною = 55.00 грн з Кошице до Прешов за ціною = 70.40 грн з Прешов до Гиралтовце за ціною = 55.00 грн з Гиралтовце до Тылява (Польща) за ціною = 103.40 грн з Тылява (Польща) до Дукля за ціною = 22.00 грн з Дукля до Жешув за ціною = 145.20 грн';

mas_min[2].cel := **1326.00**; mas_min[2].sttr := 'ПОЇЗДОМ з Одесса до Першотравневое за ціною = 130.50 грн з Першотравневое до Борщи за ціною = 157.50 грн з Борщи до Рудница за ціною = 97.50 грн з Рудница до Вапрянка за ціною = 54.00 грн з Вапрянка до Жмеринка за ціною = 112.50 грн з Жмеринка до Хмельницкий за ціною = 142.50 грн з Хмельницкий до Тернополь за ціною = 166.50 грн з Тернополь до Львов за ціною = 189.00 грн з Львов до Мостиска за ціною = 112.50 грн з Мостиска до Пшемысль за ціною = 39.00 грн з Пшемысль до Жешув за ціною = 124.50 грн';

mas_min[3].cel := **2085.60**; mas_min[3].sttr := 'АВТОМОБІЛЕМ з Одесса до Умань за ціною = 609.40 грн з Умань до Христиновка за ціною = 50.60 грн з Христиновка до Винница за ціною = 294.80 грн з Винница до Хмельницкий за ціною = 264.00 грн з Хмельницкий до Тернополь за ціною = 246.40 грн з Тернополь до Львов за ціною = 281.60 грн з Львов до Яворов за ціною = 112.20 грн з Яворов до Краковец за ціною = 39.60 грн з Краковец до Радымно за ціною = 50.60 грн з Радымно до Жешув за ціною = 136.40 грн'.

для постачальника **Одесса** і споживача **Бухарест**:

mas_min[1].cel := **767.00**; mas_min[1].sttr := 'ПАРОПЛАВОМ з Одесса до Ильичевск за ціною = 14.00 грн з Ильичевск до Вилково за ціною = 84.00 грн з Вилково до Килия за ціною = 13.00 грн з Килия до Измаил за ціною = 22.50 грн з Измаил до Констанца за ціною = 127.50 грн АВТОМОБІЛЕМ з Констанца до Фетешть за ціною = 173.80 грн з Фетешть до Лехлиу-Гарэ за ціною = 189.20 грн з Лехлиу-Гарэ до Бухарест за ціною = 143.00 грн';

mas_min[2].cel := **2760.00**; mas_min[2].sttr := 'ПОЇЗДОМ з Одесса до Першотравневое за ціною = 130.50 грн з Першотравневое до Борщи за ціною = 157.50 грн з Борщи до Рудница за ціною = 97.50 грн з Рудница до Вапрянка за ціною = 54.00 грн з Вапрянка до Жмеринка за ціною = 112.50 грн з Жмеринка до Хмельницкий за ціною = 142.50 грн з Хмельницкий до Тернополь за ціною = 166.50 грн з Тернополь до Львов за ціною = 189.00 грн з Львов до Стрый за ціною = 115.50 грн з Стрый до Мукачево за ціною = 205.50 грн з Мукачево до Халмеу за ціною = 165.00 грн з Халмеу до Сату-Маре за ціною = 34.50 грн з Сату-Маре до Залэу за ціною = 180.00 грн з Залэу до Клуж-Напока за ціною = 232.50 грн з Клуж-Напока до Кымпия-Турзи за ціною = 55.50 грн з Кымпия-Турзи до Себеш за ціною = 118.50 грн з Себеш до Сибиу за ціною = 94.50 грн з Сибиу до Слатина за ціною = 285.00 грн з Слатина до Попешть за ціною = 81.00 грн з Попешть до Бухарест за ціною = 142.50 грн';

mas_min[3].cel := **3522.00**; mas_min[3].sttr := 'АВТОМОБІЛЕМ з Одесса до Умань за ціною = 609.40 грн з Умань до Христиновка за ціною = 50.60 грн з Христиновка до Винница за ціною = 294.80 грн з Винница до Хмельницкий за ціною = 264.00 грн з Хмельницкий до Тернополь за ціною = 246.40 грн з Тернополь до Ходоров за ціною = 235.40 грн з Ходоров до Стрый за ціною = 88.00 грн з Стрый до Сколе за ціною = 83.60 грн з Сколе до Воловец за ціною = 101.20 грн з Воловец до

Мукачево за ціною = 118.80 грн з Мукачево до Халмеу за ціною = 143.00 грн з Халмеу до Сату-Маре за ціною = 72.60 грн з Сату-Маре до Залэу за ціною = 169.40 грн з Залэу до Клуж-Напока за ціною = 151.80 грн з Клуж-Напока до Турда за ціною = 63.80 грн з Турда до Тыргу-Муреш за ціною = 158.40 грн з Тыргу-Муреш до Сигишоара за ціною = 94.60 грн з Сигишоара до Брашов за ціною = 242.00 грн з Брашов до Плоешти за ціною = 213.40 грн з Плоешти до Бухарест за ціною = 121.00 грн'.

Слід зазначити той факт, що водного маршруту від Ужгорода як до Жешува, так і до Бухаресту не існує, тому і мінімальна вартість перевезення 1 тонни вантажу у цьому випадку дорівнює **0.00** (поле *cel*) і відповідної цієї вартості маршрут транспортування (поле *sttr*) відсутній.

У результаті застосування цієї процедури для кожної пари постачальників і споживачів вантажу формується матриця найдешевших маршрутів (рис. 2).

| | **Жешув** | **Бухарест** |
|---|---|---|
| **Ужгород** | 589,6 | 1485 |
| **Одесса** | 1326 | 767 |

Рис. 2. Матриця найдешевших маршрутів

Після чого до отриманої матриці, що у сукупності із заданими обсягами поставок і заявок вантажу являє собою не що інше, як транспортну таблицю, застосовується метод оптимізації транспортних перевезень та одержуємо оптимальний план перевезень вантажу на заданої ТМ (рис. 3).

| | **Жешув** | **Бухарест** |
|---|---|---|
| **Ужгород** | 100 | |
| **Одесса** | 20 | 180 |

Рис. 3. Оптимальний план перевезення вантажу

Нижче представлені результати розв'язання поставленої у нашому прикладі сітьової транспортної задачі:

АВТОМОБІЛЕМ з Ужгород до Кошице за ціною = 193.60 грн з Кошице до Прешов за ціною = 70.40 грн з Прешов до Гиралтовце за ціною = 55.00 грн з Гиралтовце до Тылява (Польща) за ціною = 103.40 грн з Тылява (Польща) до Дукля за ціною = 22.00 грн з Дукля до Жешув за ціною = 145.20 грн Веземо 100 т вантажу

Загальна вартість перевезення 1 т вантажу по маршруту складає : 589.60 грн

ПОЇЗДОМ з Одесса до Першотравневое за ціною = 130.50 грн з Першотравневое до Борщи за ціною = 157.50 грн з Борщи до Рудница за ціною = 97.50 грн з Рудница до Вапрянка за ціною = 54.00 грн з Вапрянка до Жмеринка за ціною = 112.50 грн з Жмеринка до Хмельницкий за ціною = 142.50 грн з Хмельницкий до Тернополь за ціною = 166.50 грн з Тернополь до Львов за ціною = 189.00 грн з Львов до Мостиска за ціною = 112.50 грн з Мостиска до Пшемысль за ціною = 39.00 грн з Пшемысль до Жешув за ціною = 124.50 грн Веземо 20 т вантажу

Загальна вартість перевезення 1 т вантажу по маршруту складає : 1326.00 грн

ПОЇЗДОМ з Львов до Мостиска з Мостиска до Пшемысль з Пшемысль до Жешув 184 км МТК №3 за ціною = 276.00 грн

Загальна вартість перевезення 1 т вантажу по МТК складає : 276.00 грн

Процент використання МТК при перевезенні вантажу за критерієм вартості складає : 20.81 %

ПАРОПЛАВОМ з Одесса до Ильичевск за ціною = 14.00 грн з Ильичевск до Вилково за ціною = 84.00 грн з Вилково до Килия за ціною = 13.00 грн з Килия до Измаил за ціною = 22.50 грн з Измаил до Констанца за ціною = 127.50 грн АВТОМОБІЛЕМ з Констанца до Фетешть за ціною = 173.80 грн з Фетешть до Лехлиу-Гарэ за ціною = 189.20 грн з Лехлиу-Гарэ до Бухарест за ціною = 143.00 грн Веземо 180 т вантажу

Загальна вартість перевезення 1 т вантажу по маршруту складає : 767.00 грн

ПАРОПЛАВОМ з Вилково до Килия з Килия до Измаил 71 км МТК № 7 за ціною = 35.50 грн АВТОМОБІЛЕМ з Констанца до Фетешть з Фетешть до Лехлиу-Гарэ з Лехлиу-Гарэ до Бухарест 230 км МТК № 4 за ціною = 506.00 грн

Загальна вартість перевезення 1 т вантажу по МТК складає : 541.50 грн

Процент використання МТК при перевезенні вантажу за критерієм вартості складає : 70.60 %

Мінімальна вартість виконання плану перевезень = 223 540.00 грн

Сумарний час виконання плану перевезень = 74.86 год

Час завершення виконання плану перевезень = 54.50 год

Сумарний обсяг перевезеного вантажу = 300.00 т

Загальний процент використання МТК при перевезенні вантажу за критерієм вартості складає = 46.07 %

З отриманих результатів свідчить, що перший маршрут транспортування вантажу з Ужгорода до Жешува не проходить маршрутами МТК. Далі другий маршрут з Одеси до Жешува частково (20,81 %) проходить через залізничну складову МТК № 3, а саме – ПОЇЗДОМ з Львов до Мостиска з Мостиска до Пшемысль з Пшемысль до Жешув 184 км за ціною = 276.00 грн. Потім третій маршрут транспор-

тування вантажу з Одеси до Бухаресту спочатку частково проходить через водний МТК № 3, а саме – ПАРОПЛАВОМ з Вилково до Килия з Килия до Измаил 71 км за ціною 35.50 грн, а потім автомобільною складовою МТК № 4, а саме – АВТОМОБІЛЕМ з Констанца до Фетешть з Фетешть до Лехлиу-Гарэ з Лехлиу-Гарэ до Бухарест 230 км за ціною = 506.00 грн (70,60 %). Загальний процент використання маршрутів МТК при транспортуванні вантажу згідно з оптимальним планом за критерієм вартості складає 46,07 %.

**Висновки.** Опис моделі комплексних перевезень у ТС дає можливість системно підійти до задачі оптимізації транспортних перевезень вантажів за комбінованою схемою використання різних видів транспорту (автомобільного, водного і залізничного) з урахуванням усього спектра обмежень, що існують у системах подібного роду. Приведено опис структури і змісту бази даних різних видів транспорту, який у цілому представляє інфраструктуру ТСУ та ЗЄ, яка за допомогою спеціальної процедури перетворює відповідні БД у матриці транспортних кореспонденцій. Матричне представлення перевізного процесу, у свою чергу, дозволяє описати його у вигляді відповідної математичної моделі і застосувати при її розв'язанні стандартні табличні методи і засоби сучасних інформаційних технологій. Процедура знаходження оптимальних планів перевезень вантажів на ТМ дозволяє з усіх існуючих варіантів перевезення вантажів вибрати найбільш дешеві по двох режимах оптимізації перевезення вантажів – або за критерієм вартості, або за критерієм часу [8].

**Література**


1. Кривенко О.К. Вплив транспортних коридорів на зовнішньоекономічну діяльність транспортних підприємств України / О.К. Кривенко, М.М. Гребельник, Ю.М. Солоденко / Вісник Національного транспортного університету. Серія "Економічні науки". Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2018, Вип. 2(41) – С. 76-81.
2. Довгань В.Д. Транспортні коридори. – Львів: Видавничий дім "Панорама", 2017. – 137 с.
3. Прокудін Г.С. Оптимізація міжнародних перевезень вантажів по різним комбінаціям спільної роботи всіх видів транспорту України та Західної Європи / Г.С. Прокудін, О.А. Чупайленко, О.С. Дудник , А.А. Дудник, О.Г. Прокудін // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT - 2018): [Збірник матеріалів X Міжнародної науково-практичної конференції (29-31 травня 2018 року Херсон, Україна)]. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2018. – С. 240–242.
4. Прокудін Г.С. Моделі і методи оптимізації перевезень у транспортних системах / Г.С. Прокудін. – К.: НТУ, 2006. – 224 с.
5. Прокудін Г.С. Модель організації мультимодальних вантажних перевезень / Г.С. Прокудін, О.А. Чупайленко, О.С. Дудник , А.А. Дудник // International research and practice conference "Modern methods, innovations and experience of practical application in the field of technical sciences" : Conference proceedings, December, 27-28, 2017. Radom: Izdevnieciba "Baltija Publishing". – 220 p.
6. Прокудін Г.С. Літературний письмовий твір наукового характеру "База даних транспортно-дорожнього комплексу України і Західної Європи": Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір / Г.С. Прокудін, О.С. Дудник, М.Г. Іщенко. – № 48532, Державна служба інтелектуальної власності України. – заяв. 30.01.2013 № 48732; реєстр. 01.04.2013. – 157 с.
7. Прокудін Г.С. Комп'ютерна програма "Програмно-інструментальний комплекс оптимізації пасажирських та вантажних перевезень в транспортних системах України і Західної Європи": Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір / Г.С. Прокудін, О.С. Дудник, М.Г. Іщенко. – № 48530, Державна служба інтелектуальної власності України. – заяв. 30.01.2013 № 48730; реєстр. 01.04.2013. – 67 с.
8. Prokudin G. Application of Information Technologies for the Optimization of Itinerary when Delivering Cargo by Automobile Transport / O. Prokudin, O. Chupaylenko, O. Dudnik, A. Dudnik, V. Svatko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. N. 2/3 (92). P. 51-59. (ISSN 1729-3774, DOI:10.15587/ 1729-4061.2018.128907, http://journals.uran.ua/eejet/ article/view/ 128907).


**References**


1. Kryvenko O.K. Vplyv transportnykh korydoriv na zovnishnoekonomichnu diialnist transportnykh pidpryemstv Ukrainy / O.K. Kryvenko, M.M. Hrebelnyk, Yu.M. Solodenko / Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriia "Ekonomschni nauky". Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. – K. : NTU, 2018, Vyp. 2(41) – S. 76-81.
2. Dovhan V.D. Transportni korydory. – Lviv: Vydavnychyi dim "Panorama", 2017. – 137 s.
3. Prokudin G.S. Optymizatsiia mizhnarodnykh perevezen vantazhiv po raznym kombinatsiiam spilnoi roboty vsikh vydib transportu Ukrainy ta Zakhidnoi Yevropy / G.S. Prokudin, O.A. Chupailenko, O.S. Dudnyk , A.A. Dudnyk, O.G. Prokudin // Suchasni informatsiini ta innovatsiini tekhnolohii na transporti (MINTT - 2018): [Zbirnyk materialiv X Mizhnarodnoii naukovo-praktychnoi konferentsii (29-31 travnia 2018 roku Kherson, Ukraina)]. – Kherson : Khersonska derzhavna morska akademiia, 2018. – S. 240–242.
4. Prokudin G.S. Modeli s metody optymizatsii perevezen u transportnykh systemakh / G.S. Прокудін. – К.: NTU, 2006. – 224 s.
5. Prokudin G.S. Model ophanizatsii multymodalnykh vantazhnykh perevezen / G.S. Prokudin, O.A. Chupailenko, O.S. Dudnyk , A.A. Dudnyk // International research and practice conference "Modern methods, innovations and experience of practical application in the field of technical sciences" : Conference proceedings, December, 27-28, 2017. Radom: Izdevnieciba "Baltija Publishing". – 220 p.
6. Prokudin G.S. Literaturnyi pysmovyi tvir naukovoho kharakteru "Baza danykh transportno-dorozhnoho kompleksu Ukrainy i Zakhidnoi Yevropy: Zvidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir / G.S. Prokudin, O.S. Dudnyk M.G. Ishenko. – № 48532, Derzhavna sluzhba intelektualnoi vlasnosti Ukrainy. – zaiav. 30.01.2013 № 48732; reiestr. 01.04.2013. – 157 s.
7. Prokudin G.S. Kompiuterna prohrama "Prohramnoo-instrumentalnyyi kompleks optymizatsii pasazhirskykh ta vantazhnykh perevezen v transportnykh systemakh

Ukrainy i Zakhidnoi Yevropy: Zvidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir / G.S. Prokudin, O.S. Dudnyk M.G. Ishenko. – № 48530, Derzhavna sluzhba intelektualnoi vlasnosti Ukrainy. – zaiav. 30.01.2013 № 48730; reiestr. 01.04.2013. – 67 s.

8. Prokudin G. Application of Information Technologies for the Optimization of Itinerary when Delivering Cargo by Automobile Transport / O. Prokudin, O. Chupaylenko, O. Dudnik, A. Dudnik, V. Svatko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. N. 2/3 (92). P. 51-59. (ISSN 1729-3774, DOI:10.15587/ 1729-4061.2018.128907, http://journals.uran.ua/eejet/article/view/ 128907).

**Прокудин Г.С., Чупайленко А.А., Прокудин А.Г., Пилипенко Ю.В. Оптимизация мультимодальных грузовых перевозок по маршрутам международных транспортных коридоров.**

*Описание мультимодальных перевозок в транспортных системах дает возможность системно подойти к задаче оптимизации транспортных перевозок грузов по комбинированной схеме взаимодействия различных видов транспорта (автомобильного, водного и железнодорожного) с учетом всего спектра ограничений, существующих в системах подобного рода. Приведено описание структуры и содержания базы данных основных видов транспорта и международных транспортных коридоров в целом представляет инфраструктуру транспортных систем Украины и Западной Европы, которая с помощью специальной процедуры превращает соответствующие базы данных в матрицу транспортных корреспонденций. Матричное представление перевозочного процесса, в свою очередь, позволяет описать его в виде соответствующей математической модели и применить при его анализе методы и средства современных информационных технологий. Процедура нахождения оптимальных планов перевозки грузов на транспортных сетях выбирает из всех существующих вариантов перевозки грузов наиболее дешевые или по критерию стоимости, либо по критерию времени. Использование в процессе нахождения оптимального плана грузовых перевозок маршрутов международных транспортных коридоров позволяет в значительной степени повысить качество принимаемых управленческих решений.*

***Ключевые слова:*** *оптимизация, критерий, процедура, база данных, международные транспортные коридоры, перевозка грузов, маршрут.*

**Prokudin G.S., Chupaylenko O.A., Prokudin O.G., Pilipenko Yu.V. Optimization of multimodal freight transport by road routes of international transport corridors.**

*The article describes the model of multimodal transport in transport systems, which enables to systematically approach the task of optimizing the transport of goods under the combined scheme of interaction of different modes of transport. Databases of main types of transport and international transport corridors are transformed into a matrix of transport correspondence using a special procedure. The matrix representation of the transport process allows us to describe it in the form of a mathematical model and to apply in its analysis methods and means of modern information technology. The procedure for finding optimal plans for the transportation of goods in transport networks chooses from among all existing variants of cargo transportation the cheapest either by the criterion of cost, or by the criterion of time. Using the routes of international transport corridors can greatly improve the quality of management decisions that are taken.*

***Keywords:*** *optimization, criterion, procedure, database, international transport corridors, freight transportation, route.*

**Прокудін Г.С.** – д.т.н., професор, завдувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету, e-mail: p_g_s@ukr.net

**Чупайленко О.А.** – к.т.н., доцент, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету, e-mail: snegirevskyalexey@gmail.com

**Прокудін О.Г.** к.т.н., доцент кафедри транспортного права та логістики Національного транспортного університету, e-mail: al_pro@ukr.net

**Пилипенко Ю.В.** – аспірант кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету, e-mail: ingener92@ukr.net

*Рецензент*: д.т.н., професор ***Чернецька-Білецька Н.Б.***

Стаття подана 14.04.2019

УДК 551.588.7

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ГОРОДА НА ПРОЯВЛЕНИЕ ЭФФЕКТА ТЕПЛОВОГО ОСТРОВА В БОЛЬШОМ ГОРОДЕ

**Роговой А.С.**

# ESTIMATION OF THE EFFECT OF THE CITY SURFACE ROUGHNESS ON THE MANIFESTATION OF THE URBAN HEAT ISLAND EFFECT IN A BIG CITY

**Rogovyi A.**

*На основе совместного решения осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса и модели солнечного излучения по методу Монте-Карло, численным путем оценено влияние заданной шероховатости поверхности города при расчете проявления эффекта теплового острова в городе Харьков. Уменьшение скорости воздуха вблизи поверхности Земли, связано с достаточно большой заданной шероховатостью приводит к увеличению температуры поверхности и манифестации эффекта теплового острова. Расчеты обтекания зданий в городе необходимо производить задавая шероховатость поверхности, в обратном случае необходимо увеличивать область застройки и моделировать город целиком, что увеличивает объем расчетной сетки и значительно увеличивает время на расчет.*

***Ключевые слова**: численный расчет, эффект городского теплового острова, математическое моделирование, шероховатость поверхности, многоэтажные дома*

**Постановка проблемы.** Значительный рост числа городских жителей в последние годы привел к росту крупных городов и увеличению этажности зданий в них, что, в свою очередь, приводит к повышенному выделению тепла от зданий в зимний и летний периоды во время отопительного сезона и кондиционирования помещений соответственно. Выделение тепла от зданий в комбинации со сложной геометрией улиц с высотными зданиями не позволяет солнечному излучению поглощаться элементами зданий и возникает сложный теплообмен. Кроме того, в больших городах имеет место, так называемый, «эффект теплицы», связанный с большим загрязнением атмосферы вследствие большого количества автомобилей и вредного воздействия промышленных предприятий, расположенных в городе. Все эти факторы приводят к возникновению так называемого «эффекта городского теплового острова» [1]. Этот эффект зарегистрирован практически по всей планете и проявляется путем повышения температуры внутри города на 2-3 $^{\circ}C$ по сравнению с сельской местностью поблизости крупного города [2]. Исследования, проведенные в [3] показали, что повышение температуры воздуха строго коррелированно с увеличением смертности людей вследствие воздействия повышенных температур. Таким образом, улучшение климатических условий в крупных урбанистических центрах является одной из наиболее глобальных проблем человечества, решение которой приводит к значительному снижению проявления эффекта городского теплового города, что, в свою очередь, улучшает самочувствие жителей, а также снижает затраты электроэнергии (за счет уменьшения затрат на кондиционирование воздуха).

**Анализ последних исследований и публикаций.** Согласно [4, 5] основными способами борьбы с проявлением теплового городского эффекта является: увеличение зеленых насаждений (50%), использование светлых цветов для покрытия крыш (29 %), использование светлых, «холодных» цветов для покрытия поверхностей дорог (21%). Естественно, что, на сегодняшний день, наилучшим способом оценки проектных решений в области микроклимата мегаполиса, является предварительное моделирование предлагаемых изменений в структуре насаждений и цвета покрытий крыш и фасадов, с помощью математического моделирования, что, чаще всего, осуществляется на основе моделирования CFD [6-8]. Для того, чтобы получить адекватные результаты необходимо при моделировании комбинировать несколько моделей: модель течения воздуха при обтекании зданий и сооружений города, модель теплообмена с учетом солнечного излучения по времени и области нахождения Солнца, и соответственно, теней от зданий [9, 10]. Во многих случаях моделируют еще и выброс вредных веществ в атмосферу, что может менять тепловой баланс в городе [11]. Эти задачи являются довольно сложными, и зачастую требуют нестационарного расчета на сетках с

достаточно большим количеством элементов, что, в свою очередь требует значительных ресурсов компьютерной техники [12, 13]. Таким образом, наиболее целесообразным способом борьбы с явлением теплового городского острова является изменение материала поверхностей дорог и зданий, а также отбор наилучших решений с помощью современных способов математического моделирования на основе численного расчета трехмерных нестационарных уравнений течения воздуха с учетом всех факторов влияния.

**Цель.** Целью данной статьи является оценка влияния шероховатости поверхности города при расчете проявления эффекта теплового острова в городе Харьков.

**Результаты исследований.** Для оценки проектных решений, направленных на улучшение проявления теплового острова в городе моделирование должно включать: моделирование движения воздуха, теплопередачу и уравнение радиации. Для оценки тепловых потоков произведены обширные экспериментальные исследования в разных точках земного шара и найдены определенные соотношения и закономерности [14].

Общий баланс энергий может быть записан в следующей форме [15]:

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A + S, \qquad (1)$$

где $Q^*$ – общий поток радиации всех волн; $Q_F$ – антропогенный тепловой поток; $Q_H$ – турбулентный явный тепловой поток; $Q_E$ – турбулентный скрытый тепловой поток; $\Delta Q_S$ – накопленный тепловой поток в заданном объеме (поглощение и излучение со всех поверхностей: вода, почва, строительные материалы); $\Delta Q_A$ – адвективный поток тепла; $S$ – все другие источники и поглотители тепла, например, фотосинтез. Зачастую потоками $\Delta Q_A$ и $S$ пренебрегают в силу их малости по сравнению с другими [14]. Антропогенный поток есть смысл учитывать, в основном, в зимний период, когда общий солнечный поток имеет меньшие значения, чем летом.

Вообще говоря, при валидации компьютерной модели необходимо проводить экспериментальные исследования всех вышеупомянутых потоков. Однако, на начальном этапе можно воспользоваться данными, полученными в работе [15] для Лодзи (Польша). Этот город находится практически на одной широте с Харьковом и с достаточной достоверностью можно использовать данные об общем потоке радиации Солнца всех волн. Характеристики тепловых потоков в течении дня представлены на рис. 1.

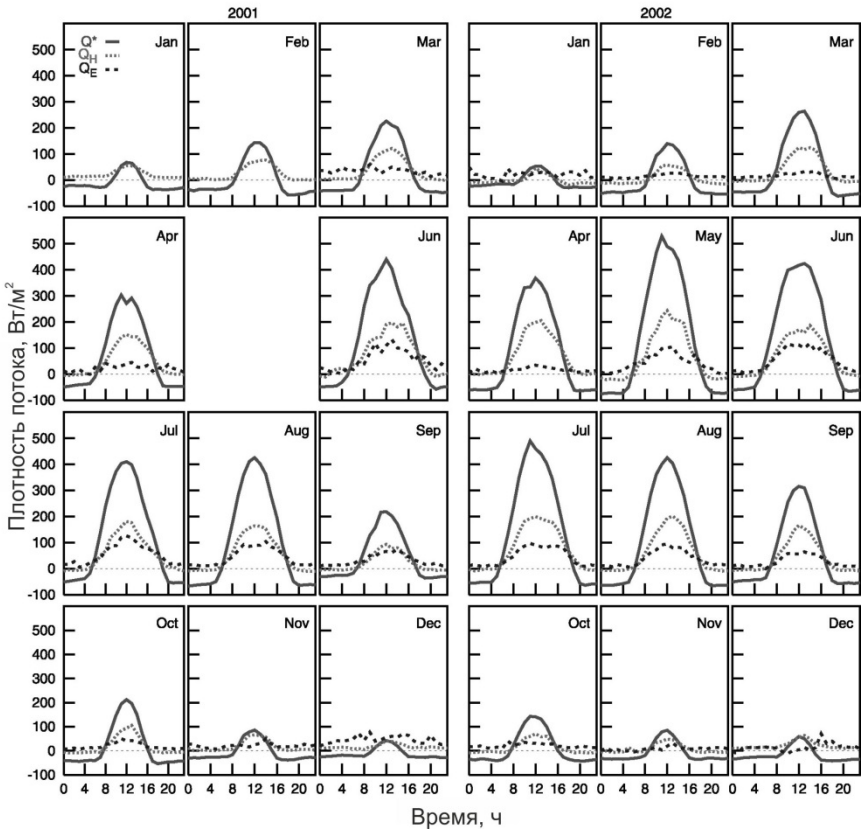



Рис. 1. Ежемесячный энергетический баланс [15]

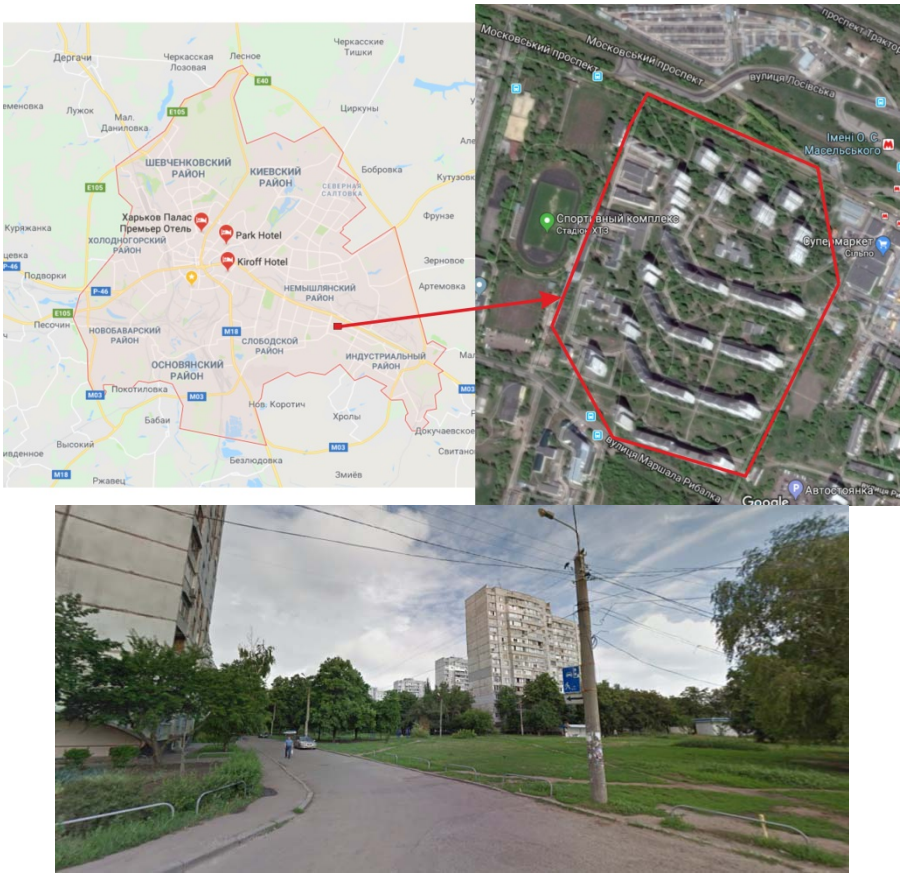



Рис. 2. Месторасположение исследуемой площади городской застройки

Накопленный тепловой поток определяется по формуле:

$$\Delta Q_S = \sum_{i=1}^{n}\left(f_i a_{1i}\right)Q^* + \sum_{i=1}^{n}\left(f_i a_{2i}\right)\left(\frac{\partial Q^*}{\partial t}\right) + \sum_{i=1}^{n}\left(f_i a_{3i}\right). \quad (2)$$

Здесь, $f_i$ – доля каждого вида из $n$ поверхностей, $a_{1i}, a_{2i}, a_{3i}$ – эмпирические коэффициенты [14].

На сегодняшний день, ввиду значительного увеличения мощности компьютеров, увеличилось значение математического моделирования микроклимата больших городов. Так как урбанистика развивалась последние двадцать лет силами ученых разных отраслей, то и возникло несколько подходов к математическому моделированию в зависимости от масштаба задачи. Различают: мезоуровень, микроуровень, здания, внутренние помещения [2].

При использовании мезомасштаба участки моделирования выбираются величиной примерно 100-200 км и, в основном, программное обеспечение используется для прогнозирования погоды, что требует специализированных подходов и оптимизации моделей к применению в таких масштабах [16].

Микроуровень чаще всего используется при моделировании участков городов 1-5 км. В этом случае используется программное обеспечение CFD на основе решения осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса с замыканием той или иной моделью турбулентности. Чаще всего применяют « $k-\varepsilon$ » модель, модифицируя ее для достижения оптимальных результатов. Однако, в последнее время, значительно увеличилось число исследований с помощью подходов *DES* (моделирование отсоединенных вихрей) и *LES* (моделирование крупных вихрей). Правда, вследствие того, что эти методы требуют значительного (на порядок) увеличения расчетной сетки, то и соответственно значительно растет время, затрачиваемое на расчет, что усложняет применение этих подходов. Особенно сложно применять такие подходы в условиях решения нестационарной задачи. Поэтому, все же пока, наиболее распространенным подходом к моделированию задач микроуровня остается моделирование уравнений *RANS* (осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса) с использованием либо модифицированных моделей « $k-\varepsilon$ », либо одной из самых универсальных моделей турбулентности *SST* Ментера [17-21]. В работах [22, 23] рассмотрено применение *LES* для прогнозирования характеристик микроклимата в городских условиях, однако, вследствие своей сложности, рассмотрено только одно или несколько созданных зданий без применения в условиях реального мегаполиса. Таким образом, на сегодняшний день, происходит только апробация данных методов для применения в прогнозировании микроклимата городов. Безусловно, результаты, по-

лученные в работах [22, 23] показывают хорошее согласование с экспериментальными данными, однако их применение в условиях реальной городской застройки пока преждевременно.

Все вышесказанное относительно моделирования микроуровня относится и к моделям расчета обтекания зданий, и к расчету микроклимата помещений. Здесь применяется CFD-анализ с тем же набором моделей турбулентности и, по большому счету, нет необходимости, на сегодняшний день, выделять отдельно методы расчета для таких масштабов.

Таким образом, для дальнейших расчетов остановимся на использовании подхода на основе решения уравнений *RANS* с использованием для замыкания *SST*-модели турбулентности. Валидация данного подхода для решения задач анализа микроклимата города приведена в работах [24, 25].

Обтекание зданий и сооружений в черте города с учетом теплопередачи характеризуется нестационарностью, энергетической неравновесностью, масштабной диффузией, что объясняется наличием больших когерентных структур. В таком случае основные уравнения для сжимаемой среды в нестационарной постановке выглядят следующим образом:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\frac{\partial \rho u_j}{\partial x_j}=0; \qquad (3)$$

$$\frac{\partial\left(\rho u_i\right)}{\partial t}+\frac{\partial\left(\rho u_i u_j\right)}{\partial x_j}= =-\left(\frac{\partial p}{\partial x_i}\right)+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\tau_{ij}-\rho u_i' u_j'\right)+\rho\beta\left(T-T_0\right)g_i; \qquad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t}+\frac{\partial\left(\rho u_j h\right)}{\partial x_j}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho u_j' h'-\frac{\mu}{\mathrm{Pr}}\frac{\partial h}{\partial x_j}\right)=0. \qquad (5)$$

Где $u$, $\rho$, $h$, $p$ – осредненные скорость, плотность, энтальпия и давление соответственно; $\rho u_i' u_j'$ – тензор Рейнольдсовых напряжений; $\rho u_j' h'$ – турбулентный тепловой поток моделируется связью с турбулентным числом Прандтля и турбулентной вязкостью, $\mu$ – динамическая вязкость; $\mathrm{Pr}=c_p\mu/s$ – число Прандтля, $c_p$ – удельная теплоемкость среды при постоянном давлении; $s$ – коэффициент теплопроводности. Тензор Рейнольдсовых напряжений и турбулентный тепловой поток должны моделироваться по специальным зависимостям. Тензор Рейнольдсовых напряжений моделируется на основе *SST* модели турбулентности.

***Модель солнечного излучения.*** В данной работе использовалась модель излучения по методу Монте-Карло, который предполагает, что поле излучения можно рассматривать как фотонный газ. Для этого газа средняя интенсивность излучения пропорциональна расстоянию, пройденному фотоном в единице объема в единицу времени. В этом случае можно получить интенсивность на основе подсчета фотонов в каждом элементе объема. Кроме того, подсчитывая количество фотонов, падающих на поверхность, получают средний радиационный поток и средний поглощаемый поток. Цель радиационного моделирования состоит в том, чтобы решить уравнение переноса излучения, для уравнения энергии и радиационный тепловой поток на стенках. Уравнение переноса излучения можно записать в виде:

$$\frac{dI_v\left(\vec{r},\vec{s}\right)}{dt}= =-\left(K_{\alpha v}+K_{sv}\right)I_v\left(\vec{r},\vec{s}\right)+K_{\alpha v}I_b\left(v,T\right)+, \qquad (6)$$
$$+\frac{K_{sv}}{4\pi}\int_{4\pi} dI_v\left(\vec{r},\vec{s}'\right)\Phi\left(\vec{s}\cdot\vec{s}'\right)d\Omega'+S.$$

где $v$ – частота; $\vec{r}$ – радиус-вектор; $\vec{s}$ – вектор направления; $K_\alpha$ – коэффициент абсорбции; $K_s$ – коэффициент рассеяния; $I_b$ – интенсивность излучения абсолютно черного тела; $I_v$ – спектральная интенсивность излучения, зависящая от положения и направления; $T$ – локальная абсолютная температура; $\Omega$ – телесный угол; $\Phi$ – фазовая функция рассеяния; $S$ – источник интенсивности излучения.

Уравнение (6) является уравнением первого порядка относительно $I_v$ в направлении $s$. Для решения этого уравнения требуется задать граничные условия для $I_v$:

непрозрачные диффузно излучающие и диффузно отражающие границы:

$$I_v\left(\vec{r}_w,\vec{s}\right)=\varepsilon_v\left(\vec{r}_w\right)I_b\left(v,T\right)+ +\frac{\rho_w\left(\vec{r}_w\right)}{\pi}\int_{n\cdot s'<0} I_v\left(\vec{r}_w,\vec{s}'\right)\left|\vec{n}\cdot\vec{s}'\right|d\Omega', \qquad (7)$$

диффузно излучающие и зеркально отражающие границы:

$$I_v\left(\vec{r}_w,\vec{s}\right)=\varepsilon_v\left(\vec{r}_w\right)I_b\left(v,T\right)+ +\frac{\rho_v^d\left(\vec{r}_w\right)}{\pi}\int_{n\cdot s'<0} I_v\left(\vec{r}_w,\vec{s}'\right)\left|\vec{n}\cdot\vec{s}'\right|d\Omega'+ +\rho_v^s\left(\vec{r}_w\right)I_v\left(\vec{r}_w,\vec{s}_s\right), \qquad (8)$$

где $\rho_v^d$ – диффузная отражательная способность; $\rho_v^s$ – зеркальная отражательная способность; $\rho_v$ – спектральная отражательная способность.

Рассматриваемая область городской застройки находится в городе Харьков. Площадь городской застройки отличается достаточно большим количеством высоких зданий, особенно в «спальных» районах города (30-50 м). Уличные деревья присутствуют в достаточно большом количестве, однако

их высота редко превышает 8..15 м, т.е. в большинстве своем, они ниже зданий. Рассматриваемый участок находится в восточной части города (рис. 2) и имеет следующие координаты 49°57' N и 36°21' E.

В последние годы проведено значительное количество исследований по определению оптимального размера расчетной области и выработаны рекомендации по ее выбору (рис. 3) [6].

В вычислительных пакетах возможны два варианта задания шероховатости: аэродинамическая шероховатость длиной $z_0$ и эквивалентная, пересчитанная на песчинки (sand-grain) шероховатость $k_s$. В большинстве кодов вычислительных пакетов, таких как Ansys CFX/Fluent, OpenFoam реализован второй способ задания шероховатости, что связано с тем, что пакеты разрабатывались, в первую очередь, для потребностей машиностроительных предприятий и для мелкомасштабных задач, в отличие, от рассматриваемой нами в данном исследовании. В работе [26] рассмотрены особенности пересчета и использования шероховатости по двум способам задания. Например, для Ansys CFX/OpenFoam была получена следующая формула перерасчета шероховатости и связи между двумя способами:

$$k_s = 29,6 z_0 . \qquad (9)$$

В данной работе использовался пакет OpenFoam, поэтому формула (9) использовалась и нами для задания шероховатости. Для этого можно воспользоваться таблицей 1, где приведены данные шероховатости для разных поверхностей. Таким образом, профиль вертикальной скорости задавался по следующей формуле:

$$U(z) = U_S \left( \frac{z}{z_s} \right)^{\alpha} , \qquad (10)$$

где $U_S$ – скорость вне пограничного слоя на высоте $z_s = 10$ м; $\alpha = 0,4$ – эмпирический коэффициент, зависящий от поверхности. В данном случае коэффициент выбран для городской застройки. Вообще говоря, можно использовать и другой способ задания профиля скорости в граничном условии входа в том случае, если моделируется весь пограничный слой города большой высоты [27-29].

Граничные условия по температуре и по скорости ветра были заданы исходя из данных метеорологической станции, находящейся на расстоянии 4 км от рассматриваемого участка в Международном аэропорте города Харькова.

Таблица 1

**Классификация шероховатости**

| $z_0$, м | Тип поверхности |
|---|---|
| 0,0002 | Море, озеро, пустыня, заснеженная неограниченная поверхность |
| 0,005 | Поверхность Земли без препятствий, пляжи, лед |
| 0,03 | Трава, пастбища, тундра |
| 0,1 | Сельскохозяйственные посевы, фермы, низкие изгороди и одиночные ряды деревьев |
| 0,25 | Виноградники, кустарники, высокие сельскохозяйственные растения |
| 0,5 | Сады, молодой густо посаженный лес, низкая большая растительность |
| 1,0 | Зрелые леса, однородные города или деревни |
| >2,0 | Центры городов, тропический лес, большие леса с большим числом полян |

На рис. 4 и 5 приведены результаты расчета температур в дневное время.

Кроме влияния солнечного излучения, на температуру в рассматриваемой области, влияет и скорость ветра. На рис. 6 приведены распределения скорости ветра на высоте 1,8 м. Согласно метеорологических данных в 09.00 скорость ветра была 4 м/с (С-З-С), в 13.00 – 6 м/с (С-З-С), в 18.00 – 5 м/с (С-З).

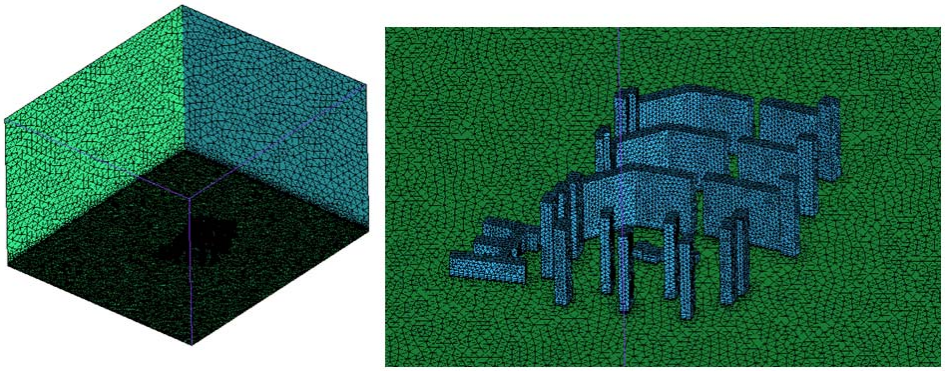


Рис. 3. Сеточная модель исследуемого участка городской застройки

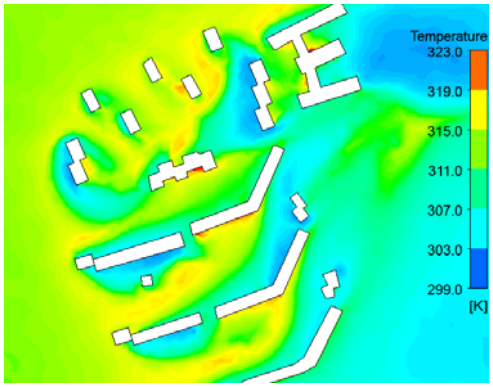



Рис. 4. Распределение температуры в рассматриваемой области в дневное время вблизи поверхности Земли

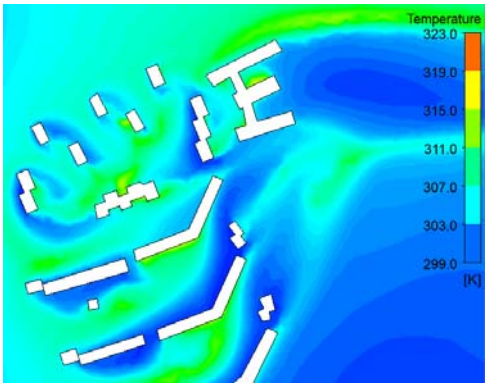



Рис. 5. Распределение температуры в рассматриваемой области в дневное время на высоте 1,8 м

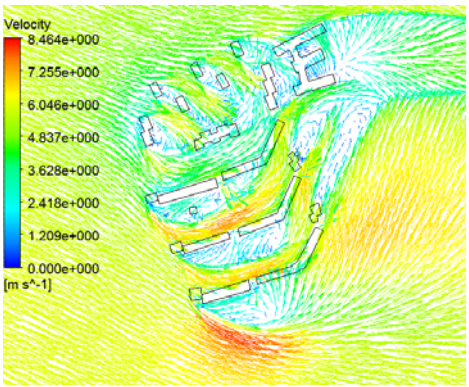
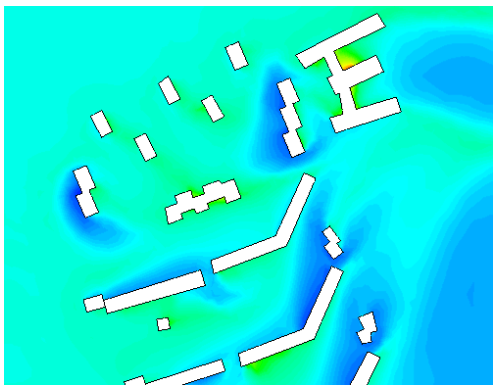


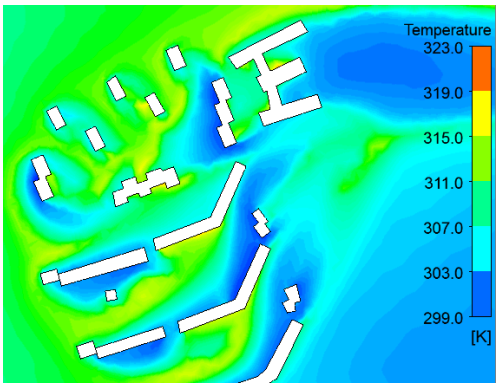

Рис. 6. Распределение векторов скорости воздуха в рассматриваемой области на высоте 1,8 м в дневное время

На рис. 7 приведены картины сравнения расчетов с учетом и без учета шероховатости. Шероховатость была задана согласно таблицы 1 величиной $z_o = 1$ м, что в пересчете на $k_s = 29,6$ м. Наблюдаются изменения в температуре возле поверхности Земли и зданий, что видимо, связано с уменьшением скорости вблизи поверхностей.

Моделирование солнечного излучения производилось на основе данных рис. 1 путем задания в нестационарном расчете величины солнечного излучения и угла наклона Солнца к поверхности Земли. Все результаты расчетов приведены для дневного времени в 13.00.



а




б

Рис. 7. Сравнение распределения температуры при расчете с учетом шероховатости (а) и без ее учета (б)

Таким образом, следует отметить, что расчеты обтекания зданий в городе необходимо производить задавая шероховатость поверхности. В обратном случае, необходимо увеличивать область застройки и моделировать город целиком, что увеличивает объем расчетной сетки и значительно увеличивает время на расчет. В дальнейших работах планируется произвести сравнение расчетных картин с экспериментальными данными для оценки величины погрешности, возникающей, вследствие не учета шероховатости.

В работе исследовано применение математического моделирования к таким сложным объектам, как городской климат. Улучшение климата и уменьшение температуры воздуха в городе тесно связано с увеличением зеленых насаждений, водных объектов и с использованием светлых цветов поверхностей. Кроме того, учет выбросов вредных веществ в атмосферу мегаполиса автомобилями и автобусами так же должно учитываться для адекватного сравнения полученных результатов с экспериментальными исследованиями. Освещенная в работе проблема является новой для постсоветских мегаполисов и требует пристального внимания. Полученные результаты не противоречат известным зависимостям и дополняют общую информацию об особенностях климата городов.

**Выводы:**

1) На основе совместного решения осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса и модели солнечного излучения по методу Монте-Карло численным путем оценено влияние заданной шероховатости поверхности города при расчете проявления эффекта теплового острова в городе Харьков.

2) Уменьшение скорости воздуха вблизи поверхности Земли вызвано большой шероховатостью и приводит к увеличению температуры поверхности, и манифестации эффекта теплового острова.

3) Расчеты обтекания зданий в городе необходимо производить задавая шероховатость поверхности, в обратном случае необходимо увеличивать область застройки и моделировать город целиком, что увеличивает объем расчетной сетки и значительно увеличивает время на расчет.

**Литература**


1. Oke T. R.Simulation of surface urban heat islands under ‘ideal’conditions at night Part 2: Diagnosis of causation / Oke, T. R., Johnson, G. T., Steyn, D. G., & Watson, I. D.//Boundary-Layer Meteorology. – 1991. – V. 56. – №. 4. – P. 339-358.
2. Toparlar Y. A review on the CFD analysis of urban microclimate /Toparlar, Y., Blocken, B., Maiheu, B., Van Heijst, G. J. F. //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – V. 80. – P. 1613-1640.
3. Garssen J. The effect of the summer 2003 heat wave on mortality in the Netherlands / Garssen J., Harmsen C., Beer J. //Eurosurveillance. – 2005. – V. 10. – №. 7-9. – P. 165-167.
4. Georgakis C. Studying the effect of “cool” coatings in street urban canyons and its potential as a heat island mitigation technique / Georgakis C., Zoras S., Santamouris M. //Sustainable Cities and Society. – 2014. – V. 13. – P. 20-31.
5. Rosenfeld A. H. Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction / Rosenfeld, A. H., Akbari, H., Romm, J. J., & Pomerantz, M.//Energy and Buildings. – 1998. – V. 28. – №. 1. – P. 51-62.
6. Blocken B. Computational Fluid Dynamics for urban physics: Importance, scales, possibilities, limitations and ten tips and tricks towards accurate and reliable simulations / B. Blocken //Building and Environment. – 2015. – V. 91. – P. 219-245.
7. Ashie Y. Numerical simulation of urban heat island in a ten-kilometer square area of central Tokyo / Ashie, Y., Tokairin, T., Kono, T., & Takahashi, K. //Annual report of the earth simulator center April. – 2006. – C. 45-48.
8. Liu Y. S. Study on micro-atmospheric environment by coupling large eddy simulation with mesoscale model / Liu, Y. S., Miao, S. G., Zhang, C. L., Cui, G. X., & Zhang, Z. S. //Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2012. – V. 107. – P. 106-117.
9. Shahidan M. F. An evaluation of outdoor and building environment cooling achieved through combination modification of trees with ground materials / Shahidan, M. F., Jones, P. J., Gwilliam, J., & Salleh, E. //Building and Environment. – 2012. – V. 58. – P. 245-257.
10. Mochida A. Prediction of wind environment and thermal comfort at pedestrian level in urban area / Mochida A., Lun I. Y. F. //Journal of wind engineering and industrial aerodynamics. – 2008. – V. 96. – №. 10-11. – P. 1498-1527.
11. Солодов В.Г. Модель переноса атмосферных загрязнений в полосе насаждений возле автомобильной дороги. /В.Г. Солодов, А.Г. Авершин //Автомобиль и электроника. Современные технологии. – 2018. – №13. – С. 98-107.
12. Rogovyi A. Use of detached-eddy simulation method (DES) in calculations of the swirled flows in vortex apparatuses /A.Rogovyi// Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. – 2016. – Vol. 16, No 3. – P. 57-62.
13. Blocken B. CFD evaluation of wind speed conditions in passages between parallel buildings-effect of wall-function roughness modifications for the atmospheric boundary layer flow /Blocken B., Carmeliet J., Stathopoulos T. //Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2007. – V. 95. – №. 9-11. – P. 941-962.
14. Grimmond C. S. B. Turbulent heat fluxes in urban areas: Observations and a local-scale urban meteorological parameterization scheme (LUMPS) /Grimmond C. S. B., Oke T. R. //Journal of Applied Meteorology. – 2002. – V. 41. – №. 7. – P. 792-810.
15. Offerle B. Temporal variations in heat fluxes over a central European city centre / Offerle, B., Grimmond, C. S. B., Fortuniak, K., Kłysik, K., & Oke, T. //Theoretical and applied climatology. – 2006. – V. 84. – №. 1-3. – P. 103-115.
16. Mochida A. Up-scaling CWE models to include mesoscale meteorological influences / Mochida, A., Iizuka, S., Tominaga, Y., Lun, I. Y. F.//Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2011. – V. 99. – №. 4. – P. 187-198.
17. Menter FR. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications / Menter FR. // AIAA Journal. – 1994. –V. 32(8). – P. 1598-1605.
18. Chernetskaya-Beletskaya N. Study on the coal-water fuel pipeline transportation taking into account the granulometric composition parameters / N. Chernetskaya-Beletskaya, A.Rogovyi, A.Shvornikova, I.Baranov, M.Miroshnikova, N.Bragin // International Journal of Engineering & Technology – № 7 (4.3). – 2018. – pp. 240-245.
19. Сёмин Д.А. Математическое моделирование рабочих процессов безроторных центробежных насосов. /Д.А. Сёмин, А.С. Роговой // Вісник СНУ ім. В.Даля. – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В.Даля. - №5 (159). Ч.1 – 2011. – С. 338 – 344.
20. Rogovyi A. Energy performances of the vortex chamber supercharger / A.Rogovyi. // Energy – № 163. – 2018. – pp. 52-60.
21. Rogovyi A. Application of the similarity theory for vortex chamber superchargers /Rogovyi A., Khovanskyy S. //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2017. – V. 233. – №. 1. – P. 012011.
22. Park S. B. A large-eddy simulation study of thermal effects on turbulent flow and dispersion in and above a street canyon / Park, S. B., Baik, J. J., Raasch, S., Letzel, M. O.//Journal of Applied Meteorology and Climatology. – 2012. – V. 51. – №. 5. – P. 829-841.
23. Liu J. The impact of exterior surface convective heat transfer coefficients on the building energy consumption in urban neighborhoods with different plan area densities /Liu, J., Heidarinejad, M., Gracik, S., Srebric, J. //Energy and Buildings. – 2015. – V. 86. – P. 449-463.
24. Liu J. Numerical simulation of convective heat transfer coefficients at the external surfaces of building arrays immersed in a turbulent boundary layer / Liu J., Srebric J.,

Yu N. //International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2013. – V. 61. – P. 209-225.
25. Defraeye T. CFD analysis of convective heat transfer at the surfaces of a cube immersed in a turbulent boundary layer / Defraeye T., Blocken B., Carmeliet J. //International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2010. – V. 53. – №. 1-3. – P. 297-308.
26. Blocken B. CFD simulation of the atmospheric boundary layer: wall function problems /Blocken B., Stathopoulos T., Carmeliet J. //Atmospheric environment. – 2007. – V. 41. – №. 2. – P. 238-252.
27. Tominaga Y. AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings /Tominaga, Y., Mochida, A., Yoshie, R., Kataoka, H., Nozu, T., Yoshikawa, M., Shirasawa, T. //Journal of wind engineering and industrial aerodynamics. – 2008. – V. 96. – №. 10-11. – P. 1749-1761.
28. Wieringa J. Updating the Davenport roughness classification /Wieringa J. //Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 1992. – V. 41. – №. 1-3. – P. 357-368.
29. A.S. Rogovyi. Comparative Analysis Of Performance Characteristics Of Jet Vortex Type Superchargers / A.S. Rogovyi, Ye. Voronova //Автомобильный транспорт. – 2016.– Вып. 38. С. 93–98.

**References**

1. Oke T. R.Simulation of surface urban heat islands under ‘ideal’conditions at night Part 2: Diagnosis of causation / Oke, T. R., Johnson, G. T., Steyn, D. G., & Watson, I. D.//Boundary-Layer Meteorology. – 1991. – V. 56. – №. 4. – P. 339-358.
2. Toparlar Y. A review on the CFD analysis of urban microclimate /Toparlar, Y., Blocken, B., Maiheu, B., Van Heijst, G. J. F. //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – V. 80. – P. 1613-1640.
3. Garssen J. The effect of the summer 2003 heat wave on mortality in the Netherlands / Garssen J., Harmsen C., Beer J. //Eurosurveillance. – 2005. – V. 10. – №. 7-9. – P. 165-167.
4. Georgakis C. Studying the effect of “cool” coatings in street urban canyons and its potential as a heat island mitigation technique / Georgakis C., Zoras S., Santamouris M. //Sustainable Cities and Society. – 2014. – V. 13. – P. 20-31.
5. Rosenfeld A. H. Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction / Rosenfeld, A. H., Akbari, H., Romm, J. J., & Pomerantz, M.//Energy and Buildings. – 1998. – V. 28. – №. 1. – P. 51-62.
6. Blocken B. Computational Fluid Dynamics for urban physics: Importance, scales, possibilities, limitations and ten tips and tricks towards accurate and reliable simulations / B. Blocken //Building and Environment. – 2015. – V. 91. – P. 219-245.
7. Ashie Y. Numerical simulation of urban heat island in a ten-kilometer square area of central Tokyo / Ashie, Y., Tokairin, T., Kono, T., & Takahashi, K. //Annual report of the earth simulator center April. – 2006. – С. 45-48.
8. Liu Y. S. Study on micro-atmospheric environment by coupling large eddy simulation with mesoscale model / Liu, Y. S., Miao, S. G., Zhang, C. L., Cui, G. X., & Zhang, Z. S. //Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2012. – V. 107. – P. 106-117.
9. Shahidan M. F. An evaluation of outdoor and building environment cooling achieved through combination modification of trees with ground materials / Shahidan, M. F., Jones, P. J., Gwilliam, J., & Salleh, E. //Building and Environment. – 2012. – V. 58. – P. 245-257.
10. Mochida A. Prediction of wind environment and thermal comfort at pedestrian level in urban area / Mochida A., Lun I. Y. F. //Journal of wind engineering and industrial aerodynamics. – 2008. – V. 96. – №. 10-11. – P. 1498-1527.
11. Solodov V.G. Model' perenosa atmosfernyh zagrjaznenij v polose nasazhdenij vozle avtomobil'noj dorogi. /V.G. Solodov, A.G. Avershin //Avtomobil' i jelektronika. Sovremennye tehnologii. – 2018. – №13. – S. 98-107.
12. Rogovyi A. Use of detached-eddy simulation method (DES) in calculations of the swirled flows in vortex apparatuses /A.Rogovyi// Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. – 2016. – Vol. 16, No 3. – P. 57-62.
13. Blocken B. CFD evaluation of wind speed conditions in passages between parallel buildings-effect of wall-function roughness modifications for the atmospheric boundary layer flow /Blocken B., Carmeliet J., Stathopoulos T. //Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2007. – V. 95. – №. 9-11. – P. 941-962.
14. Grimmond C. S. B. Turbulent heat fluxes in urban areas: Observations and a local-scale urban meteorological parameterization scheme (LUMPS) /Grimmond C. S. B., Oke T. R. //Journal of Applied Meteorology. – 2002. – V. 41. – №. 7. – P. 792-810.
15. Offerle B. Temporal variations in heat fluxes over a central European city centre / Offerle, B., Grimmond, C. S. B., Fortuniak, K., Kłysik, K., & Oke, T. //Theoretical and applied climatology. – 2006. – V. 84. – №. 1-3. – P. 103-115.
16. Mochida A. Up-scaling CWE models to include mesoscale meteorological influences / Mochida, A., Iizuka, S., Tominaga, Y., Lun, I. Y. F.//Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2011. – V. 99. – №. 4. – P. 187-198.
17. Menter FR. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications / Menter FR. // AIAA Journal. – 1994. –V. 32(8). – P. 1598-1605.
18. Chernetskaya-Beletskaya N. Study on the coal-water fuel pipeline transportation taking into account the granulometric composition parameters / N. Chernetskaya-Beletskaya, A.Rogovyi, A.Shvornikova, I.Baranov, M.Miroshnikova, N.Bragin // International Journal of Engineering & Technology – № 7 (4.3). – 2018. – pp. 240-245.
19. Syomin D.A. Matematicheskoe modelirovanie rabochih processov bezrotornyh centrobezhnyh nasosov. /D.A. Syomin, A.S. Rogovyi // Visnik SNU im. V.Dalja. – Lugans'k: Vid-vo Shidnoukr. nac. un-tu im. V.Dalja. - №5 (159). Ch.1 – 2011. – S. 338 – 344.
20. Rogovyi A. Energy performances of the vortex chamber supercharger / A.Rogovyi. // Energy – № 163. – 2018. – pp. 52-60.
21. Rogovyi A. Application of the similarity theory for vortex chamber superchargers /Rogovyi A., Khovanskyy S. //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2017. – V. 233. – №. 1. – P. 012011.
22. Park S. B. A large-eddy simulation study of thermal effects on turbulent flow and dispersion in and above a street canyon / Park, S. B., Baik, J. J., Raasch, S., Letzel, M. O.//Journal of Applied Meteorology and Climatology. – 2012. – V. 51. – №. 5. – P. 829-841.
23. Liu J. The impact of exterior surface convective heat transfer coefficients on the building energy consumption in urban neighborhoods with different plan area densities

/Liu, J., Heidarinejad, M., Gracik, S., Srebric, J. //Energy and Buildings. – 2015. – V. 86. – P. 449-463.
24. Liu J. Numerical simulation of convective heat transfer coefficients at the external surfaces of building arrays immersed in a turbulent boundary layer / Liu J., Srebric J., Yu N. //International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2013. – V. 61. – P. 209-225.
25. Defraeye T. CFD analysis of convective heat transfer at the surfaces of a cube immersed in a turbulent boundary layer / Defraeye T., Blocken B., Carmeliet J. //International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2010. – V. 53. – №. 1-3. – P. 297-308.
26. Blocken B. CFD simulation of the atmospheric boundary layer: wall function problems /Blocken B., Stathopoulos T., Carmeliet J. //Atmospheric environment. – 2007. – V. 41. – №. 2. – P. 238-252.
27. Tominaga Y. AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings /Tominaga, Y., Mochida, A., Yoshie, R., Kataoka, H., Nozu, T., Yoshikawa, M., Shirasawa, T. //Journal of wind engineering and industrial aerodynamics. – 2008. – V. 96. – №. 10-11. – P. 1749-1761.
28. Wieringa J. Updating the Davenport roughness classification /Wieringa J. //Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 1992. – V. 41. – №. 1-3. – P. 357-368.
29. A.S. Rogovyi. Comparative Analysis Of Performance Characteristics Of Jet Vortex Type Superchargers / A.S. Rogovyi, Ye. Voronova //Automobile Transport. – 2016.– N. 38. – P. 93–98.

**Роговий А.С. Оцінка впливу шорсткості поверхні міста на прояв ефекту теплового острова у великому місті.**

*На основі спільного вирішення осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є-Стокса і моделі сонячного випромінювання за методом Монте-Карло, чисельним шляхом оцінено вплив заданої шорсткості поверхні міста при розрахунку прояву ефекту теплового острова в місті Харків. Зменшення швидкості повітря поблизу поверхні Землі, пов'язане з досить великою заданої шорсткістю призводить до збільшення температури поверхні і прояву ефекту теплового острова. Розрахунки обтікання будівель в місті необхідно проводити задаючи шорсткість поверхні, у зворотному випадку необхідно збільшувати область розрахунку і моделювати місто цілком, що збільшує обсяг розрахункової сітки і значно збільшує час на розрахунок.*

***Ключові слова:*** *чисельний розрахунок, ефект міського теплового острова, математичне моделювання, шорсткість поверхні, багатоповерхові будинки*

**Rogovyi A. Estimation of the effect of the city surface roughness on the manifestation of the urban heat island effect in a big city.**

*Based on the joint solution of the Navier-Stokes equations averaged by Reynolds and the model of solar radiation by the Monte Carlo method, the effect of given surface roughness of the city in Kharkiv city was estimated numerically. The decrease in air velocity near the surface of the Earth, which is associated with a sufficiently large predetermined roughness, leads to an increase in the surface temperature and the manifestation of the effect of the heat island. Calculations of the flow around buildings in the city must be made by specifying the surface roughness, in the opposite case it is necessary to increase the area of calculation and simulate the whole city, which increases the volume of the computational grid and significantly increases the time for calculation.*

***Keywords:*** *numerical calculation, urban heat island effect, mathematical modeling, surface roughness, high-rise buildings*

**Роговой А.С. –** д.т.н., доц., профессор кафедры теоретической механики и гидравлики, ХНАДУ, г. Харьков, Украина, e-mail: asrogovoy@ukr.net

*Рецензент*: д.т.н., проф. ***Чернецька-Білецька Н.Б.***

Стаття подана 05.04.2019

УДК 625.032.8

# АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ОПОРУ РУХУ РЕЙКОВИХ ЕКІПАЖІВ

**Семенов С.О., Михайлов Є.В.**

# ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF EQUIPMENT FOR RESEARCHES RESISTANCE OF MOTION OF RAIL VEHICLES

**Semenov S., Mikhailov Ye.**

*Дослідження питань, що присвячені зниженню опору руху рухомого складу є актуальними для підвищення енергетичної ефективності рейкових транспортних засобів. Розглянуті пристрій та характеристики відомого стендового обладнання, що використовується для експериментальних досліджень опору руху рейкових екіпажів. Аналізом встановлено, що найбільш раціональними по критерію «вартість-якість» є модельні стендові установки із замкнутим кінематичним ланцюгом і можливістю імітації руху моделі екіпажа в кривих ділянках рейкової колії.*
***Ключові слова:*** *рейковий екіпаж, опір руху, дослідження, стенд, колесо, рейка.*

**Вступ.** Пошук рішень задач і здійснення заходів, пов'язаних зі зниженням опору руху рухомого складу є актуальними для підвищення енергетичної ефективності рейкового транспорту та сприяє поліпшенню показників роботи залізниць і зниженню собівартості перевезень.

Дослідні дані про опір руху мають важливе значення для вдосконалення експлуатаційних якостей рейкового екіпажу [1], оскільки будь-які розрахунки, які пов'язані з ефективністю нових технічних рішень, неможливо здійснити достатньо точно без даних про опір руху.

У реальних умовах експлуатації на опір руху вагону впливає значна кількість чинників: конструкція кузова і ходових частин, швидкість руху, розташування у складі поїзда, ступінь навантаження, тип вантажу, технічний стан транспортного засобу і колії та ін. [2], що визначає труднощі при оцінці самої величини опору руху.

Реалізацію досліджень, направлених на вивчення опору руху рейкових екіпажів, можна розділити по наступних напрямах:

- дослідження на фізичних моделях, характеристики яких вивчаються в лабораторних умовах;

- натурні випробування, що проводяться в реальних умовах або умовах, близьких до реальних.

Відповідно до положень ГОСТ 15.101-98 «Порядок выполнения научно-исследовательских работ» [3], під фізичною моделлю розуміється виріб, відтворюючий або імітуючий конкретні властивості та виготовлений для перевірки принципу його дії і визначення характеристик.

Недоліками натурних випробувань, що проводяться в реальних умовах, є достатньо коштовні заходи щодо їх організації і проведення, необхідність забезпечення «вікон» в графіці руху поїздів (якщо випробування проводяться на коліях магістральних залізниць), тому, при наявності можливості, доцільно дослідження впливу різноманітних факторів на опір руху рейкових екіпажів здійснювати в рамках першого напряму.

Достатньо широке різноманіття існуючих стендових установок [4, 5, 6, 7, 8, 9], призначених для випробувань рухомого складу, вимагає проведення аналізу їх конструкцій з метою визначення раціональних характеристик експериментальної установки, що дозволяє адекватно відтворювати великий спектр явищ при дослідженні поведінки рейкових екіпажів відповідно до поставлених завдань.

**Мета статті –** аналіз конструкцій та характеристик обладнання для проведення експериментальних досліджень опору руху рейкових екіпажів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Попередній аналіз конструкцій експериментального лабораторного устаткування для дослідження опору руху рейкових екіпажів показав достатньо широку їх різноманітність [4, 10, 11]. Умовно їх можна розділити на 2 великі групи:

- модельні випробувальні гірки;

- натурні та модельні каткові стенди.

Використання модельних випробувальних гірок є достатньо поширеним при визначенні опору

руху [12 – 14 та ін]. Зазвичай така гірка складається з двох ділянок рейкової колії: похилої та горизонтальної. Перша ділянка має пристосування для зміни кута нахилу і його фіксації, причому на ньому встановлений спусковий механізм, за допомогою якого забезпечуються однакові умови спуску моделей екіпажів. Швидкість руху моделі екіпажу регулюється зміною кута нахилу розгінної ділянки випробувальної гірки.

Загальний принцип дії модельних випробувальних гірок наступний (рис.1): шляхом підняття важеля спускового механізму проводиться запуск моделі рейкового екіпажа, в результаті він рухається по розгінній ділянці гірки до горизонтальної ділянки.

В процесі свого руху модель рейкового екіпажа витрачає енергію, і швидкість її питомої витрати на одиницю довжини колії визначає енергетичну ефективність руху екіпажа по рейковій колії. Витрата енергії при русі моделі рейкового екіпажа пояснюється дією зовнішніх сил, що виконують роботу проти напряму його руху.

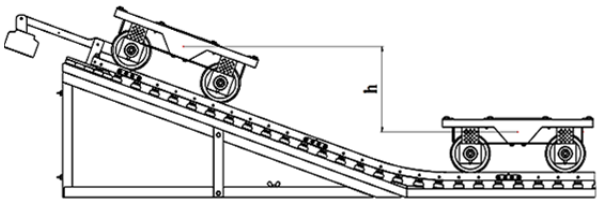



Рис. 1. Приклад модельної випробувальної гірки [12]

У деяких модельних випробувальних гірках є горизонтальна ділянка у вигляді модельних кривих різних радіусів. Опис і принцип дії такої установки приведений у роботі [15]**Ошибка! Закладка не определена.**. Проте, у вищеперелічених роботах самими авторами відмічено, що для вирішення завдань з дослідження опору руху, подібні стендові установки є недосконалими, що пов'язане з некоректним відображенням складових повного опору руху моделей рейкових екіпажів.

Серед різновидів експериментального устаткування другої групи важливе місце займають каткові стенди. У роботі [16] відмічено, що проведення стендових випробувань сприяє створенню конструкцій ходових частин рейкових екіпажів на високому технічному рівні. Стендові дослідження дозволяють забезпечити вимірювання параметрів досліджуваних процесів з найменшою похибкою, виявити закономірності і суть окремих явищ, що протікають в процесі руху по рейковій колії, скоротити пов'язані з випробуваннями витрати, забезпечити стабільність роботи і повторюваність результатів.

Випробування рухомого складу за допомогою натурних каткових стендів здійснюються шляхом установки рейкового транспортного засобу на «шлях, що біжить», який складається з катків, що обертаються, сполучених з гальмівним пристроєм, який імітує опір складу. Сила тяги вимірюється динамометром, катки приводяться в обертання від двигуна.

В результаті аналізу конструкцій стендових установок, використовуваних в різних країнах, автором роботи [17] виконана детальна класифікація існуючої різноманітності каткових стендів (рис.2) залежно від поставлених в лабораторних дослідженнях завдань.

На кафедрі залізничного транспорту СНУ ім. В.Даля також створено декілька натурних стендів, що дозволяють вирішувати задачі по визначенню характеристик силової взаємодії в системі «колесо-рейка». Однією з таких стендових установок є стенд «колесо-рейка» [15, 18-21], який призначений для дослідження процесів зчеплення в умовах контактування, наближених до реальних (рис.3).

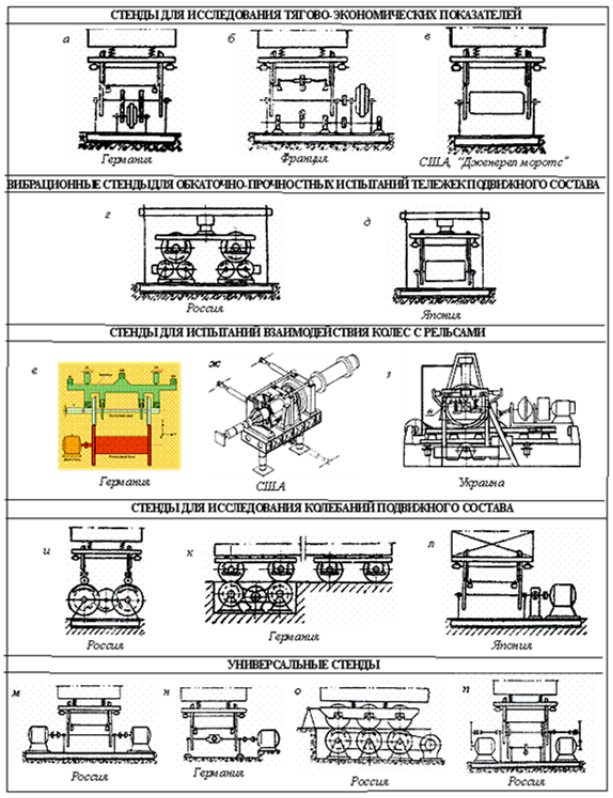



Рис. 2. Класифікація каткових стендових установок [15]

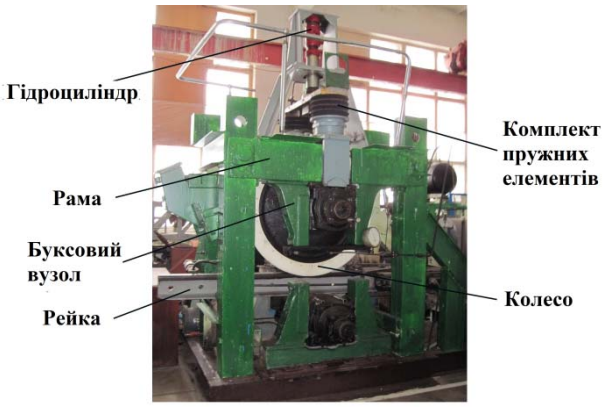



Рис. 3. Загальний вид стенду «Колесо-рейка»

Основними частинами стенду є: натурне колесо, відрізок рейки, рама, привід, система навантаження, система гальмування. Схема «електродвигун – маховик – мультіплікатор –гідротрансформатор – редуктор» дозволяє при порівняно невеликій потужності приводу короткочасно досягати силових моментів, достатніх для імітації боксовань навіть при високих навантаженнях колеса на рейку. Одна з особливостей стенду – наявність пристрою для створення величини сили опору руху [22], що регулюється блоком управління.

Також на стенді передбачена можливість імітації руху в прямій і кривій ділянці колії шляхом фіксованого повороту верхньої рами із закріпленим на ній колесом щодо нижньої рами стенду, а також моделювання горизонтальних та вертикальних динамічних навантажень.

Детальніше характеристики цього стенду представлені в роботах [18, 19], автори яких указують на необхідність багатократних випробувань для отримання надійних і об'єктивних даних.

Ще одним натурним стендом з широкими можливостями є каткова станція [18, 23], створена на тій же кафедрі. Її особливість – наявність можливості зміни положення колісних пар щодо рейки (рис.4).

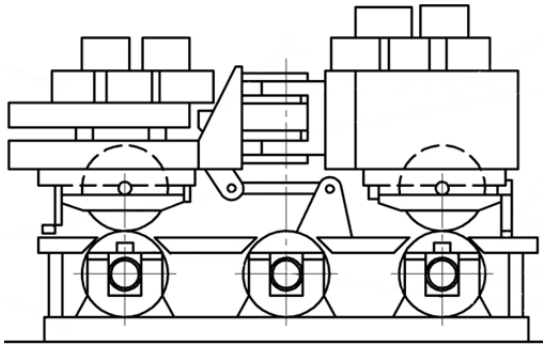


Рис. 4. Схема каткової станції

Установка дозволяє проводити динамічні випробування коліс різних конструкцій, вивчати поведінку рейкового екіпажа при зміні кута набігання коліс, виконувати дослідження акустичної емісії [18, 22]. На катковій станції вертикальне навантаження моделюється шляхом застосування навантажуючих пристроїв, в ролі яких виступають чавунні плити. За рахунок конструктивного виконання рами дослідного екіпажу, що складається з двох напіврам, сполучених між собою шарнірами і поворотною тягою, функціональні можливості каткової станції розширюються.

Так, В.П. Ткаченко [18] із застосуванням цієї стендової установки було отримано залежності опору руху коліс від кута набігання на рейку при різних осьових навантаженнях (рис.5).

Серед стендових установок, що є за кордоном, слід зазначити натурний стенд, сконструйований в дослідницько-технологічному центрі залізниць Німеччини (DBAG) [23]**Ошибка! Закладка не определена.**. Загальний вид стенду та його кінематична схема показані на рис.6.

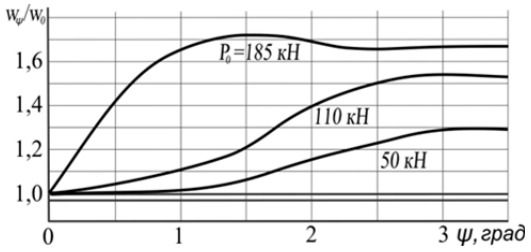
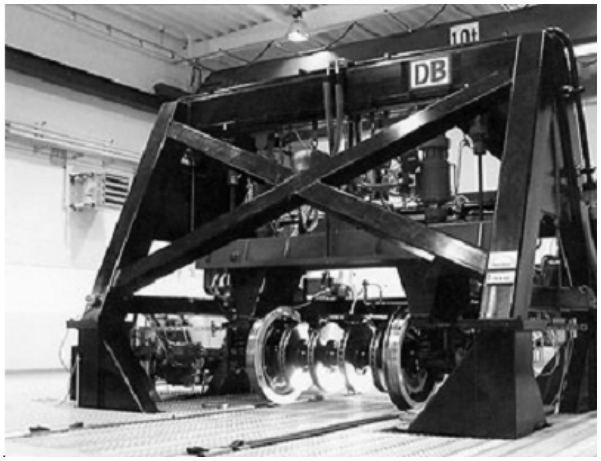
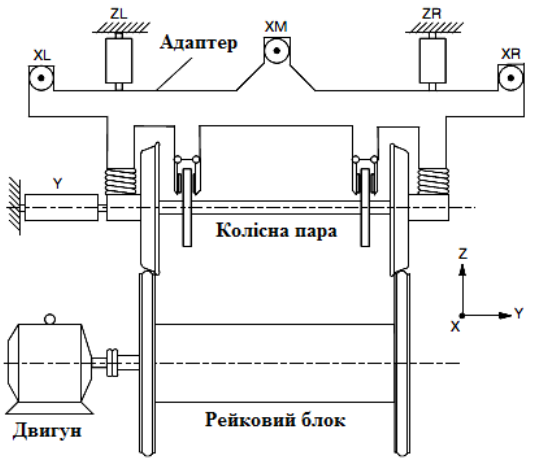



Рис. 5. Залежність відносного збільшення опору коченню колеса по рейці при гребеневому контакті від кута набігання




а




б

Рис. 6. Натурний стенд для дослідження системи «колесо-рейка»:
а – загальний вид стенду; б– кінематична схема стенду

Як стверджують автори роботи [23], результати, отримані в ході випробувань на натурному стенді, дають можливість встановлювати відповідність між необхідним об'ємом заходів щодо поточного утримання компонентів системи «колесо - рейка» з урахуванням граничних допустимих експлуатаційних параметрів з одного боку, і сучасних експлуатаційних вимог, з іншого. Також є можливість імітації

навантажень, що діють на рейковий екіпаж при проходженні кривих, для чого необхідно погоджувати діаметри коліс або кільцевої рейки з різними умовами випробувань.

Істотним недоліком натурних каткових стендів є висока вартість стендового устаткування, випробовуваних натурних моделей елементів екіпажу та організації самих процесів випробувань.

Окреме місце в даній групі займають модельні каткові стенди, оскільки їх спорудження та модернізація залежно від поставлених завдань є порівняно недорогим. Основною особливістю таких стендів є наявність катків або роликів, які виконують роль рейкової колії, що приводяться в рух за допомогою приводу. Важлива вимога до модельних каткових стендів – виготовлення катків, що імітують рейку, і коліс рейкового екіпажа з такого ж матеріалу, як рейки і колісні пари відповідно, з дотриманням жорсткостей зв'язків, моментів інерції і так далі у відповідному масштабі.

У роботі [24] приведені результати дослідження на модельному катковому стенді «Рухомий склад – Верхня будова колії», що проводилися з метою визначення впливу ширини рейкової колії на динамічні характеристики рухомого складу при вписуванні в криві різного радіусу, а також опору руху рухомого складу в кривих ділянках колії. Конструкція стенду дозволяє проводити порівняльні випробування на моделях екіпажу і визначати знос ходової частини рухомого складу в кривих ділянках колії. На жаль, в роботі [24] детально не викладено, яким чином визначався опір руху в кривих ділянках колії, і яким чином здійснювалася імітація кривих різних радіусів.

Детальний аналіз характеристик модельних каткових стендів був проведений також Вінником Л.В. [25], який запропонував класифікувати ці установки залежно від наявних в них кінематичних ланцюгів. Перевагами установок із розімкненим кінематичним ланцюгом (один каток і одна модель колеса, або колісної пари) є легкість завдання на випробовуваній моделі колеса потрібної дотичної сили і порівняльна простота здійснення вимірювань. Перевага замкнутих кінематичних ланцюгів (система з катків і моделей коліс) полягає в реалізації на модельній установці умов, подібних експлуатаційним. У роботі показано, що відхилення діаметру одного з катків на деяку величину Δ дозволяє імітувати рух моделі рейкового екіпажа в кривій певного радіусу.

**Висновки.** Порівняльна оцінка конструктивного виконання та характеристик відомого стендового устаткування для дослідження опору руху рейкових екіпажів свідчить, що найбільш раціональними за критерієм «вартість-якість» є модельні стендові установки із замкнутим кінематичним ланцюгом і можливістю імітації руху моделі екіпажа в кривій ділянці колії за рахунок використання змінних каткових коліс.

**Література**


1. Астахов, П.Н. Сопротивление движению железнодорожного подвижного состава / П. Н. Астахов. – Москва: Транспорт, 1966. – 178 с.
2. Комарова, А. Н. Влияние характеристик тележек на энергоэффективность грузовых вагонов : дис. … канд. техн. наук: 05.22.07 / Комарова А. Н.; Петербургский Государственный университет путей сообщения Императора Александра І.– Санкт-Петербург, 2015. – 88 с.
3. ГОСТ 15.101-98 «Порядок выполнения научно-исследовательских работ». – Минск: Межгосударственный совет по стандартизация, метрологии и сертификации. – 10 с.
4. Димов Д. Ю. Лубрикация поможет и колесу и рельсу / Д. Ю. Димов // Локомотив, 1998. – №3. – С. 29–31.
5. Стенд для исследования системы колесо-рельс // Железные дороги мира. – М., 2005. – №4. – С. 41 – 46.
6. Стенды для испытаний подвижного состава железных дорог // Транспортное машиностроение. НИИИНФОРМТЯЖМАШ. – Москва, 1966. – № 11-66-4. – С. 24.
7. Сравнение результатов стендовых и ходовых испытаний // Железные дороги мира. – Москва, 2003. – №9. – С. 12 – 16.
8. Althammer Karlheinz. Zöllner Fritz. Der amerika-nische Roll-prüfstand in Pueblo, Colorado / USA. Z. Eisenbahnw. und Verkehrstechn. – Glas. Ann., 1975, 1975. – №4. – P. 111 -115.
9. Михайлов Є.В. Аналіз експериментальних досліджень, направлених на вивчення опору руху / Є.В. Михайлов, С.О. Семенов // Актуальні проблеми сучасного управління в соціально-економічних, технічних та гуманітарних системах: збірник тез конференції, 24-26 листопада 2016 р., м. Одеса (Україна) / відп. ред. Н.Б. Чернецька-Білецька, С. 97-99.
10. Александров Е. В. Повышение ресурса колесных пар грузовых вагонов и рельсов путем улучшения условий их взаимодействия и динамического мониторинга: дис. … к.т.н.: 05.22.07 / Александров Е. В; Ростовский государственный университет путей сообщения. – Ростов-на-Дону, 2011. – 214 с.
11. Результаты стендовых испытаний по опре-делению характеристик горизонтальной угловой связи рам тележек грузовых вагонов / [В. А. Двухглавов, Г. Н. Салоусов, А. А. Кривецкий та ін.]. – Труды ДИИТ, Днепропетровск, 1978. С.103-107.
12. Чупраков, Е. В. Снижение износа колес и рельсов за счёт дифференциального вращения колесных пар нетягового подвижного состава при движении в кривых участках пути: дис. … к.т.н.: 05.22.07 / Чупраков Е.В.; Иркутский государственный университет путей сообщения. – Иркутск, 2016. – 225 с.
13. Шилер, В.В Исследование динамических свойств колесной пары с гибкими независимо вращающимися бандажами/ В.В. Шилер, П.А. Шипилов, А.В. Шилер. Научно-технический журнал «Известия Транссиба», Омск, 2011. – №4 (8). – С. 69 – 75.
14. Камаев, А.А. Взаимодействие локомотива и пути в кривых участках пути. Учебное пособие. / А.А. Камаев, Г.С. Михальченко. – Тула.: Тульский политехнический институт, 1977. – 68 с.
15. Кравченко Е.А. Усовершенствование испытательно-измерительного комплекса для исследования сцепления колеса с рельсом / Е.А. Кравченко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Науковий журнал – електронне науко-

ве фахове видання, № 4, 2009. – Режим доступа: http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/vsunud/2009-4E/09keaksr.htm. - Назва з екрану.
16. Кравченко Е.А. Усовершенствование испыта-тельно-измерительного комплекса для исследования сцепления колеса с рельсом / Е.А. Кравченко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Науковий журнал – електронне наукове фахове видання, № 4, 2009. – Режим доступа: http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/vsunud/2009-4E/09keaksr.htm. - Назва з екрану.
17. Горбунов Н.И. Повышение тяговых качеств тепловозов за счет совершенствования упругих связей тележек: дис. … к.т.н.: 05.22.07 / Н.И. Горбунов; Институт инженеров железнодорожного транспорта имени М.И. Калинина. – Днепропетровск, – 1987. – 269 с.
18. Ткаченко В. П. Кинематическое сопротивление движению рельсовых экипажей / В. П. Ткаченко. – Луганск: Изд-во ВУГУ, 1996. – 200 с.
19. Голубенко А. Л. Сцепление колеса с рельсом / А. Л. Голубенко. – Луганск: ВУГУ, 1999. – 476 с.
20. Горбунов Н.И. Повышение тяговых качеств тепловозов за счет совершенствования упругих связей тележек: дис. … к.т.н.: 05.22.07 / Н.И. Горбунов; Институт инженеров железнодорожного транспорта имени М.И. Калинина. – Днепропетровск, – 1987. – 269 с.
21. Патент на корисну модель №52970, кл. G01M1/04 Стенд для дослідження зчеплення колеса з рейкою та випробування елементів буксового ресорного підвішування залізничного рухомого складу / Горбунов М.І., Кашура О.Л., Спірягін В.І., Спірягін М.І., Костюкевич О.І., Міхєєв О.С.; заявник і власник СНУ ім. В.Даля. – u2002010036; заявл. 03.01.2002; опубл. 15.01.2003, Бюл. № 6. – 4 с.
22. Клюєв С. О. Зниження рівня силової взаємодії коліс локомотива з рейками автоматичним управлінням положенням колісних пар : дис. … к.т.н.: 05.22.07 / С. О. Клюєв; СНУ ім. В. Даля. – Сєвєродонецьк, 2015. – 172 с.
23. Стенды для испытаний подвижного состава железных дорог // Транспортное машиностроение. НИИИНФОРМТЯЖМАШ. – Москва, 1966. – №11-66-4. – С. 24.
24. Результаты стендовых испытаний по определению характеристик горизонтальной угловой связи рам тележек грузовых вагонов / [В. А. Двухглавов, Г. Н. Салоусов, А. А. Кривецкий та ін.]. – Труды ДИИТ, Днепропетровск, 1978. С.103-107.
25. Lorenz A. Modellbetrachtungen zum Schadi-gunsprozess in Maschinen und Geraten // Schmierungstechnik, 1984. – Jg. 15. № 8. S. 250 – 253.

**References**

1. Astahov, P.N. Soprotivlenie dvizheniju zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava / P. N. Astahov. – Moskva: Transport, 1966. – 178 s.
2. Komarova, A. N. Vlijanie harakteristik telezhek na jenergojeffektivnost' gruzovyh vagonov : dis. … kand. tehn. nauk: 05.22.07 / Komarova A. N.; Peterburgskij Gosudarstvennyj universitet putej soobshhenija Imperatora Aleksandra I. – Sankt-Peterburg, 2015. – 88 s.
3. GOST 15.101-98 «Porjadok vypolnenija nauchno-issledovatel'skih rabot». – Minsk: Mezhgosudarstvennyj sovet po standartizacija, metrologii i sertifikacii. – 10 s.
4. Dimov D. Ju. Lubrikacija pomozhet i kolesu i rel'su / D. Ju. Dimov // Lokomotiv, 1998. – №3. – S. 29–31.
5. Stend dlja issledovanija sistemy koleso-rel's // Zheleznye dorogi mira. – Moskva, 2005. – №4. – S. 41 – 46.
6. Stendy dlja ispytanij podvizhnogo sostava zheleznyh dorog // Transportnoe mashinostroenie. NIIINFORMTJaZhMASh. – Moskva, 1966. – № 11-66-4. – S. 24.
7. Sravnenie rezul'tatov stendovyh i hodovyh ispytanij // Zheleznye dorogi mira. – Moskva, 2003. – №9. – S. 12 – 16.
8. Althammer Karlheinz. Zöllner Fritz. Der amerikanische Roll-prüfstand in Pueblo, Colorado / USA. Z. Eisenbahnw. und Verkehrstechn. – Glas. Ann., 1975, 1975. – №4. – R. 111 -115.
9. Mihajlov Є.V. Analiz eksperimental'nih doslidzhen', napravlenih na vivchennja oporu ruhu / Є.V. Mihajlov, S.O. Semenov // Aktual'ni problemi suchasnogo upravlinnja v social'no-ekonomichnih, tehnichnih ta gumanitarnih sistemah: zbirnik tez konferencij, 24-26 listopada 2016 r., m. Odesa (Ukraïna) / vidp. red. N.B. Chernec'ka-Bilec'ka, S. 97-99.
10. Aleksandrov E. V. Povyshenie resursa kolesnyh par gruzovyh vagonov i rel'sov putem uluchshenija uslovij ih vzaimodejstvija i dinamicheskogo monitoringa: dis. … k.t.n.: 05.22.07 / Aleksandrov E. V; Rostovskij gosudarstvennyj universitet putej soobshhenija.–Rostov-na-Donu, 2011.–214 s.
11. Rezul'taty stendovyh ispytanij po opredeleniju harakteristik gorizontal'noj uglovoj svjazi ram telezhek gruzovyh vagonov / [V. A. Dvuhglavov, G. N. Salousov, A. A. Krivecki ta in.]. – Trudy DIIT, Dnepropetrovsk, 1978. S.103-107.
12. Chuprakov, E. V. Snizhenie iznosa koles i rel'sov za schjot differencial'nogo vrashhenija kolesnyh par netjagovogo podvizhnogo sostava pri dvizhenii v krivyh uchastkah puti: dis. … k.t.n.: 05.22.07 / Chuprakov E.V.; Irkutskij gosudarstvennyj universitet putej soobshhenija. – Irkutsk, 2016. – 225 s.
13. Shiler, V.V Issledovanie dinamicheskih svojstv kolesnoj pary s gibkimi nezavisimo vrashhajushhimisja bandazhami/ V.V. Shiler, P.A. Shipilov, A.V. Shiler. Nauchno-tehnicheskij zhurnal «Izvestija Transsiba», Omsk, 2011. – №4 (8). – S. 69 – 75.
14. Kamaev, A.A. Vzaimodejstvie lokomotiva i puti v krivyh uchastkah puti. Uchebnoe posobie. / A.A. Kamaev, G.S. Mihal'chenko. – Tula.: Tul'skij politehnicheskij institut, 1977. – 68 s.
15. Kravchenko E.A. Usovershenstvovanie ispytatel'no-izmeritel'nogo kompleksa dlja issledovanija sceplenija kolesa s rel'som / E.A. Kravchenko // Visnik Shidnoukraïns'kogo nacional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalja. Naukovij zhurnal – elektronne naukove fahove vidannja, № 4, 2009. – Rezhim dostupa: http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/ vsunud/2009-4E/09keaksr.htm — Nazva z ekranu.
16. Kravchenko E.A. Usovershenstvovanie ispytatel'no-izmeritel'nogo kompleksa dlja issledovanija sceplenija kolesa s rel'som / E.A. Kravchenko // Visnik Shidnoukraïns'kogo nacional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalja. Naukovij zhurnal – elektronne naukove fahove vidannja, № 4, 2009. – Rezhim dostupa: http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/ vsunud/2009-4E/09keaksr.htm. - Nazva z ekranu.
17. Gorbunov N.I. Povyshenie tjagovyh kachestv teplovozov za schet sovershenstvovanija uprugih svjazej telezhek: dis. … k.t.n.: 05.22.07 / N.I. Gorbunov; Institut inzhenerov zheleznodorozhnogo transporta imeni M.I. Kalinina. – Dnepropetrovsk, – 1987. – 269 s.

18. Tkachenko V. P. Kinematicheskoe soprotivlenie dvizheniju rel'sovyh jekipazhej / V. P. Tkachenko. – Lugansk: Izdvo VUGU, 1996. – 200 s.
19. Golubenko A. L. Sceplenie kolesa s rel'som / A. L. Golubenko. – Lugansk: VUGU, 1999. – 476 s.
20. Gorbunov N.I. Povyshenie tjagovyh kachestv teplovozov za schet sovershenstvovanija uprugih svjazej telezhek: dis. … k.t.n.: 05.22.07 / N.I. Gorbunov; Institut inzhenerov zheleznodorozhnogo transporta imeni M.I. Kalinina. – Dnepropetrovsk, – 1987. – 269 s.
21. Patent na korisnu model' №52970, kl. G01M1/04 Stend dlja doslidzhennja zcheplennja kolesa z rejkoju ta viprobuvannja elementiv buksovogo resornogo pidvishuvannja zaliznichnogo ruhomogo skladu / Gorbunov M.I., Kashura O.L., Spirjagin V.I., Spirjagin M.I., Kostjukevich O.I., Mihєєv O.S.; zajavnik i vlasnik SNU im. V.Dalja. – u2002010036; zajavl. 03.01.2002; opubl. 15.01.2003, Bjul. № 6. – 4 s.
22. Kljuєv S. O. Znizhennja rivnja silovoї vzaємodiї kolis lokomotiva z rejkami avtomatichnim upravlinnjam polozhennjam kolisnih par : dis. … k.t.n.: 05.22.07 / S. O. Kljuєv; SNU im. V. Dalja. – Sєvєrodonec'k, 2015. – 172 s.
23. Stendy dlja ispytanij podvizhnogo sostava zheleznyh dorog // Transportnoe mashinostroenie. NIIINFORMTJaZhMASh. – Moskva, 1966. – №11-66-4. – S. 24.
24. Rezul'taty stendovyh ispytanij po opredeleniju harakteristik gorizontal'noj uglovoj svjazi ram telezhek gruzovyh vagonov / [V. A. Dvuhglavov, G. N. Salousov, A. A. Kriveckij ta in.]. – Trudy DIIT, Dnepropetrovsk, 1978. S.103-107.
25. Lorenz A. Modellbetrachtungen zum Schadiguns-prozess in Maschinen und Geraten // Schmierungstechnik, 1984. – Jg. 15. № 8. S. 250 – 253.

**Семенов С.А., Михайлов Е.В. Анализ характеристик оборудования для исследований сопротивления движению рельсовых экипажей.**

*Вопросы снижения сопротивления движению подвижного состава актуальны для повышения энергетической эффективности рельсовых транспортных средств. Рассмотрены устройство и характеристики оборудования, используемого для экспериментальных исследований сопротивления движению рельсовых экипажей. Установлено, что наиболее рациональными по критерию «стоимость-качество» являются модельные стендовые установки с замкнутой кинематической цепью и возможностью имитации движения модели экипажа в кривых участках пути.*

***Ключевые слова:*** *рельсовый экипаж, сопротивление движению, исследование, стенд, колесо, рельс.*

**Semenov S.O., Mikhailov Ye.V. Analisis of the characteristics of equipment for researches resistance of motion of rail vehicles.**

*The issues of reducing the resistance to the movement of rolling stock are relevant to improving the energy efficiency of rail vehicles. The device and characteristics of the equipment used for experimental studies of the resistance to movement of rail vehicles are considered. Studies aimed at studying the resistance to movement of rail vehicles were divided in the following areas: studies on physical models, whose characteristics are studied in laboratory conditions, and field tests, which are carried out in real conditions or conditions close to real ones. A detailed analysis of the characteristics of a number of well - known full - scale and model bench rigs has been carried out. It was found that the most rational by the criterion of "cost-quality" are model bench installations with a closed kinematic chain and the ability to simulate the movement of the crew model in curved sections of the rail path.*

***Keywords:*** *rail vehicle, resistance to movement, research, stand, wheel, rail.*

**Семенов Станіслав Олександрович,** к.т.н., доцент кафедри ЛУБРТ СНУ ім.В.Даля, Сєвєродонецьк, Україна, E-mail: 1mojdodyr1@gmail.com.
**Михайлов Євген Валентинович,** к.т.н., доц., доцент кафедри ЛУБРТ СНУ ім.В.Даля, Сєвєродонецьк, Україна, E-mail: mihaylov.evv@gmail.com.

*Рецензент*: д.т.н., професор ***Горбунов М.І.***

Стаття подана 12.04.2019

УДК 621.389: 621.317

# МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПОЛІГАРМОНІЙНОГО СИГНАЛУ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІЇ ЛАГРАНЖА

**Тимощук О.М., Дакі О.А.**

# METHOD OF OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF MEASURING POLYMARMONY SIGNAL WITH USE OF LAGRANGE FUNCTION

**Tymoshchuk O., Daki O.**

*В статті розглянуто наявність у практиці контролю технічного стану складних систем протиріччя, а саме забезпечення заданої достовірності інформації про технічний стан радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту потребує збільшення обсягу та точності вимірювань при оцінюванні їх характеристик з одного боку, з іншого – відсутність методів автоматизації процесів синтезу вимірювальних сигналів та обробки відгуків на них для цього.*

*За результатами аналізу відомих методів синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту пропонується розроблення оптимального методу синтезу вимірювальних сигналів з потрібним спектром та проведення експериментальної перевірки отриманих теоретичних результатів і розроблення рекомендації щодо їх впровадження для автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.*

***Ключові слова:*** *експлуатація, радіонавігаційні комплекси, управління рухом, засоби водного транспорту, методи, вимірювальні сигнали, автоматизація контролю.*

**Вступ.** Відомі моделі контролю та діагностування технічних об'єктів при експлуатації не завжди враховують особливості операцій технічного обслуговування та діагностування складових частин і елементів засобів водного транспорту [1].

Актуальність дослідження, проведеного у статті, обумовлена зростанням ролі та значення засобів контролю сучасних і перспективних радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту у підтриманні їх готовності до функціонування за призначенням та загальною тенденцією підвищення вимог до своєчасного виявлення відмов за рахунок автоматизації (підвищення точності та оперативності контролю) контрольно-діагностичних робіт при експлуатації радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту [2– 4].

**Постановка проблеми.** При проведенні контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту процес автоматизації обмежується використанням вимірювальних сигналів прямокутної, трикутної та трапецеїдальної форм [4,5]. Ці сигнали передбачають використання аналізаторів для визначення параметрів радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, які потребують обов’язкового втручання оператора [5].

Відсутність автоматизованих високоточних засобів контролю для вимірювання параметрів сигналів прямокутної, трикутної та трапецеїдальної форм (присутність оператора) збільшує час і зменшує достовірність контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту [6].

При цьому виникає відоме у практиці контролю технічного стану складних систем протиріччя: забезпечення заданої достовірності інформації про технічний стан радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту потребує збільшення обсягу та точності вимірювань при оцінюванні їх характеристик з одного боку, з іншого – відсутність методів автоматизації процесів синтезу вимірювальних сигналів та обробки відгуків на них для цього.

У відповідності до протиріччя наукова проблема, що буде розв’язуватися у подальших дослідженнях, полягає в розробленні методів синтезу вимірювальних сигналів і обробленню відгуків на них для підвищення достовірності та оперативності автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Провідними закордонними фахівцями в даній галузі, зокрема, Ван Схонвелд, Ван Оудер, А. Томпсон, І. Коллар, Т. Уілсон, а також відомими вітчизняними вченими, такими як М.Я. Мінц, Д.В. Корольков, Ю.М. Парійський, Ю.Ф. Павленко, В.К. Волосюк, В.М. Чинков, П.А. Шпаньон В.Г. Алексишин, Л.А. Козырь, С.В. Симоненко Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал та ін. розроблено ряд робіт, які доказують можливість використання складних вимірювальних сигналів, окрім періодичних синусоїдних і прямокутних, для контролю технічного стану технічних систем [1], [4–8].

Проте лише оглядово розглянуто методи синтезу вимірювальних сигналів складної форми для контролю технічного стану радіотехнічних систем. Це пов'язано з відсутністю на той час технічної можливості створити відповідні моделі для перевірки синтезованих сигналів складної форми.

**Мета статті.** Подолання зазначеного протиріччя з метою розв'язання сформульованої наукової проблеми полягає в розробленні комплексу заходів, спрямованих на забезпечення потрібної точності вимірювань параметрів радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту при проведенні контролю їх технічного стану за фіксований або зменшений інтервал часу [4–6].

З цією метою в сучасних засобах контролю широко застосовуються такі технічні рішення, як розроблення методів автоматизації процесів синтезу вимірювальних сигналів та обробки відгуків на них [6–8].

Таким чином, метою статті є розроблення методу синтезу вимірювальних сигналів з потрібним спектром для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту та проведення експериментальної перевірки отриманих теоретичних результатів і розроблення рекомендації щодо їх впровадження для автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

**Результати досліджень.** *Критерій мінімуму середнього квадратичного відхилення модулів комплексних коефіцієнтів Фур'є опорного та полігармонійного сигналів.*Математична постановка задачі синтезу полягає в пошуку найкращого середньоквадратичного наближення спектра синтезованого вимірювального полігармонійного сигналу $F(\alpha)$ до спектра опорного сигналу $f(\alpha)$ [6]:

$$\sigma = \min \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left(\left|\dot{d}_n\right| - \left|\dot{D}_n\right|\right)^2 , \qquad (1)$$

де $\dot{D}_n = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} F(\alpha)e^{-jn\alpha} = \frac{1}{2}C_n e^{j\varphi_n}$;

$\dot{d}_n = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} f(\alpha)e^{-jn\alpha}d\alpha = \frac{1}{2}c_n e^{j\psi_n}$ – відповідно комплексні коефіцієнти Фур'є сигналів $f(\alpha)$ та $F(\alpha)$ при $n\neq 0$; $\alpha=\omega_0 t$ – фазовий кут ($0 \le \alpha \le 2\pi$); $\omega_0$ – основна кругова частота; $c_n$ і $\psi_n$, $C_n$ і $\varphi_n$ – амплітуди й початкові фази $n$-ї гармоніки сигналів $f(\alpha)$ та $F(\alpha)$.

Проведення перетворення [11] виразу (1) дозволяє записати його так:

$$\sigma = \min \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left|\dot{d}_n\right|^2 + \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left|\dot{D}_n\right|^2 - 2\sum_{n=-\infty}^{\infty} \left|\dot{d}_n\right|\left|\dot{D}_n\right| , \quad (2)$$

У цьому співвідношенні перша сума має фіксоване значення та залежить винятково від необхідного спектра амплітуд гармонік $\{c_n\}$ опорного сигналу:

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} \left|\dot{d}_n\right|^2 = c_0^2 + \frac{1}{2}\sum_{n=1}^{N} \rho_n c_n^2 , \qquad (3)$$

де $c_0=d_0$ – постійна складова сигналу $f(\alpha)$; $N$ – номер верхньої частоти в спектрі опорного сигналу; $\rho_n$ – вагові коефіцієнти, причому $\rho_n=1$, якщо n-а гармоніка входить до сітки частот контролю, і $\rho_n=0$, якщо не входить.

Друга сума виразу (2) на підставі рівності Парсеваля [5,6] відповідає повній потужності сигналу $P$ і залежить тільки від його рівня $F_0$:

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} \left|\dot{D}_n\right|^2 = P = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} F^2(\alpha)d\alpha = F_0^2 , \qquad (4)$$

причому дана формула справедлива у випадку, коли амплітуди додатних та від'ємних імпульсів рівні за модулем.

На підставі співвідношень (3) та (4) зробимо висновок, що мінімум критерію (1) буде отриманий для такого сигналу $F(\alpha)$, у якого величина

$$G = 2\sum_{n=-\infty}^{\infty} \left|\dot{d}_n\right|\left|\dot{D}_n\right| , \qquad (5)$$

досягає максимального значення.

Для подальшого перетворення формули (5) зробимо наступні припущення: при контролі радіонавігаційних приладів спектр опорного вимірювального сигналу є рівномірним, тобто $\left|\dot{d}_n\right|$=const; постійна складова вимірювального сигналу, як правило, не приймає участі в процесі контролю технічного стану радіонавігаційних приладів, тому можна прийняти $c_0=0$ [5,6]. З урахуванням даних обставин критерій оптимізації (1) полягає в максимізації середнього значення амплітуд гармонік $\overline{C}$ сигналу в корисному діапазоні частот:

$$G = \max \overline{C} = \max \frac{1}{K}\sum_{n=1}^{N} \rho_n C_n , \qquad (6)$$

де $K$ дорівнює кількості корисних гармонічних складових.

*Критерій максимуму чутливості контролю частотної характеристики досліджуваного об'єкта.* Даний критерій випливає з того, що вхідний сигнал

повинен давати можливість відстежити як завгодно малі зміни частотної характеристики об'єкта контролю (особливо для радіонавігаційних приладів) [5–7]. Для цього запишемо вихідний сигнал $Y(\alpha)$ досліджуваної системи при подачі на її вхід вимірювального сигналу $F(\alpha)$:

$$Y(\alpha) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} H(\omega_n)\dot{D}_n e^{jn\alpha} = \\ = \sum_{n=1}^{\infty} |H(\omega_n)| C_n \cos(n\alpha + \varphi_n + \Theta_n). \quad (7)$$

де $H(\omega_n)$ і $\theta_n$ – відповідно комплексний коефіцієнт передачі об'єкта контролю та його аргумент на круговій частоті $\omega_n$.

Зміна вихідного сигналу (7) при відхиленні коефіцієнта $H(\omega_n)$ від свого номінального значення на величину $\Delta H(\omega_n)$ буде дорівнювати

$$Y(\alpha) = \sum_{n=1}^{\infty} \Delta H'(\omega_n) C_n \cos(n\alpha + \varphi_n) - \\ - \sum_{n=1}^{\infty} \Delta H''(\omega_n) C_n \sin(n\alpha + \varphi_n). \quad (8)$$

де $\Delta H'(\omega_n)$ та $\Delta H''(\omega_n)$ – зміна дійсної та уявної частин комплексного коефіцієнта передачі відповідно.

З виразу (8) знаходимо коефіцієнти чутливості вихідного сигналу:

$$\xi'_n(\alpha) = \frac{\partial Y(\alpha)}{\partial \Delta H'(\omega_n)} = C_n \cos(n\alpha + \varphi_n);$$
$$\xi''_n(\alpha) = \frac{\partial Y(\alpha)}{\partial \Delta H''(\omega_n)} = -C_n \sin(n\alpha + \varphi_n).$$

Сумарна середньоквадратична чутливість контролю об'єкта дорівнює

$$G = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \sum_{n=1}^{N} \rho_n \left( [\xi'_n(\alpha)]^2 + [\xi''_n(\alpha)]^2 \right) d\alpha. \quad (9)$$

Підставивши вирази для коефіцієнтів чутливості $\xi'_n(\alpha)$ і $\xi''_n(\alpha)$ до формули (9), приходимо до висновку, що критерій максимуму чутливості контролю частотної характеристики досліджуваного об'єкту приводить до задачі про максимізацію корисної потужності $P_{кор}$, що виділяється в навантаженні:

$$g_1 = \max \Gamma = \max P_{кор} = \max \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{N} \rho_n C_n^2. \quad (10)$$

Отже, оптимізація параметрів вимірювального полігармонійного сигналу з використанням одного з критеріїв – (6) або (10) – не має достатньої гнучкості керування спектром: максимум середнього значення гармонік, які беруть участь у процесі контролю, і максимум корисної потужності сигналу можуть бути досягнуті за рахунок однієї або декількох спектральних складових, що приведе до неприпустимої концентрації потужності в них, тобто виходу з ладу об'єкта контролю. Тому, в задачу оптимізації параметрів вимірювального полігармонійного сигналу потрібно ввести обмеження на нерівномірність гармонік у певному частотному діапазоні [6].

*Розробка узагальненого критерію умовної оптимізації цільової функції Лагранжа.* Величину розкиду гармонік вимірювального полігармонійного сигналу на частотах аналізу доцільно характеризувати дисперсією

$$D = \frac{1}{K} \sum_{n=1}^{N} \rho_n (C_n - \overline{C})^2.$$

Перетворивши цей вираз, одержимо співвідношення:

$$D = \frac{2}{K} P_{кор} - \overline{C}. \quad (11)$$

Аналіз формули (11) показує, що зменшення дисперсії гармонік може бути досягнуте зменшенням корисної потужності $P_{кор}$ й максимізацією середнього значення гармонік $\overline{C}$. Це співвідношення дозволяє запропонувати задачу на умовний екстремум: знайти параметри такого вимірювального сигналу, який максимізує середнє значення гармонік (6) при заданому значенні корисної потужності $P_{зад}$ (10).

Оскільки цільова функція (6) та умова (10) залежать від величин $C_n$, доцільно привести аналітичний вираз, що зв'язує амплітуди гармонік полігармонійного сигналу з набором точок перемикання [6–8]:

$$C_n = \frac{2F_0}{\pi n} \cdot \\ \cdot \sqrt{\left[ \sum_{i=M_0}^{M-1} (-1)^i \cos(n\alpha_i) \right]^2 + \left[ \sum_{i=M_0}^{M-1} (-1)^i \sin(n\alpha_i) \right]^2}, \quad (12)$$

де $\alpha_i$ – $i$-та точка перемикання, $i = \overline{1, M}$, $\alpha_{i-1} < \alpha_i < \alpha_{i+1}$, $\alpha_1 = 0$, $\alpha_M = 2\pi$; $M_0$ – нижній індекс підсумовування, $M_0 = 1 + |(-1)^{M+1} - 1|/2$.

Позначивши у формулі (12)

$$\sum_{i=M_0}^{M-1} (-1)^i \cos(n\alpha_i) = a_n;$$
$$\sum_{i=M_0}^{M-1} (-1)^i \sin(n\alpha_i) = b_n.$$

приведемо співвідношення (6) та (10) до такого вигляду:

$$G(a) = \frac{2F_0}{\pi K} \sum_{n=1}^{N} \frac{\rho_n}{n} \sqrt{a_n^2 + b_n^2}, \quad (13)$$

$$g_1(a)=\frac{2F_0^2}{\pi^2}\sum_{n=1}^{N}\rho_n(a_n^2+b_n^2)-P_{зад}\,. \qquad (14)$$

Оскільки переважна більшість літератури з теорії оптимізації розглядає мінімізацію функцій, замість пошуку максимального значення функції (13) будемо знаходити її мінімум з урахуванням умови (14).

Крім обмеження (14) при оптимізації параметрів вимірювального сигналу необхідно також враховувати діапазони можливих значень складових вектора $\{\alpha\}$. Причому більш коректним при практичному розв'язанні оптимізаційної задачі на ПЕОМ, у порівнянні з поясненнями до виразу (12), буде наступний запис простих обмежень на точки перемикання сигналу:

$$a_1 \le a_2 \le \frac{(a_2+a_3)}{2};$$

$$\frac{(a_{M-2}+a_{M-1})}{2} \le a_{M-1} \le a_M;$$

$$\frac{(a_{n-1}+a_n)}{2} \le a_n \le \frac{(a_n+a_{n+1})}{2}, \text{ для n=3, …, } (M\text{-}2).$$

Провівши перетворення двосторонніх нерівностей в односторонні, отримаємо 2($M$–2) найпростіших лінійних обмежень, які в сукупності з формулами (13) та (14) представляють класичну постановку задачі знаходження умовного екстремуму [8].

$$\begin{cases} \text{знайти} \arg\min\limits_{\alpha\in[0,2\pi]} G(\alpha) \\ \text{при } g_j(\alpha)=0,\ j\in\Theta=\{1\} \\ g_j(\alpha)\le 0,\ j\in\Omega=\{2,\ldots,2(M-2)+1\} \end{cases}, \qquad (15)$$

Серед чисельних методів вирішення даного виду задач оптимізації найбільш поширеним є метод послідовного квадратичного програмування, що використовується в багатьох пакетах математичних програм та дозволяє знаходити умовні екстремуми за наявності функцій із значними нелінійностями [7, 8].

Для забезпечення ефективного застосування цього методу оптимізаційна задача повинна бути невеликою за розміром, гладкою та добре відмасштабованою.

Так, в [8, 9] доведено, що даний метод доцільно застосовувати при помірній кількості змінних (порядку декількох десятків), що в цілому відповідає потребам контролю технічного стану радіонавігаційних приладів, оскільки в переважній більшості задач частотної ідентифікації використовуються сигнали з кількістю корисних гармонік до 50-ти (це число приблизно дорівнює кількості точок перемикання полігармонійного сигналу $F(\alpha)$). Аналіз співвідношень (13) і (14), показує, що задача (15) є гладкою, оскільки функції $G(\alpha)$ та $g_1(\alpha)$ диференційовані на усьому інтервалі [0, 2π].

Було проведене комп'ютерне моделювання запропонованого методу. Наведемо результати синтезу сигналу запропонованим методом та одним з відомих методів, в якому критерієм оптимальності є мінімум середньоквадратичного відхилення сигналів $f(\alpha)$ та $F(\alpha)$ у часовій області [9, 10]. За початкове наближення обрано переходи через нуль опорного сигналу $f(\alpha)$, що складається з 10-ти гармонік однакових амплітуд та довільних фаз (рис. 1).

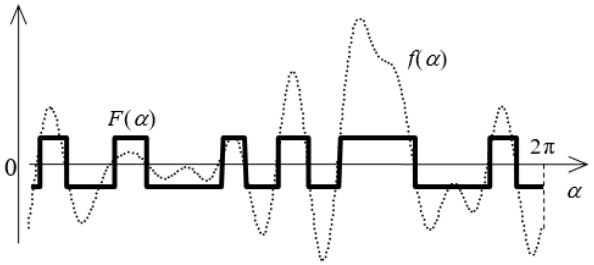



Рис. 1. Вихідний опорний сигнал $f(\alpha)$ та його апроксимація $F(\alpha)$

На рис.2 наведено синтезований полігармонійний сигнал і його спектр, що можна отримати з використанням відомого методу, розглянутого в [11], причому $P_{кор}$=0,843 В$^2$.

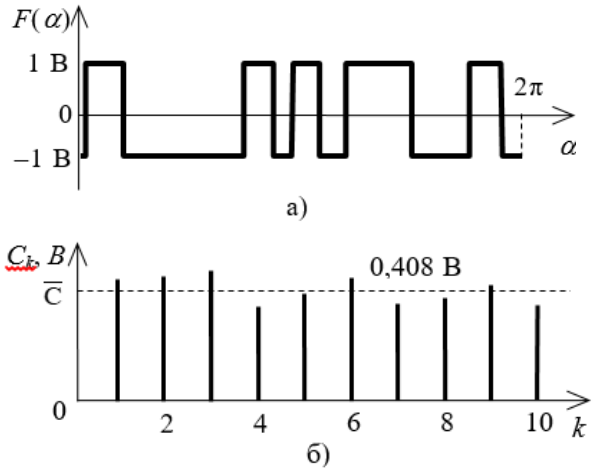



Рис. 2. Оптимальний сигнал (а) та його спектр (б) за критерієм мінімуму опорного та синтезованого у часовій області

Однак далі, щоб зменшити нерівномірність гармонік або підвищити корисну потужність вимірювального сигналу, треба здійснити модифікацію опорного сигналу й знову провести ітераційну процедуру [12]. Але і в цьому випадку отриманий сигнал може не відповідати потрібному, з зазначеними характеристиками. Запропонований метод навпаки більш гнучкий щодо керування спектром синтезованого вимірювального сигналу (рис. 3) [13, 14].

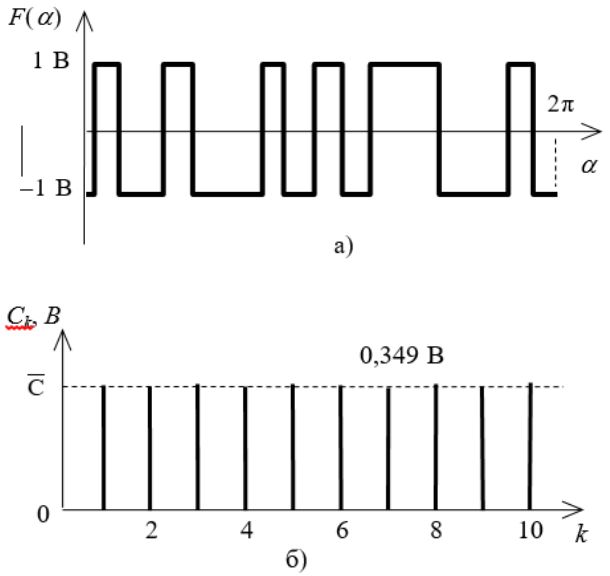



Рис. 3. Оптимальний сигнал (а) та його спектр (б), отриманий запропонованим методом при $P_{кор}$= 0,6 В$^2$

Можна задати обмеження на корисну потужність та отримати полігармонійний сигнал з такими характеристиками, як, наприклад, $P_{кор}$=0,843 В$^2$ або $P_{кор}$=0,95 В$^2$. Майже рівномірний спектр отримуємо при $P_{кор}$=0,6 В$^2$.

**Висновки.** У статті запропоновано та досліджено метод оптимізації параметрів вимірювальних полігармонійних сигналів зі складним законом модуляції тривалості імпульсів, що дозволяє більш гнучко керувати спектральним складом та отримувати вимірювальні сигнали з наперед заданими параметрами.

Результати роботи дозволять розв'язати проблему забезпечення достовірності контролю технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом засобів водного транспорту при оптимальних часових характеристиках для забезпечення своєчасності та оперативності визначення можливих відмов при їх експлуатації та обслуговуванні за фактичним станом.

Таким чином, пропонується у подальших дослідженнях розроблення методу синтезу вимірювальних сигналів з потрібним спектром та проведення експериментальної перевірки отриманих теоретичних результатів і розроблення рекомендації щодо їх впровадження для автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

**Література**


1. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море СОЛАС. С-Пб.: ЦНИИМФ, 2008. 984 с.
2. Admiralty list of radio signals "Global maritime distress and safety system (GMDSS)". Vol 5. NP 285. 2000. 338 p.
3. Международная конвенция по предупреждению столкновения судов в море 1972 г. (МППСС-72). СПб: ЗАО ЦНИИМФ. 2004.118 с.
4. Алексишин В.Г., Козырь Л.А., Симоненко С.В. Обеспечение навигационной безопасности плавания: учебное пособие. Одесса: Феникс. 2009. 518 с.
5. Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управление движением судна. Одесса. Феникс, 2007. 367 с.
6. В.М. Чинков, С.В. Герасимов. Варіаційний метод і методики синтезу оптимального вимірювального сигналу для контролю технічного стану системи автоматичного управління. Український метрологічний журнал. 2014. № 1.С. 59-64.
7. Mozeson E., Levanon N. (2003). Multicarrier radar signals with low peak-to-mean envelope power ratio . IEE Proc.-Radar Sonar Navig. Vol. 150, № 2. P. 71-77.
8. O'Neill C.R., Arena A.S.Jr. (2005). Time-domain training signals comparison for computational fluid dynamics based aerodynamic identification. Journal of Aircraft. Vol. 42, № 2. P. 421-428.
9. Recio A., Rhode W.S. (2000). Basilar membrane responses to broadband stimuli. The Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 108, № 5. – P. 2281-2298.
10. О.А. Дакі, О.М. Тимощук, В.І. Богом'я. Методологія синтезу полігармонійних вимірювальних сигналів з нормованим спектром. Новітні технології: збірник наукових праць. 2018. Вип. 3 (7). С. 33-44. DOI:10.31180/2524-0102/2018.3.07.05.
11. С.В. Герасимов, О.А. Дакі, М.Ю. Яковлев. Синтез полігармонійного вимірювального сигналу з будь-якою кількістю точок перемикання. Вимірювальна техніка та метрологія. 2018. №79 (2).С. 73-76. DOI: 10.23939/istcmtm2018/02/073.
12. Измерительные информационные системы . Под общей ред. Н.А. Рубичева. М.: Дрофа, 2010. 334 с.
13. Стеценко О.А. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высш. шк., 2007. 432 с.
14. Богомья В.І., Давидов В.С., Доронін В.В., Пашков Д.П., Тихонов І.В. (2012). Навігаційне забезпечення управління рухом суден. К.:ДВВП «Компас». 336 с.


**References**


1. International Convention for the Safety of Life at Sea SOLAS. C-Пб .: ЦНИИМФ, 2008. 984 p.
2. Admiralty list of radio signals "Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS)". Vol. 5. NP 285. 2000. 338 p.
3. International Convention for the Prevention of Collision at Sea 1972 (MPSS-72). SPb: ZAO TsNIIMF. 2004.118 p.
4. Aleksyshyn VG, Kozyr L.A., Simonenko SV Providing navigational navigation safety: a manual. Odessa: Phoenix. 2009. 518 p.
5. Vagushchenko L.L., Tsymbal H.H. Systems for automatic control of vessel movement. Odessa Phoenix. 2007. 367 p.
6. V.M. Chinkov, SV Gerasimov Variation method and method of synthesis of optimum measuring signal for control of the technical state of the automatic control system. Ukrainian Metrology Magazine. 2014. № 1. S. 59-64.
7. Mozeson E., Levanon N. (2003). Multicarrier radar signals with low peak-to-mean envelope power ratio. IEE Proc-Radar Sonar Navig. Vol. 150, № 2. P. 71-77.
8. O'Neill C.R., Arena A.S.Jr. (2005). Time-domain training signals comparison for calculating fluid dynamics based aerodynamic identification. Journal of Aircraft. Vol. 42, No. 2. P. 421-428.
9. Recio A., Rhode W.S. (2000). Basilar membrane responses to broadband stimuli. The Journal of the

Acoustical Society of America. Vol. 108, No. 5. - P. 2281-2298.
10. O.A. Daki, O.M. Tymoshchuk, VI Godmother Methodology of synthesis of polarharmonic measuring signals with a normalized spectrum. Newest technologies: a collection of scientific works. 2018. Vip. 3 (7). Pp. 33-44. DOI: 10.31180 / 2524-0102 / 2018.3.07.05.
11. S.V. Gerasimov, O.A. Daki, M.Yu. Yakovlev. (2018). Synthesis of polyharmonic measuring signal with any number of switching points. Measuring equipment and metrology. No. 79 (2). S.73-76. DOI: 10.23939/ istcmtm2018 / 02/073.
12. Measuring information systems. Under the general ed. ON. Rubicheva. M .: Drofa. 2010. 334 p.
13. Stetsenko O.A. Radio circuits and signals. M .: Exhaust Shk., 2007. 432 p.
14. Bohomia V.I., Davydov V.C., Doronin V.V., Pashkov D.P., Tikhonov I.V. (2012). Navigation support for controlling the movement of ships. K.: DVVP "Compass". 336 s.

**Тимощук Е.Н., Даки Е.А. Метод оптимизации параметров измерительного полигармонического сигнала с использованием функции Лагранжа.**

*В статье рассмотрены наличие в практике контроля технического состояния сложных систем противоречия, а именно обеспечение заданной достоверности информации о техническом состоянии радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта требует увеличения объема и точности измерений при оценке их характеристик с одной стороны, с другой - отсутствие методов автоматизации процессов синтеза измерительных сигналов и обработки отзывов на них для этого.*

*По результатам анализа известных методов синтеза измерительных сигналов для контроля состояния радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта предлагается разработка оптимального метода синтеза измерительных сигналов с нужным спектром и проведения экспериментальной проверки полученных теоретических результатов и разработка рекомендации по их внедрению для автоматизированного контроля технического состояния радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта.*

***Ключевые слова:*** *эксплуатация, радионавигационные комплексы, управление движением, средства водного транспорта, методы, измерительные сигналы, автоматизация контроля.*

**Tymoshchuk O., Daki O. Method of optimization of parameters of measuring polymarmony signal with use of Lagrange function.**

*In the article the presence in the practice of controlling the technical condition of complex systems of contradiction is considered, namely, the provision of the given reliability of information about the technical state of the radionavigation complexes of the traffic control of water transport means requires an increase in the volume and accuracy of measurements in evaluating their characteristics on the one hand, and on the other - the lack of methods for automating processes the synthesis of the measurement signals and processing feedback on them for this.*

*According to the results of the analysis of known methods for measuring the synthesis of measuring signals for controlling the technical state of the radionavigation complexes of motion control of water transport vehicles, it is proposed to develop an optimal method for the synthesis of measuring signals with the required spectrum and conduct an experimental verification of the obtained theoretical results and develop recommendations for their implementation for the automated control of the technical state of the radionavigation control complexes the movement of water transport.*

***Keywords:*** *operation, radionavigation complexes, traffic control, means of water transport, methods, measuring signals, automation of control.*

**Тимощук О.М.** – д.т.н., доцент, директор інституту, Київський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, вулиця Кирилівська, 9, Київ, 02000, E-mail: mnielena7@gmail.com

**Дакі О.А.** – кандидат філологічних наук, доцент, декан факультету, Дунайський факультет морського и річкового транспорту Державного уні-верситету інфраструктури та технологій, 68606, г. Ізмаїл, вул. Іванівська, 44, E-mail: df_duit@ukr.net.

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Чернецька-Былецька Н.Б.***

Стаття подана 10.04.2019

УДК 629.463.65

# АНАЛІЗ РУЙНІВНИХ НАПРУЖЕНЬ НАДРЕСОРНОЇ БАЛКИ ВІЗКА ВАНТАЖНОГО ВАГОНУ ТИПОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ (ЧАСТИНА 1)

**Фомін О.В., Осьмак В.Є., Лебедєв В.С., Цимбалюк А.В.**

# ANALYSIS OF RELATED STRESSES OF THE NADRASON STEERING WIRE OF VEHICLE WAGON OF THE TYPE CONSTRUCTION (PART 1)

**FominO., Osmak V.,Lebedev V., Tsymbaliuk A.**

*У статті (частина 1 та частина 2) розглянуто питання щодо дослідження напруженого стану конструкцій дослідних зразків надресорної балки типової конструкції двовісного візка вантажних вагонів під час випробувальних навантажень. Визначення можливості збереження несучої здатності під час дії руйнівного навантаження та виконаний усереднений розрахунок напружень у симетричних точках однієї деталі, виконано перерахунок усереднених напружень від дослідних навантажень на напруження від розрахункових навантажень, визначені сумарні навантаження за розрахунковими режимами. Застосований метод дослідження теоретичного і експериментального характеру та статистичного аналізу.*

***Ключові слова:****візок двовісний, балка надресорна, випробування статичні, міцність, випробувальні та руйнівні навантаження, розрахункові режими, напруження що допустимі, перерізи, розміри елементів конструкції.*

**Вступ.** На сьогоднішній день велику увагу приділяється безпеці руху, яка в першу чергу залежить від стану ходових частин вагонів.

Постійне зростання осьових навантажень, швидкостей руху, інтенсифікації маневрових операцій збільшує навантаження, яке прикладається до деталей, що викликає потребу у вдосконаленні конструкції та технології виготовлення. Надресорна балка візка вантажного вагона є складною і відповідальною литою деталлю, від надійної роботи якої залежить безпека руху. Оцінка її напруженого стану повинна виконуватися з високою точністю, так як недостатня міцність надресорної балки створить загрозу безпеці руху поїздів, а зайва - збільшить масу цієї, частини вагона, що призведе як до збільшення витрат на виробництво, так і до додаткового динамічного впливу на букси, колеса і рейкову колію.

**Постановка проблеми.** Безпека перевезень є пріоритетним напрямком діяльності залізниць. Створення нових та удосконалення вже існуючих конструкцій ходових частин вантажних вагонів є основним завданням наукових та виробничих підприємств галузі. У теперішній час більшість вагонів вантажного рухомого складу країн СНД обладнана візками моделі 18-100 та їх аналогами. При цьому, як показують досвід експлуатації та чисельні дослідження, залишається актуальним питання зниження пошкоджуваності литих деталей візків вантажних вагонів. За результатами аналізу експлуатації було доведено, що надресорні балки мають низку експлуатаційних і конструктивних недоліків, найбільшу кількість яких бракують через тріщини і ливарні дефекти.

Чинна методика стендових випробувань на міцність дозволяє оцінити величину навантажень до втрати несучої здатності надресорної балки.

В умовах ринкового виробництва необхідно не тільки виготовляти продукцію високої якості, але й мати можливість випускати її з найменшими витратами при мінімальних строках проектування, випробувань та освоєння виробництва.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Стан конструкції візка безпосередньо впливає на безпеку руху по залізничним коліям та визначає придатність вагона до експлуатації в цілому. Комплексні роботи над елементами вантажних візків їх розрахунки на статичну і динамічну міцність проводяться у ДП «УкрНДІВ», ДНУЗТ, ДЕТУТ, УкрДУЗТ, ТОВ «ГСКБВ ім. В.М. Бубнова», Крюківському, Маріупольському вагонобудівних заводах, ПАТ «Кременчуцький сталеливарний завод», ТОВ «Спецвагон», та у ряді інших організацій [1-5, 8-12].

Великий внесок у розвиток цієї галузі внесли вітчизняні та зарубіжні вчені: Ю.П. Бороненко, А.С. Бітюцький, Є.П. Блохін, В.М. Бубнов, М.Ф. Веріго, С.В. Вершинський, А.В. Донченко, М.Б. Кельріх, В.В. Кобіщанов, В.А. Лазарян, С. В. Мямлін, М.М. Соколов, Ханин, М.І., Л.А. Шадур, Г. Шеффель, та ін.

Роботи таких вчених як В. Д. Данович, М. М. Соколов, Е. П. Блохін, С. В. Мямлін та ін. [7-8], пов'язані з удосконаленням конструкції візків вантажних вагонів, в частині поліпшення динамічних характеристик вагонів за рахунок визначення раціональних параметрів ресорного підвішування.

Дослідженням динаміки рейкових екіпажів з метою оцінки можливості руху рейкових екіпажів з безпечними швидкостями присвячені праці В. А. Лазаряна, Л. А. Длугача, Г. І. Богомаза, Н. Ю . Науменко, О. М. Маркової [9-13] та ін.

Дослідженнями, спрямованими на вирішення проблеми зносу ходових частин візків, займалися такі вчені: М.Ф. Вериго, Є.П. Блохін, В.Ф. Ушкалов, В.С. Коссов, В.С. Лисюк, В.Д. Данович, В.М. Данилов, В.Д. Хусідов, Г. І. Петров, В.М. Бєлоусов. В результаті розробки заходів щодо збільшення ресурсу деталей, що труться, були розроблені і впроваджені різні модернізації візків вантажних вагонів.

Істотний внесок у розвиток методів розрахунку напружено-деформованого стану вніс Л.А. Шадур [6, 18].

Результати аналізу відповідних літературних джерел засвідчили необхідність оприлюднення належних даних випробувань напруженого стану надресорної балки для розгляду ефективності використання двовісних візків вантажного вагону.

**Мета статті (частина 1 та частина 2).** Дати оцінку відповідності дослідних зразків надресорної балки чинній нормативній документації щодо подальшого їх використання.

Об'єкт дослідження – дослідний зразок надресорної балки двовісного візка вантажного вагона.

Предмет дослідження – визначення і оцінка величини навантажень що діють на надресорну балку при статичних випробуваннях.

**Основний зміст.** Виконуючи аналіз типових випробувань надресорної балки двовісного візка вантажного вагона враховується те що ця частина є найбільш навантажена і за період експлуатації (32 роки) витримує дію знакозмінних сил.

За останні роки в країні відбувається реконструкція пов'язана з впровадженням енергоефективних технологій в ливарному виробництві. Обладнання іноземного виробництва спонукало виконати дослідження випуску вагонного лиття.

Попереднім випробуванням піддавалися три дослідні зразки надресорної балки вітчизняного виробництва, призначеної для комплектації двовісного візка вантажних вагонів з осьовим навантаженням від колісної пари на рейки 23,5 тс (рис. 1).

Балка надресорна є литою конструкцією, відлиту зі сталі 20ГЛ по ОСТ 32.183-2001. На відстані 762 мм від осі балки надресорної в кожну сторону на майданчику розташовані по два отвори для кріплення ковзунів. Висота балки надресорної в середній частині становить - 400 мм, ширина - 376 мм, відстань по центрам посадки на фрикційні клини - 2036 мм. Кут нахилу клинової поверхні в поздовжньому перетині становить $45^0$. Маса надресорної балки 520 кг, точність виливки 12-0-0-13.

Рис. 1. Надресорна балка

Попередні випробування визначають відповідності дослідних зразків надресорної балки вимогам нормативної і технічної документації, в тому числі [1, 3-6], а також вирішення питання про можливість надання зразків надресорної балки до подальших видів випробувань.

Відповідно чинних технічних завдань в обсяг випробувань були включено:

- статичні випробування на міцність надресорної балки (визначення величин напруження від розрахункових навантажень в характерних перетинах і зонах);
- визначення величини навантажень до втрати несучої здатності деталей, $P_{пнс}$;
- визначення фактичних розмірів елементів конструкції в перетинах деталей.

Виконано дослідження і оцінка міцності надресорної балки при дії заданих статичних навантажень, що імітують основні розрахункові експлуатаційні навантаження.

Перевірено несучу здатність надресорної балки при дії руйнівного навантаження та перевірено відповідність фактичних розмірів елементів конструкції в перетинах балки надресорної розмірами за кресленнями.

Перед початком випробувань проводилася наклейка тензорезисторів і монтаж вимірювальної схеми.

Рис. 2. Встановлення тензорезисторів на надресорній балці

Статичним випробувань на міцність надресорної балки в частині визначення величин напружень від розрахункових навантажень в характерних перетинах і зонах піддавались три зразка надресорної балки.

Під час визначення величини навантажень до втрати несучої здатності деталей, $Р_{пнс}$, піддавався один зразок надресорної балки.

Випробування на міцність надресорних балки проводилися на дослідному обладнанні, розміщеному в спеціально виділеному приміщенні, в якому підтримувалася температура і вологість навколишнього середовища, що забезпечують роботу застосовуваних засобів вимірювань в межах паспортних даних.

Статичні випробування на міцність надресорної балки руйнуючими (дослідницькими) навантаженнями проводилися з урахуванням осьового навантаження від колісної пари на рейки Р = 230 (23,5) кН (тс).

Після статичних випробувань на міцність руйнуючими навантаженнями зразок надресорної балки використовувався для розрізання по перетинах для контролю розмірів елементів конструкції.

У процесі випробувань конструкційних недоліки не виявлено.

Після завершення монтажу вимірювальних схем розпочалися випробування. Завершенням випробувань було повне одержання експериментальних даних, передбачених чинною програмою або виникнення умов, які загрожують безпеці подальшого проведення випробувань.

Під час випробування визначались наступні характеристики:
- напруження (деформації в масштабі напружень $\sigma = E \cdot \varepsilon$) в перетинах надресорної балки при дії випробувальних навантажень, показники не повинні перевищувати допустимі напруження [σ], більш ніж на 3%;
- збереження несучої здатності надресорної балки при дії руйнуючого навантаження при проектному осьовому навантаженні Р = 230 (23,5) кН (тс), значення випробувального навантаження $Р_і$ або навантаження до втрати несучої спроможності деталі, $Р_{пнс}$ повинні бути більше допустимого значення $[Р_{пнс}]$для надресорної балки2300 (235);
- розміри елементів конструкції в перетинах надресорноїбалки.

Визначення сумарних напружень від навантажень за розрахунковими режимами для надресорних балок виконувалося розрахунковим методом. Визначення значення руйнівного навантаження (граничної за несучої здатністю деталі) для надресорної балки виконувалося методом вимірювань тиску масла в гідравлічній системі за показаннями манометра. Величина навантаження визначалася за градуювальним графіком залежності зусилля від тиску, отриманого при атестації домкратів. Визначення фактичних розмірів елементів конструкції в перетинах балки надресорної виконувалося методом прямих вимірювань з використанням універсального вимірювального інструмента.

Під час випробувань для створення навантажень використовувалися домкрати з максимальним зусиллям 3.0 МН загальною кількістю чотири штуки. Контроль тиску за допомогою манометрів. Для створення руйнуючих навантажень використовувалось спеціальне пристосування для випробування надресорної балки. Вимірювання деформацій виконувалось за допомогою тензорезисторів і системи вимірювання.

Порядок і методика виконання випробувань. Статичні випробування на міцність надресорної балки проводилися відповідно чинної методики статичних випробувань на міцність [3] в два етапи:
- етап I - визначення величин напружень від розрахункових навантажень в характерних перетинах і зонах;
- етап II - визначення величини граничної величини руйнівного навантаження та розмірів елементів конструкції в перетинах балки надресорної.

Етап I проводився в наступній послідовності. Надресорна балка за допомогою пристосування і з урахуванням схем навантаження (таблиця 1) встановлювалася в пристрій для випробування вузлів залізничної техніки, при цьому:
- при випробуванні вертикальної випробувальної навантаженням за схемами 1, 2, 3 таблиці 1 надресорна балка спиралася на каткові опори, кожна з яких складалася з фасонної плити з отворами під бік надресорноїбалки, вал опорний, опори нижньої тумби, які в свою чергу були встановлені на нижній обв'язці пристрою;
- при випробуванні горизонтальної випробувальної навантаженням за схемою 4 таблиці 1 надресорна балка за допомогою фрикційних клинів, приварених до плит, спираючись на каткові опори;
- при випробуванні горизонтальної випробувальної навантаженням за схемою 5 таблиці 1 надресорна балка своїм підп'ятником встановлювалася на п’ятник пристосування.

Встановлювались силові домкрати і підключалися насосні станції (в залежності від схеми навантаження). Підключати і проводити градуювання вимірювально - реєструючої апаратури.

У відповідності зі схемами навантаження, наведеними в таблиці, до балки надресорної прикладалися випробувальні навантаження з одночасною реєстрацією деформацій, а саме:

за схемою 1 - через плиту опорну, виготовлену у формі п'ятники на підп'ятник,Рп = 920 (94) кН (тс) (рис. 3);

за схемою 2 - через сегмент з радіусом п'ятники і висотою, рівній 1/3 радіуса п'ятника, $Р_{кр.п}$ = 690 (70,5) кН (тс) (рис. 4);

за схемою 3 - по черзі до кронштейнів ковзунів, $Р_{ск}$ = 230 (23,5) кН (тс) (рис. 5);

за схемою 4 - до вертикальної стінки балки в середньому її перетині, Т = 345 (35,25) кН (тс) (рис. 6);

Рис. 3. Навантаження балки надресорної вертикальним навантаженням прикладеної до опорної поверхні підп'ятника ($P_п$)

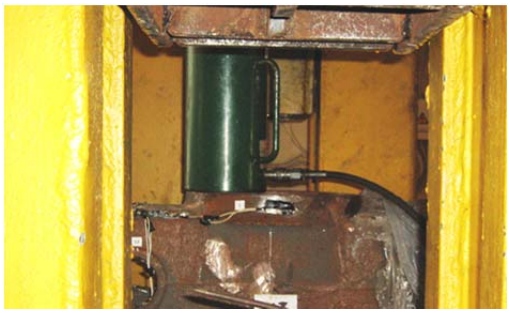


Рис. 4. Навантаження надресорної балки вертикальним навантаженням по черзі до країв підп'ятника ($P_{кр.п}$)

Рис. 5. Навантаження балки надресорної вертикальним навантаженням по черзі до кронштейнів ковзунів ($P_{ск}$)

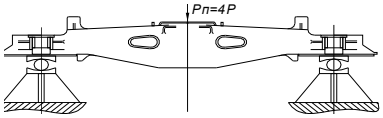
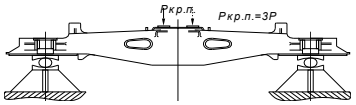
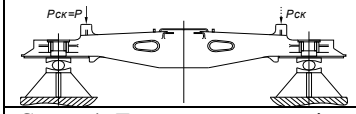
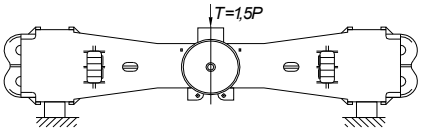
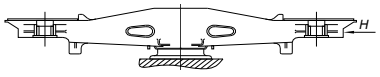
Рис. 6. Навантаження балки надресорної горизонтальним навантаженням, прикладеної до вертикальної стінки балки (Т)

за схемою 5 - до торця балки надресорної, Н = 291 (29,7) кН (тс) (рис. 7).

Рис. 7. Навантаження балки надресорної навантаженням яка додається до торця балки (Н)

Таблиця

**Схеми прикладення та величини випробувальних навантажень для надресорної балки**

| Схема прикладення навантаження | Навантаження, кН (тс), $P_0$=230 кН (23,5тс) |
|---|---|
| Схема 1. Рівномірно на опорну поверхню підп'ятника ($P_п$=4Р)   | 920 (94) |
| Схема 2. По черзідо краю п'ятника ($P_{кр.п}$ =3Р)   | 690 (70,5) |
| Схема 3. Почерзідо кронштейу ковзуна ($P_{ск}$=Р)   | 230 (23,5) |
| Схема 4. До вертикальних стінок балки (Т=1,5Р)   | 345 (35,25) |
| Схема 5. Прикладення навантаження випробування (Н)   | 291 (29,7) |

Випробування проводилися при стійких показаннях приладів. Реєстрація деформацій проводилася в перетинах надресорної балки наведених на рисунку 8. Контроль зусиль, створюваних домкратами, здійснювався за допомогою манометрів, встановлених на насосних станціях і домкратах (в залежності від схеми навантаження). Величини навантажень, визначалися за градуювальним графіком залежності зусилля від тиску, отриманого при атестації домкратів.

Напруження осереднювалися за кожною схемою прикладання випробувальних навантажень за трьома зразками надресорних балок і по симетричним точкам однієї деталі [3, 12-17], після чого осереднені напруження перераховувались на напруження від розрахункових навантажень і визначалися сумарні напруження по розрахунковим режимам передбаченими [1, 5, 8].

Етап II проводився в наступній послідовності:

Надресорна балка за допомогою пристосування встановлювалась в пристрій для випробувань вузлів залізничної техніки і спираючись на катки опор, кожна з яких складалася з фасонної плити з отворами під бік надресорноїбалки, вал опорний, опори нижньої тумби, яка в свою чергу була встановленана нижній обв'язці пристрою (рис. 9).

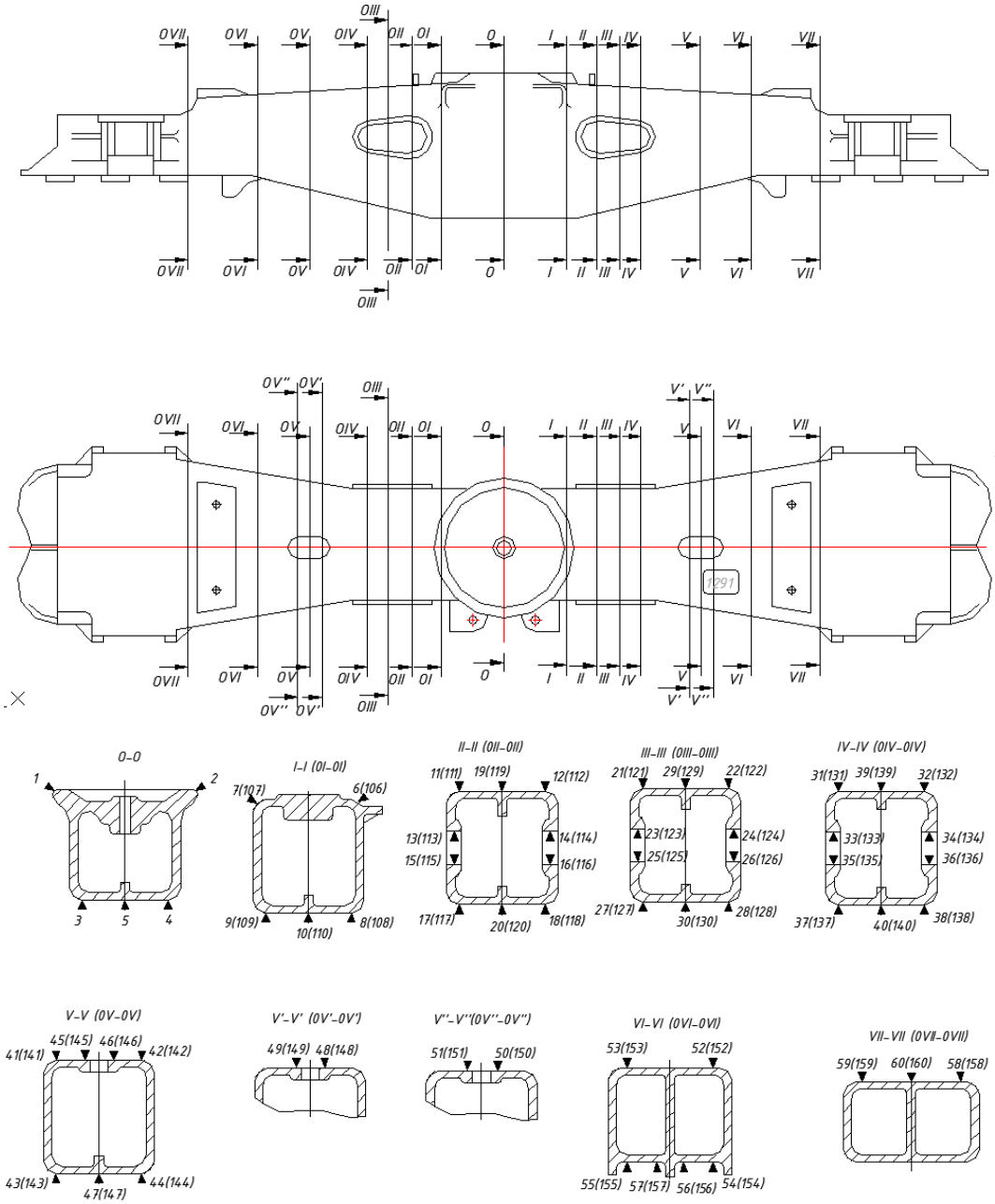



Рис. 8. Розташування тензорезисторів на надресорної балці

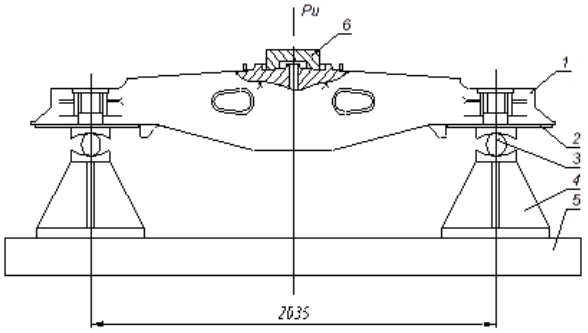



Рис. 9. Схема навантаження балки надресорної при статичних випробуваннях на міцність з використанням пристосування:
1 - балка надресорна, 2 - плита фасона, 3 - вал опорний, 4 - тумба, 5 нижня обв'язка пристрої (підстава), 6 - плита опорна

Встановлювались домкрати і підключалася насосна станція. Випробувальна навантаження $P_i$, що перевищує значення допустимої навантаження до втрати несучої здатності деталі $[P_{пнс}]$ = 2300 (235) кН (тс) більш ніж на 5%,$P_i$ = 2450 (250) кН (тс) прикладалася на підп'ятник надресорної балки через плиту опорну, виготовлену у формі п'ятника.

Випробування проводилися при плавному зростанні навантаження зі швидкістю не більше 50 кН / с (~ 5 тс / с).Контроль зусиль, створюваних домкратами, здійснювався за допомогою манометрів, встановлених на насосній станції. Величина навантаження, визначалася за градуіровочним графіком залежності зусилля від тиску, отриманого при атестації домкратів.

Після зняття навантаження контролювалося наявність або відсутність залишкового прогину і мікротріщини.

Випробувана надресорна балка розрізалась по перетинах і приведені на рисунку10 для визначення фактичних розмірів товщини стінок.

Відповідно до затвердженого кресленням точність виливки балки надресорної 12-0-0-13 за ГОСТ 26645, ГОСТ Р 53464, граничні відхилення розмірів сіметричні.

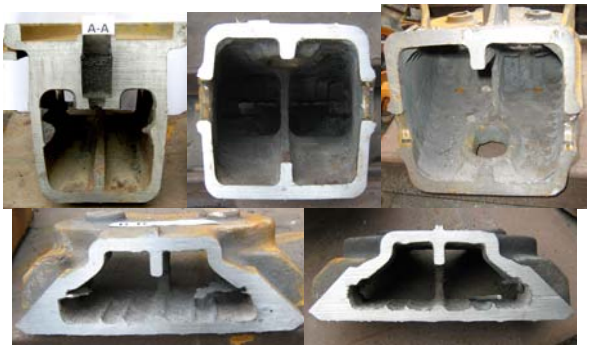



Рис. 10. Балка надресорнапорізана по перетинах з метою контролю розмірів елементів конструкції

Випробуванням за визначенням граничної величини руйнівного навантаження піддавався один дослідний зразок надресорної балки.Після навантаження надресорної балки випробувальної навантаженням, $P_i$ = 250 тс,що перевищує допустиме навантаження до втрати несучої здатності деталі, $[P_{пнс}]$ = 235 тс, більш ніж на 5% залишкова деформація (прогин) в середньому перетині склала 9 мм, при цьому руйнування конструкції, зламів, тріщин на надресорної балці виявлено не було. Надресорна балка, після випробувань по визначенню величини навантаження до втрати несучої здатності, була використана для розрізання по перетинах з метою контролю розмірів елементів конструкції. Виміряні фактичні розміри елементів конструкції в перетинах надресорної балки які відповідають конструкторській документації рисунок 10.

**Висновок.** На підставі виконаного аналізу результатів, отриманих при проведенні типових випробувань надресорної балки, можна зробити наступні висновки:

- всі досліджені зони надресорних балок при статичних випробуваннях на міцність сумарні напруження по I і III розрахунковим режимам, не перевищують допустимих «Нормами ...» [1,2,4,14];

- результати випробувань надресорної балки руйнівним навантаженням свідчить про її достатню міцність;

- отримані фактичні значення товщини елементів в перетинах випробуваної надресорної балки відповідають вимогам затвердженого креслення;

- конструкція балки надресорної по міцностним характеристикам відповідає вимогам «Норм ...» [1,2,4,14];], нормативної документації і може бути рекомендована до подальшого використання.

**Література**

1. Фомін О.В. Розробка методики впровадження різних профілей в якості складових елементів несучих систем вантажних вагонів [Development of a method for the introduction of various profiles as components of carrier systems of freight cars] / O.V. Fomin // Visnik Nacionalnogo tehnichnogo universitetu «HPI». – Kharkiv. – 26´2012 P.29-33.
2. O. Fomin, I. Kulbovskiy, E. Sorochinska, S. Sapronova, O. Bambura, Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 5, 1 (89), 11-19, (2017) doi: 10.15587/1729-4061.2017.109588
3. Gevorkyan E., Lavrynenko S., Rucki M., Siemiatkowski Z., Kislitsa M. Ceramic cutting tools out of nanostructured refractory compounds. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials. 2017. Vol. 68. P. 142–144.
4. Фомін, О.В. Поліпшення несучої здатності вагона-хопера для перевезення зерна з метою підвищення опору динамічним зусиллям / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І. Сапронова С.Ю.// Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Сєвєродонецьк: СНУ ім. В.Даля, 2017. – № 5(235) – С. 88-99.

5. Research on the safety factor against derailment of railway vehicles / S. Sapronova, V. Tkachenko, O. Fomin, V. Gatchenko, S. Maliuk // Eastern-European journal of enterprise technologies. 2017. Vol. 6, Issue 7 (90). P. 19-25 doi: 10.15587/1729-4061.2017.116194
6. Fomin, O.V. Варіаційне описання конструкції виконання вантажних вагонів [Variations describe the structural designs of freight cars] / O.V. Fomin, A.V. Gostra // Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series "Transport systems and technologies." - Kyiv: DETUT, 2015. - Vyp.26-27. - S.137-147.
7. High speed stability of a railway vehicle equipped with independently rotating wheels / O. Kyryl'chuk, J. Kalivoda, L. Neduzha // Proc. of 24th Intern. Conf. «Engineering Mechanics 2018». – P. 473-476. doi: 10.21495/91-8-473.
8. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., & Kyryl'chuk, O. (2017). Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. Transport Means: Proc. of 21st Intern. Scientific Conf., 973-976.
9. Мороз, В.І. Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоємності. // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – С. 121 – 131.
10. Кельріх М. Б. Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів //Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.—Луганськ: СНУ ім. В. Даля. – 2014. – №. 2. – С. 210.
11. Макаренко М. В. Комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагону //Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України».–К.: ДНДЦ УЗ. – 2014. – №. 5. – С. 107
12. Мороз В. І. Визначення перспективних напрямків удосконалення конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон» //Зб. наук. праць.-Харків: УкрДАЗТ. – 2008. – С. 72-81.
13. Fomin O. V., Lovska A. O., Plakhtii O. A., Nerubatskyi V. P. The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties // Scientific Bulletin of National Mining University, 6, 89 – 96. (2017).
14. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text]/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. –№ 3/7(57), 2012. – 32-35 p. - access Mode: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)__9.pdf.
15. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів / О.В. Фомін // Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського». – Кременчук: КДПУ, 2013. - Вип. 6(83). – С. 87-91.
16. Фомін, О.В. Впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності [Текст]/ О.В Фомін // Науковий журнал – «Технологический аудит и резервы производства». – Харків, 2015. – № 4/1(24) – С. 83-89.
17. Ловська А. О. Моделювання навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні у складі комбінованого поїзда на залізничному поромі / А. О. Ловська // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин. – 2018. – Вип. 33. – с. 28 – 32.
18. Ловська А. О. Дослідження міцності несучої конструкції кузова напіввагона при перевезенні на залізничному поромі / А. О. Ловська // Зб. наук. праць. Київ: ДУІТ. – 2018. – Вип. 32, Т. 1. – с. 71 – 80.

**References**

1. Fomin O.V. Rozrobka metodiki vprovadgennja riznih profiliv v jacosti scladovih elementiv nesuchih system vantagnih vagoniv [Development of a method for the introduction of various profiles as components of carrier systems of freight cars] / O.V. Fomin // Visnik Nacionalnogo tehnichnogo universitetu «HPI». – Kharkiv. – 26´2012 P.29-33.
2. Fomin, O., Kulbovsky, I., Sorochinska, E., Sapronova, S., Bambura, O. (2017). Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (1 (89)), 11–18. doi: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109588
3. Gevorkyan E., Lavrynenko S., Rucki M., Siemiatkowski Z., Kislitsa M. (2017). Ceramic cutting tools out of nanostructured refractory compounds. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials. 68. 142–144.
4. Fomin O.V., Prokopenko P.M., Horbunov M.I. Sapronova S.YU. (2017). Polipshennya nesuchoyi zdatnosti vahonakhopera dlya perevezennya zerna z metoyu pidvyshchennya oporu dynamichnym zusyllyam /.// Naukovyy zhurnal – Visnyk Skhidnoukrayins′koho natsional′noho universytetu imeni Volodymyra Dalya. – Sye-verodonets′k: SNU im. V.Dalya,– № 5(235) – S. 88-99
5. Sapronova S., Tkachenko V., Fomin O., Gatchenko V., Maliuk S. (2017). Research on the safety factor against derailment of railway vehicles. Eastern-European journal of enterprise technologies. 6, 7 (90), 19-25 doi: 10.15587/1729-4061.2017.116194
6. Fomin, O.V. Variacijne opisannja konstruktivnih vikonan' vantazhnih vagoniv [Variations describe the structural designs of freight cars] / O.V. Fomin, A.V. Gostra // Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series "Transport systems and technologies." - Kyiv: DETUT, 2015. - Vyp.26-27. - S.137-147.
7. Kyryl'chuk O., Kalivoda J., & Neduzha L. (2018). High speed stability of a railway vehicle equipped with independently rotating wheels. Engineering Mechanics: Proc. of 24th Intern. Conf., 473-476. doi: 10.21495/91-8-473.
8. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., & Kyryl'chuk, O. (2017). Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. Transport Means: Proc. of 21st Intern. Scientific Conf., 973-976.
9. Moroz V.I. Matematychnyy zapys zadachi optymizatsiynoho proektuvannya piv-vahoniv za kryteriyem minimal'noyi materia-loyemnosti [Mathematical notation of problem of optimizing design of open goods wagons by criterion of the minimum material capac-ity]. // Zbirnyk naukovykh prats [Collection of scientifc papers]. Kharkiv. Ukrainian State University of Railway Transport. 2009. No 111, pp. 121-131.
10. Kelrikh M. B., Moroz V. I. Strukturno-funktsionalne opysannia konstruktsii modulia kuzova suchasnykh universalnykh napivvahoniv //Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia, 2 (210). – 2014. – C. 94-103.
11. Makarenko M. V. Kompleksnyi analiz ekonomichnoho efektu vid zhyttievoho tsyklu suchasnoho napivvahonu [Comprehensive analysis of the economic impact of the life cycle of a modern gondola] //Naukovo-

praktychnyizhurnal «Zaliznychnyi transport Ukrainy».– Kyiv: DNDTs UZ. – 2014. – №. 5. – С. 107.
12. Moroz, V.I. (2008). Vyznachennia perspektyvnykh napriamkiv udoskonalennia konstruktsii napivvahoniv vyrobnytstva DP «Ukrspetsvahon»[Determination of the promising direction for improvement of the open car design of SE" Ukrspetsvagon"]. Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi Derzhavnoi Akademii Zaliznychnoho Transportu, 72-81.
13. Fomin, O. V., Lovska, A. O., Plakhtii, O. A., Nerubatskyi, V. P. (2017). The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties. Scientific Bulletin of National Mining University, 6, 89 – 96.
14. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text]/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. –№ 3/7(57), 2012. – 32-35 p. - access Mode: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)__9.pdf.
15. Fomin O.V. Teoretychni osnovy prohramnoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahoniv / O.V. Fomin // Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremenchuts′kohonatsional′noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads′koho». – Kremenchuk: KDPU, 2013. - Vyp. 6(83). – S. 87-91.
16. Fomin, O. V. Vprovadzhennya of cruglic pipes in NESC systems napowan W zabezpeceny razvaliny pokaznikiv mcnet [Text]/ O. In Fomn // [ the journal "Technology audit and production reserves". – Kharkiv, 2015. – № 4/1(24) – S. 83-89.
17. Lovs′ka A. O. Modelyuvannya navantazhenosti konteynera-tsysterny pry perevezenni u skladi kombinovanoho poyizda na zaliznychnomu poromi / A. O. Lovs′ka // Visnyk Natsional′noho tekhnichnoho universytetu «KHPI». Seriya: Dynamika i mitsnist′ mashyn. – 2018. – Vyp. 33. – s. 28 – 32.
18. Lovs′ka A.O. Doslidzhennya mitsnosti nesuchoyi konstruktsiyi kuzova napivvahona pry perevezenni na zaliznychnomu poromi / A.O. Lovs′ka // Zb. nauk. prats′. Kyyiv: DUIT.– 2018. – Vyp. 32, T. 1.–s.71 – 80.

**Фомин А.В., Осьмак В.Е. Лебедев В.С., Цымбалюк А.В. Анализ разрушающих напряжений надрессорных балок тележки грузового вагона типовой конструкции (Часть 1).**

*В статье (Часть1 и часть 2) рассмотрены вопросы исследования напряженных состояния конструкций опытных образцов надрессорной балки типовой конструкции двухосной тележки грузовых вагонов во время испытательных нагрузок. Определение возможности сохранения несущей способности во время действия разрушающей нагрузки и выполнен усредненный расчет напряжений в симметричных точках одной детали, выполнено перерасчет усредненных напряжений от исследовательских нагрузок на напряжение от расчетных нагрузок, определенные суммарные нагрузки по расчетным режимам. Примененный метод исследования теоретического и экспериментального характера и статического анализа.*

***Ключевые слова:*** *тележка двухосная, балка надрессорная, испытания статические, прочность, испытательные и разрушающие нагрузки, расчетные режимы, напряжения что допускаются, сечения, размеры элементов конструкции.*

**Fomin O., Osmak V., Lebedev V., Tsymbaliuk A. Analysis of related stresses of the nadrason steering wire of vehicle wagon of the type construction (Part 1).**

*The article (PART 1 and PART 2) deals with the issue of studying the elastic state of structures of prototype sketches of a superstring beam of a typical construction of a two-axle trolley for freight wagons during test loads. Determination of the possibility of maintaining the load bearing capacity during the destructive load and an average calculation of stresses at the symmetric points of one part was performed; the recalculation of the average stresses from the experimental loads to the stresses from the calculated loads was performed, the total loads were calculated according to the calculated modes. The applied method of studying the theoretical and experimental nature and static analysis is applied.*

*Based on the analysis of the results obtained during the typical tests of the overhead beam, we can draw the following conclusions: all investigated areas of superstring beams at static tests for the strength of total stresses under I and III settlement regimes, do not exceed permissible; results of tests of a superstructure with a destructive load indicate its sufficient strength; the actual values of the thickness of the elements obtained in the sections of the tested superstructure beams meet the requirements of the approved drawing; the construction of the superstrong beams according to the strength characteristics meets the requirements of normative documentation and can be recommended for further use.*

***Keywords:*** *biaxial carriage, superstrong beam, static tests, strength, test and destructive loads, calculation modes, permissible voltages, cross sections, dimensions of structural elements.tickle.*

**Фомін О.В.** – д.т.н., професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» ДУІТ, м. Київ.
(fominaleksejviktorovic@gmail.com)
**Осьмак В.Є.** – к.т.н., доцент кафедри «Вагони та вагонне господарство»,ДУІТ, м. Київ.
**Лебедєв В.С.** – інженер кафедри «Вагони та вагонне господарство», ДУІТ, м. Київ.
**Цимбалюк А.В.** – аспірант кафедри «Вагони та вагонне господарство», ДУІТ, м. Київ.

Рецензент: д.т.н., проф. ***Чернецька-Білецька Н.Б.***

Стаття подана 16.04.2019

УДК 629.4.02.001.76

# ОЦІНКА ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ РУХУ ЛЕГКОВАГОВИХ ВАГОНІВ В СКЛАДІ ПОЇЗДА

**Фомін О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М. І., Фоміна А.М.**

# EVALUATION OF THE QUALITY INDICATOR OF LIGHT WAGON TRAFFIC IN THE TRAVEL COMPOSITION

**Fomin O., Prokopenko P., Gorbunov M., Fomina A.**

*Забезпечення безпеки руху є одним з найважливіших вимог до роботи залізниць. Серед аварій і катастроф на залізничному транспорті найбільшу небезпеку становить сходження з рейок, так як це може призвести до тяжких наслідків. Причини сходів легковагових вагонів з рейок пов'язані з несправностями рухомого складу, відхиленнями від норм утримання колії, незадовільна динаміка поїзда також з умовами їх експлуатації. Серед вагонів, які частіше за все сходили порожні вагони-платформи моделей 13-4012, вагони-хопери для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01, вагони-цистерни моделі 15-1443.*

***Ключові слова:*** *легковагові вагони, ходові динамічні випробування, швидкість, коефіцієнт запасу стійкості, сход, несправність, динаміка.*

**Вступ.** Суттєвим недоліком роботи залізничного транспорту України є обмеження швидкості руху поїздів з вантажними вагонами в порожньому стані, які обладнані візками моделі 18-100.

У числі причин сходів коліс вагонів з рейок, пов'язаних з несправностями ходової частини вагонів, можна назвати наступні: злам бічних рам і надресорних балок візків, злам осей і коліс, несправності роликових підшипників буксового вузла,знос елементів фрикційних гасителів коливань і вузла обпирання кузова на надресорні балки, неприпустимі відхилення розмірів візків. Також важливою причиною є негативне зменшення тари вагона більш ніж як на 10% від встановленої заводом виробником.

Зазначені несправності, зокрема, пов'язані з руйнуваннями елементів ходової частини, безпосередньо призводять до сходів вагонів. Однак, деякі з них прямо не викликають схід, але є причинами розвитку динамічних процесів, які викликають підвищену силову взаємодію рухомого складу.

Серед вагонів, які частіше за все сходили порожні вагони-платформи моделей 13-4012, вагони-хопери для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01, вагони-цистерни моделі 15-1443.

За результатами аналізу обставин сходів порожніх вагонів за період 2016-2018 рр. яких сталося більше 70 випадків тільки на регіональній філії «Південно-західна залізниця» встановлено, що наслідками сходів є серйозні пошкодження рухомого складу, залізничної колії та інших елементів інфраструктури залізниці, зниження швидкості та порушення графіку руху поїздів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні дослідження, присвячені питанням зниження вартості вантажних вагонів та визначення показників якості руху вантажних вагонів. Зокрема, стаття [4] присвячена висвітленню запропонованих інновацій для конструкцій піввагонів «залізничного простору 1520 мм» і особливостей їх проектування, однак в ній обмежено представлені можливості застосування таких інновацій для піввагонів-хоперів. Автори роботи [5] відображають певні ними перспективні напрямки конструювання кузовів залізничних напіввагонів з метою поліпшення техніко-економічних показників, але не розкривають економічного потенціалу ділового використання спеціального дорогого вагонного прокату немірної довжини. У роботах [8, 9] представлені нові підходи до вдосконалення динамічних розрахунків вагонних конструкцій і отримані на їх основі більш точні результати. Так, в роботі [8] описані характерні риси та результати динамічних характеристик вагонів-платформ. А робота [9] присвячена представленню запропонованих методів визначення динамічних характеристик для різних виконань несучих вагонних конструкцій. Ряд сучасних публікацій присвячені конструкціям вантажного вагонобудування нового покоління, які спроектовані з використанням передових матеріалів та технологій. Наприклад, в [6] автори відображають результати комп'ютерного моде-

лювання прототипу вантажного вагона з основними несучими елементами, виконаними без надлишкових зв'язків. Однак представлені в роботах [5, 8, 9] підходи орієнтовані на використання цілісних профілів і не дозволяють з достатньою точністю розрахувати впровадження стикованих варіантів виконання балок в різних вузлах вантажних вагонів. В роботі [7] представлені особливості запропонованих авторами інновацій в модулі ходової частини, також відображено їх вплив на модуль кузова але без урахування варіації його виконань. У статті [8] опубліковані результати робіт з генерування перспективних конфігурацій профілів, які можуть бути використані у виробництві різних видів рухомого складу. Але автори не пропонують даних про можливості створення перспективних профілів в стикованих по довжині виконаннях. Робота [10,12] висвітлює запропоновані методи аналізу залізничних конструкцій майбутнього і способи розширення їх функціональності, проте в ній, так само як і в статті [6], відсутні дані про підвищення ділової функціональності немірних спеціальних профілів. Також важливу роль в сучасному вагонобудуванні грають відповідні підходи в проектуванні, наприклад в статті [11] представлений розроблений методологічний апарат для прийняття оптимальних рішень. Але він так само не надає вичерпних можливостей щодо формування оптимальних по довжині і конфігурації зчленованих балок. У роботах [13, 14, 15] представлені особливості та результати проведених досліджень з визначення конструктивних складових вантажних вагонів для створення спрямованого напружено-деформованого стану (на основі принципу попередніх напружень). Роботи [15, 16, 17] відображають результати впровадження круглих труб в конструкцію вантажного вагона та дослідження міцності несучої конструкції кузова напіввагона при перевезенні на залізничному поромі.

З урахуванням вищесказаного можна зробити висновок, що результати аналізу інформаційних джерел з досліджуваного питання свідчать про відсутність достатніх методичних і практичних матеріалів про визначення коефіцієнту стійкості колеса від сходу з рейок.

**Мета статті.** Мета статті – вирішення науково-практичного завдання зі створення теоретичних положень визначення безпечного значення коефіцієнта стійкості легковагових вантажних вагонів в складі поїзда та експериментальне їх підтвердження.

При цьому основними чинниками які безпосередньо впливають на коефіцієнт стійкості є вертикальні та повздовжні зусилля, які відповідно залежать від власної ваги вагонів та діючої в повздовжньому напрямку ваги поїзду. Тому головними напрямками з визначення коефіцієнту стійкості було обрано варіювання місцями розташування вагонів в поїзді та зменшення їх власної ваги (тари).

Для досягнення поставленої мети було визначено та вирішено наступні задачі:

- розробка теоретичних положень проведення досліджень;
- проведення ходових динамічних випробувань з визначенням показників динамічних якостей вагона при його русі та скидання з клинів з визначенням та оцінкою власних частот коливань.
- аналіз результатів та визначення рекомендацій.

**Результати досліджень.** Об’єктами випробувань є вантажні вагони: вагон-платформа моделі 13-4012 (рис. 1), вагон-хопер для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01 (рис. 2) та вагон цистерна моделі 15-4443 (рис. 3).

Рис. 1. Універсальна вагон платформа моделі 13-4012

Рис. 2. Вагон-хопер для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01

Рис. 3. Вагон-цистерна моделі 15-1443

При випробуваннях скидання з клинів визначається частота коливань і напруження в надресорній балці та боковині рами візка, динамічні і статичні прогини ресорного підвішування візка.

У процесі ходових динамічних випробувань вагона вимірюються, аналізуються і оцінюються такі величини і показники:

- вертикальні і горизонтальні (поперечні) прискорення обресорних мас вагону в зоні підп'ятника вагона;
- динамічні бічні (рамні) сили, що діють на букси колісних пар;
- коефіцієнт стійкості колеса від сходу з рейок;
- коефіцієнти вертикальної динаміки обресорених та не обресорених мас;
- коефіцієнт горизонтальної динаміки (відношення бічної рамної сили до осьового навантаження);
- сили які діють на дослідний вагон;
- швидкості руху.

Вибір точок для визначення частот коливань та динамічних напружень при випробуваннях по скиданню з клинів виконується на підставі аналізу результату розрахунку напружено-деформованого стану несучої конструкції вагонів.

Місця встановлення тензодатчиків при випробуваннях скидання з клинів та ходових динамічних випробуваннях

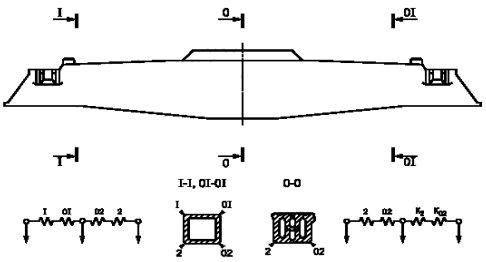


Рис. 4. Схема установки і з'єднання тензорезисторів для визначення коефіцієнтів вертикальної динаміки в перетинах надресорної балки візка вантажного вагона

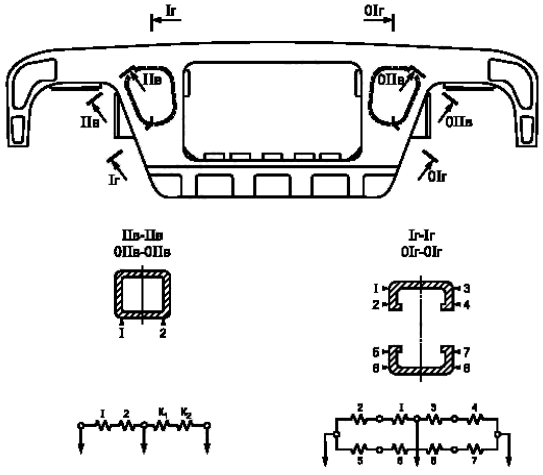


Рис. 5. Схема установки і з'єднання тензорезисторів для вимірювання горизонтальних (рамних) сил (перетину з індексом «Г») і вертикальних сил: $К_1$,$К_2$- компенсаційні тензорезистори

Ходові динамічні випробування проводять методом реєстрації процесів у контрольних точках деталей візка під час дослідних поїздок у діапазоні експлуатаційних швидкостей, якщо це не загрожує безпеці руху. За результатами вимірювань виконують розрахунки, оцінюють ходові динамічні якості.

Реєстрація вимірюваних процесів ходових динамічних випробувань проводиться на прямих і кривих ділянках колії і стрілочних переводах у всьому проектному діапазоні допустимих експлуатаційних швидкостей.

Ходові динамічні випробування проводять під час дослідних поїздок у реальних умовах експлуатації з реєстрацією динамічних процесів і деформацій у контрольних точках.

Перед початком випробувань виконується зважування дослідних вагонів.

Проводять підготовку візків моделі 18-100:

- підбір тензорезисторів;
- підготовку місць установки тензорезисторів, на елементах конструкції візків згідно з рисунків 4, 5;
- наклейку тензорезисторів;
- тарування візків;
- встановлення тензометричних автозчепних пристроїв;
- монтаж з'єднувальних кабелів до тензорезисторів і апаратури, що реєструє;
- налагодження та перевірку роботоздатності апаратури.

Етапи проведення випробування:

І етап: дослідний зчеп: локомотив –вагон-платформа моделі 13-4012 – вагон-цистерни моделі 15-1443 – динамометричний вагон – вагон-хопер зі знятою кришею моделі 19-758-01, швидкість від 30 км/год до 60-80 км/год з кроком 5-10 км/год.

ІІ етап: поїзд: Варіант 1 –локомотив – 6 порожніх напіввагонів – дослідний зчеп – 30 завантажених напіввагонів; Варіант 2 локомотив – 15 завантажених напіввагонів – дослідний зчеп – 6 порожніх напіввагонів – 15 завантажених напіввагонів; Варіант 3 – локомотив – 30 завантажених напіввагонів – дослідний зчеп – 6 порожніх напіввагонів (рис. 7).

Обробка даних ходових динамічних випробувань вагонів передбачає розшифровку, ідентифікацію та систематизацію параметрів зареєстрованих динамічних процесів. При обробці враховуються показників якості ходу вагона - до 20 Гц. Частота квантування при обробці дослідних даних на ЕОМ повинна бути не менше 100 Гц.

Дослідні дані групуються за діапазонами швидкостей руху (10-20 км/год), характерних особливостей ділянок колії (пряма, крива, стрілки і ін.).

При аналізі записів процесів встановлюються характерні види коливань, оцінюються залежність характеру і інтенсивності коливань від умов руху. У зв'язку з ймовірнісною природою показників динамічної завантаженості ходових частин вагонів (в тому числі під впливом особливостей технічного стану ходових частин і транспортної структури) застосовується відповідний апарат теорії ймовірностей.

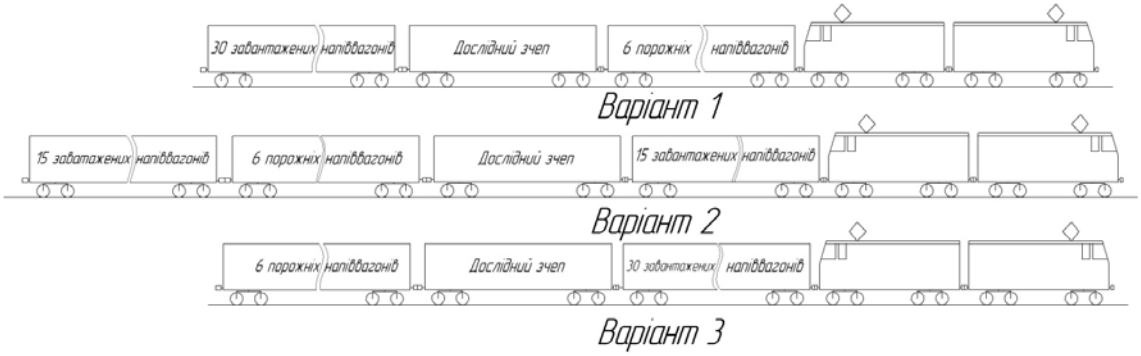



Рис. 7. Схема розташування рухомого складу підчас 2 етапу

Для оцінки ходових якостей за величинами виміряних динамічних показників вагона, з використанням співвідношень з урахуванням тарувальних даних визначаються ймовірні максимальні значення коефіцієнтів вертикальної динаміки обресорених $K_{до}$ і необресорних $K_{дн}$ мас вагона, бічні (рамні) сили, коефіцієнт горизонтальної динаміки $K_{дг}$, значення коефіцієнтів запасу стійкості від сходу з рейок $K_{ус}$.

Методика розрахунку коефіцієнта запасу стійкості вагона проти сходу з рейок при вповзанні гребня колеса на рейку під дією динамічних зусиль, що виникають при русі, коефіцієнтів вертикальної динаміки обресорених і необресорених мас вагона наведені нижче.

Оцінка стійкості колеса проти сходу з рейки проводиться формулою,

$$K_{ус}=\frac{tg_\beta-\mu}{1+\mu tg_\beta}\cdot \frac{Q_ш(\frac{2(b-a_2)}{1}-K_д^н\frac{2(b-a_2)}{1}+K_д^{нн}\frac{a_2}{1})+q\frac{b-a_2}{1}+\frac{r}{l}H_p}{\mu Q_ш(\frac{2(b-a_1)}{1}+K_д^н\frac{a_1}{1}-K_д^{нн}\frac{2b-a_2}{1})+\mu q\frac{b-a_1}{1}+(1-\frac{r}{l}\mu)H_p} \quad (1)$$

де $\beta$ - Кут нахилу твірної гребня колеса до горизонтальної осі;

$\beta = 60°$;

$\mu$ - коефіцієнт тертя, $\mu = 0{,}25$;

$q$ – сила тяжіння маси непідресорених частин, які приходять на колісну пару, Н ;

$2b$ – відстань між серединами шийок осі колісної пари, м;

$a_1, a_2$ – розрахункова відстань від точок контакта коліс з рейками до середини відповідних (набігаючих і ненабігаючих) шийок осі колічної пари приймаються відповідно 0,250 і 0,220м;

$r$ – радіус кола кочення колеса, $r$ =0,45м (для середньо зношеного колеса) або за результатами вимірювання колес дослідного зразка;

$K_д^н$ – коефіцієнт вертикальної динаміки на набігаючому колесі; значення коефіцієнта приймається додатнім у випадку розвантаження коліс;

$K_д^{нн}$ – коефіцієнт вертикальної динаміки на небігаючому колесі; значення коефіцієнта приймається додатнім у випадку розвантаження коліс;

$H_p$ – горизонтальна бокова рамна сила.

$Q_ш$ - сила тяжіння надресорних частин вагона, діюча на шийку осі колісної пари, кН.

Сила на автозчепі-динамометри під час ходових-динамічних випробувань (рис. 8).

Рис. 9. Сила на автозчепному пристрої

Результати коефіцієнту запасу колеса проти сходу з рейок наведено в таблиці.

Таблиця

**Результати з визначення коефіцієнту запасу стійкості**

| Швидкість, км/год | Вагон-платформа моделі 13-4012 | Вагон-цистерна моделі 15-1443 | Вагон-хопер моделі 19-758-01 |
|---|---|---|---|
| | Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок не менше 1,3 | | |
| 40±5 | 1,4 | 1,45 | 1,42 |
| 50±5 | 1,33 | 1,42 | 1,4 |
| 60±5 | 1,32 | 1,34 | 1,37 |
| 70±5 | **1,18** | 1,33 | 1,35 |
| 80±5 | **1,14** | 1,31 | 1,33 |

**Висновок.** Вході проведення теоретичних та практичних досліджень з визначення показника коефіцієнту запасу стійкості колеса зі сходу з рейок в залежності від місця постановки легковагових вантажних вагонів у поїзді у порожньому режимі на прямих і кривих відрізках залізничної колії у діапазоні експлуатаційних швидкостей було встановлено що він змінюється в негативну сторону в залежності від зменшення тари більше як на 10% від норматив-

ної, поганого технічного стану несучих та екіпажних частин вагона та розташування вагонів у голові та середині поїзда. Таким чином отримані теоретичні результати дозволять оцінити вплив зменшення тари, поганого технічного стану та місця розташування у поїзді, на стійкість вагона від перекидання та встановити безпечну швидкість руху легковагових вагонів у порожньому стані та місце постановки їх у поїзді.

За результатами проведених ходових динамічних випробувань вагона-платформи моделі 13-4012, вагона-цистерни моделі 15-1443, вагона-хопера для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01 у порожньому стані встановлено наступну відповідність та невідповідність вимогам ДСТУ 7598-2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних), ДСТУ ГОСТ 33211-2017 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам»:

Під час випробувань встановлено, що значення сил стиску, які діють на дослідні вагони в головній та середній частинах поїзда досягають, а в окремих випадках (екстрене гальмування, рух по переламному профілю) перевищують критичні для порожнього рухомого складу значення.

Отже більш суттєвий вплив на рівень показників безпеки руху порожніх вагонів є: стан колії, місце постановки порожніх вагонів у складі поїзда та технічний стан візків (п'ятник, підп'ятник та ін.). Матеріали даної публікації отримано в ході виконання заявки проекту Ф84 ДФФД.

**Література**


1. Фомін О.В. Розробка методики впровадження різних профілей в якості складових елементів несучих систем вантажних вагонів [Development of a method for the introduction of various profiles as components of carrier systems of freight cars] / O.V. Fomin // Visnik Nacionalnogo tehnichnogo universitetu «HPI». – Kharkiv. – 26´2012 P.29-33.
2. Kelrykh M., Fomin O. (2014). Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry», 6, 64-67.
3. N. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtanec, K. Kravchenko. (2016). The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the "wheel-braking pad-rail" system, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport. Międzynarodowej Konferencji Naukowej TRANSPORT XXI WIEKU, Arłamów, 114–126.
4. Фомін, О.В. Поліпшення несучої здатності вагона-хопера для перевезення зерна з метою підвищення опору динамічним зусиллям / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І. Сапронова С.Ю.// Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Сєвєродонецьк: СНУ ім. В.Даля, 2017. – № 5(235) – С. 88-99.
5. Sapronova S, Tkachenko V., Kramar N., Voron'ko A. (2008). Regularities of shaping of a wheel profile as a result of deterioration of the rolling surface in exploitation. Transport Problems // International Scientific Journal, 3(4), 47−57.
6. Fomin, O.V. Варіаційне описання конструкції виконання вантажних вагонів [Variations describe the structural designs of freight cars] / O.V. Fomin, A.V. Gostra // Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series "Transport systems and technologies." - Kyiv: DETUT, 2015. - Vyp.26-27. - S.137-147.
7. Myamlin, S., Neduzha, L., Ten, O., & Shvets, A. (2010). Spatial Vibration of Cargo Cars in Computer Modelling with the Account of Their Inertia Properties. Mechanika 2010: Proc. of 15th Intern. Conf., 325-328.
8. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., & Kyryl'chuk, O. (2017). Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. Transport Means: Proc. of 21st Intern. Scientific Conf., 973-976.
9. Мороз, В.І. Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоємності. // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – С. 121 – 131.
10. Кельріх М. Б. Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів //Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.—Луганськ: СНУ ім. В. Даля. – 2014. – №. 2. – С. 210.
11. Макаренко М. В. Комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагону //Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України».–К.: ДНДЦ УЗ. – 2014. – №. 5. – С. 107
12. Мороз В. І. Визначення перспективних напрямків удосконалення конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон» //Зб. наук. праць.-Харків: УкрДАЗТ. – 2008. – С. 72-81.
13. Kelrykh, M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas/ M. Kelrykh, O. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 6 – P.64-67
14. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text]/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. –№ 3/7(57), 2012. – 32-35 p. - access Mode: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)__9.pdf.
15. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів / О.В. Фомін // Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського». – Кременчук: КДПУ, 2013. - Вип. 6(83). – С. 87-91.
16. Фомін, О.В. Впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності [Текст]/ О.В Фомін // Науковий журнал – «Технологический аудит и резервы производства». – Харків, 2015. – № 4/1(24) – С. 83-89.
17. Ловська А. О. Моделювання навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні у складі комбінованого поїзда на залізничному поромі / А. О. Ловська // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин. – 2018. – Вип. 33. – с. 28 – 32.
18. Ловська А. О. Дослідження міцності несучої конструкції кузова напіввагона при перевезенні на залізничному поромі / А. О. Ловська // Зб. наук. праць. Київ: ДУІТ. – 2018. – Вип. 32, Т. 1. – с. 71 – 80.

**R e f e r e n c e s**

1. Fomin O.V. Rozrobka metodiki vprovadgennja riznih profiliv v jacosti scladovih elementiv nesuchih system vantagnih vagoniv [Development of a method for the introduction of various profiles as components of carrier systems of freight cars] / O.V. Fomin // Visnik Nacionalnogo tehnichnogo universitetu «HPI». – Kharkiv. – 26´2012 P.29-33.
2. Kelrykh M., Fomin O. (2014). Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry», 6, 64-67.
3. N. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtanec, K. Kravchenko. (2016). The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the "wheel-braking pad-rail" system, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport. Międzynarodowej Konferencji Naukowej TRANSPORT XXI WIEKU, Arłamów, 114–126.
4. Fomin O.V., Prokopenko P.M., Horbunov M.I. Sapronova S.YU. (2017). Polipshennya nesuchoyi zdatnosti vahona-khopera dlya perevezennya zerna z metoyu pidvyshchennya oporu dynamichnym zusyllyam /.// Naukovyy zhurnal – Visnyk Skhidnoukrayins′koho natsional′noho universytetu imeni Volodymyra Dalya. – Syeverodonets′k: SNU im. V.Dalya,– № 5(235) – S. 88-99
5. Sapronova S, Tkachenko V., Kramar N., Voron'ko A. (2008). Regularities of shaping of a wheel profile as a result of deterioration of the rolling surface in exploitation. Transport Problems // International Scientific Journal, 3(4), 47−57.
6. Fomin, O.V. Variacijne opisannja konstruktivnih vikonan' vantazhnih vagoniv [Variations describe the structural designs of freight cars] / O.V. Fomin, A.V. Gostra // Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series "Transport systems and technologies." - Kyiv: DETUT, 2015. - Vyp.26-27. - S.137-147.
7. Myamlin, S., Neduzha, L., Ten, O., & Shvets, A. (2010). Spatial Vibration of Cargo Cars in Computer Modelling with the Account of Their Inertia Properties. Mechanika 2010: Proc. of 15th Intern. Conf., 325-328.
8. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., & Kyryl'chuk, O. (2017). Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. Transport Means: Proc. of 21st Intern. Scientific Conf., 973-976.
9. Moroz V.I. Matematychnyy zapys zadachi optymizatsiynoho proektuvannya piv-vahoniv za kryteriyem minimal'noyi materia-loyemnosti [Mathematical notation of problem of optimizing design of open goods wagons by criterion of the minimum material capac-ity]. // Zbirnyk naukovykh prats [Collection of scientifc papers]. Kharkiv. Ukrainian State University of Railway Transport. 2009. No 111, pp. 121-131.
10. Kelrikh M. B., Moroz V. I. Strukturno-funktsionalne opysannia konstruktsii modulia kuzova suchasnykh universalnykh napivvahoniv //Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia, 2 (210). – 2014. – C. 94-103.
11. Makarenko M. V. Kompleksnyi analiz ekonomichnoho efektu vid zhyttievoho tsyklu suchasnoho napivvahonu [Comprehensive analysis of the economic impact of the life cycle of a modern gondola] //Naukovo-praktychnyizhurnal «Zaliznychnyi transport Ukrainy».– Kyiv: DNDTs UZ. – 2014. – №. 5. – C. 107.
12. Moroz, V.I. (2008). Vyznachennia perspektyvnykh napriamkiv udoskonalennia konstruktsii napivvahoniv vyrobnytstva DP «Ukrspetsvahon»[Determination of the promising direction for improvement of the open car design of SE" Ukrspetsvagon"]. Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi Derzhavnoi Akademii Zaliznychnoho Transportu, 72-81.
13. Kelrykh M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». No 6, p.p. 64-67
14. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text]/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. –№ 3/7(57), 2012. – 32-35 p. - access Mode: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)__9.pdf.
15. Fomin O.V. Teoretychni osnovy prohramnoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahoniv / O.V. Fomin // Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremenchuts′kohonatsional′noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads′koho». – Kremenchuk: KDPU, 2013. - Vyp. 6(83). – S. 87-91.
16. Fomin, O. V. Vprovadzhennya of cruglic pipes in NESC systems napowan W zabezpeceny razvaliny pokaznikiv mcnet [Text]/ O. In Fomn // [ the journal "Technology audit and production reserves". – Kharkiv, 2015. – № 4/1(24) – S. 83-89.
17. Lovs′ka A. O. Modelyuvannya navantazhenosti konteynera-tsysterny pry perevezenni u skladi kombinovanoho poyizda na zaliznychnomu poromi / A. O. Lovs′ka // Visnyk Natsional′noho tekhnichnoho universytetu «KHPI». Seriya: Dynamika i mitsnist′ mashyn. – 2018. – Vyp. 33. – s. 28 – 32.
18. Lovs′ka A.O. Doslidzhennya mitsnosti nesuchoyi konstruktsiyi kuzova napivvahona pry perevezenni na zaliznychnomu poromi / A.O. Lovs′ka // Zb. nauk. prats′. Kyyiv: DUIT.– 2018. – Vyp. 32, T. 1.–s.71 – 80.

**Фомин А.В., Прокопенко П.Н., Горбунов Н.И., Фомина А.Н., Оценка показателя качества движения легковесных вагонов в составе поезда.**

*Обеспечение безопасности движения является одним из важнейших требований к работе железных дорог. Среди аварий и катастроф на железнодорожном транспорте наибольшую опасность представляет сход с рельсов, так как это может привести к тяжелым последствиям. Причины схода легковесных вагонов с рельсов связанные с неисправностями подвижного состава, отклонениями от норм содержания пути, неудовлетворительная динамика поезда также с условиями их эксплуатации. Среди вагонов, чаще всего сходили пустые вагоны-платформы моделей 13-4012, вагоны-хопперы для цемента со снятой крышей модели 19-758-01, вагоны-цистерны модели 15-1443.*

***Ключевые слова:*** *легковесные вагоны, ходовые динамические испытания, скорость, коэффициент запаса устойчивости, сход, неисправность, динамика.*

**O. Fomin, P. Prokopenko, M. Gorbunov, A. Fomina, Evaluation of the quality indicator of light wagon traffic in the travel composition.**

*Ensuring traffic safety is one of the most important requirements for the operation of railways. Among accidents and disasters in railway transport the greatest danger is the*

*ascent from rails, as it can lead to grave consequences. The reasons for the stairs of light railcar from the rails are due to malfunctions of the rolling stock, deviations from the rules of the maintenance of the track, unsatisfactory dynamics of the train as well as the conditions of their operation. Among the wagons, which most often came empty flat wagon models 13-4012, hopper cars for cement with a demountable model 19-758-01, tank cars model 15-1443. The main factors that directly affect the stability factor are vertical and longitudinal forces, which depend on the weight of the cars and the longitudinal weight of the train, respectively. Therefore, the main directions for determining the coefficient of stability were chosen to vary the location of wagons in the train and reduce their own weight (tare). Hence, the more significant impact on the level of safety indicators for empty wagons is: the condition of the track, the location of the empty wagons in the train and the technical condition of the carriages (Friday, subways, etc.).*

***Keywords:*** *light carriages, running dynamic tests, speed, stability factor, runoff, malfunction, dynamics.*

**Фомін О.В.** – д.т.н., проф. кафедри «Вагони та вагонне господарство» ДУІТ, м. Київ.
**Прокопенко П.М. –** аспірант кафедри «Вагони та вагонне господарство» ДУІТ, м. Київ.
**Горбунов М.І. –** докт. техн. наук, проф. Кафедра залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк.
**Фоміна А.М.** – аспірант кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний університет ім. В.Даля, м. Сєвєродонецьк.

Рецензент: д.т.н., проф. ***Чернецька-Білецка Н. Б.***

Стаття подана 10.04.2019

УДК 656.61.07

# АНАЛІЗ ДИНАМІКИ РОЗВИТКУ ПОКАЗНИКІВ ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ МОРСЬКОГО БІЗНЕСУ (на прикладі переробки контейнерів в Одеському морському торговельному порту)

**Чайковський І. В., Шибаєв О. Г.**

# ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL INDUSTRY INDICATORS OF SEASON ENTERPRISES (for example, container processing in the Odessa commercial sea port)

**Tchaikovsky I., Shibayev O.**

*У статті розглянуто питання щодо аналізу динаміки розвитку показників виробничої діяльності підприємств морського бізнесу (на прикладі переробки контейнерів в Одеському морському торговельному порту). Приведений короткий огляд існуючих підходів до аналізу динамічних рядів. Основні питання, що виникають на етапі вибору виду функції для екстраполяції досліджуваного процесу і можливі підходи до їх вирішення. Використання розглянутих положень щодо аналізу та прогнозуванню дозволяє здійснити розробку практичних моделей, які відображають конкретні умови роботи підприємств та здатні оперативно реагувати на зміни параметрів стану об'єкту управління і на цій основі давати на найближчу перспективу точніші прогнози. Правильність рішення організаційних питань вибору методу прогнозування у кожному конкретному випадку, кожній конкретній області знання залежить від адекватності вживаного методу.*

***Ключові слова:*** *прогноз, екстраполяція, динамічний ряд, аналіз, експоненціальне згладжування, тренд, достовірність, стандартне відхилення.*

**Вступ.** Морські порти і судноплавні підприємства зацікавлені в збільшенні об'ємів вантажообігу. Вони повинні проводити постійну роботу по залученню і утриманню клієнтури, тобто займатися аналізуванням та прогнозуванням, як комплексом заходів, направлених на здійснення і стимулювання своєї ефективної взаємодії з клієнтами.

**Постановка проблеми.** Умови, в яких розгортається виробнича діяльність підприємств морського транспорту, характеризуються крайньою нестабільністю. Внутрішнє і зовнішнє середовищепідприємства відрізняється підвищеним ступенем ентропії і відчуває на собі постійні обурюючи дії стохастичногохарактеру.[1] Зважаючи наце, необхідні нові, такі, що відображають економічну ситуацію в країні, підходи, особливо гнучкі методи, які дозволили б адекватно реагувати на конкретні ситуації на ринку і у внутрішній господарській діяльності підприємства.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми, аналізу динаміки розвитку показників виробничої діяльності транспортних підприємств розглядалися в роботах Є. М. Воєвудського, П. Я. Панаріна, І. І. Брускіна, М. Ф. Сердюка, Б. О. Носова, та ін.. Однак, і сьогодні при проведенні аналізу динаміки розвитку показників виробничої діяльності підприємств морського бізнесу, виникає багато запитань.

**Мета статті.** Для вирішення поставленої проблеми можуть служити аналітично-прогностичні методи.

**Результати досліджень.** При теоретичному дослідженні особливостей різних форм тренду необхідно звернутися до фактичного ряду динаміки, оскільки не завжди можна встановити, якою повинна бути форма тренду з чисто теоретичних міркувань. [2, 3, 4, 5]

Для аналізу і оцінки застосовані наступні типи тренду: експоненціальний, лінійний, логарифмічний, поліноміальний, степеневий.

На рис. 2-6 приведені розрахунки по побудові вищезгаданих видів тренду.

Для оцінки відповідності одержаної функції рівням динамічного ряду використаний показник – достовірність апроксимації , який має наступний вигляд:

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^{n}\left(y_t - \overline{y_t}\right)^2}{\left(\sum_{t=1}^{n} y_t^2\right) - \frac{\left(\sum_{t=1}^{n} y_t^{-2}\right)^2}{n}} \qquad (1)$$

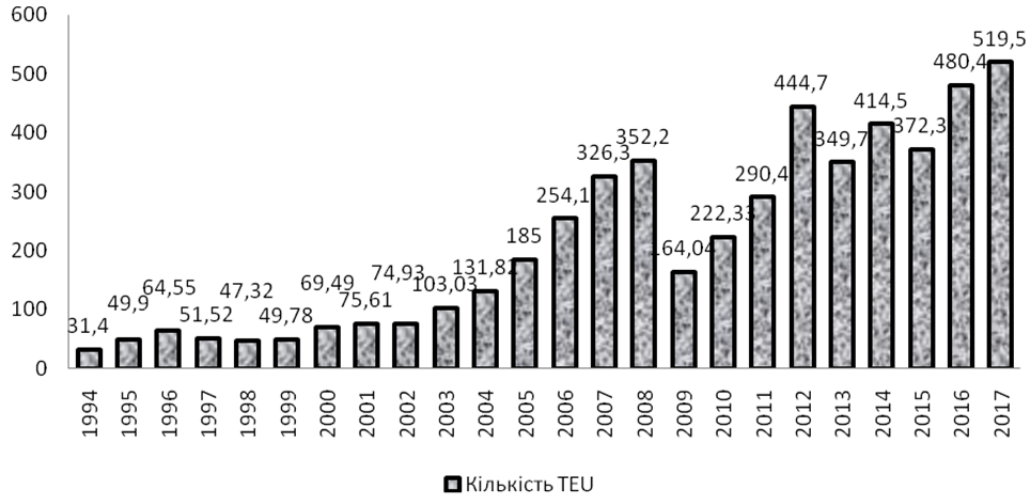



Рис. 1. Початковий динамічний ряд

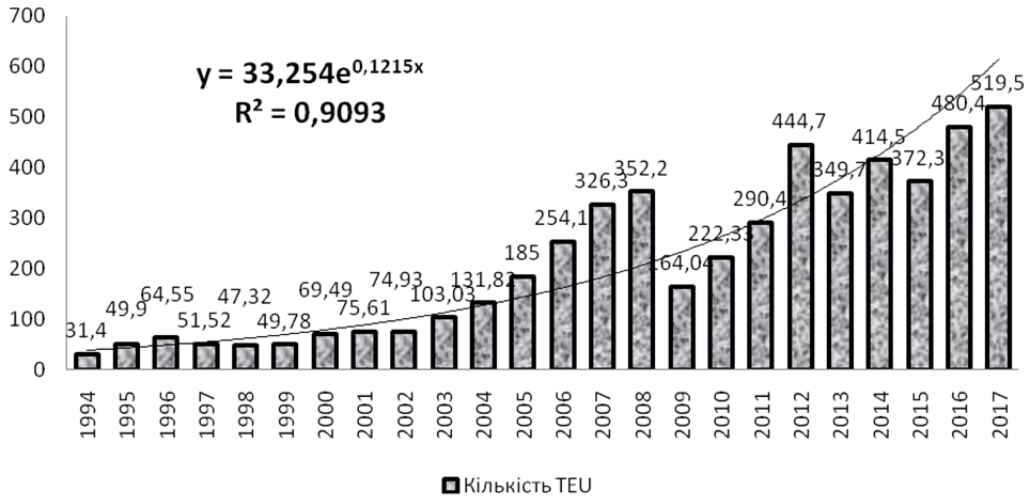



Рис. 2. Експоненціальний тип тренду

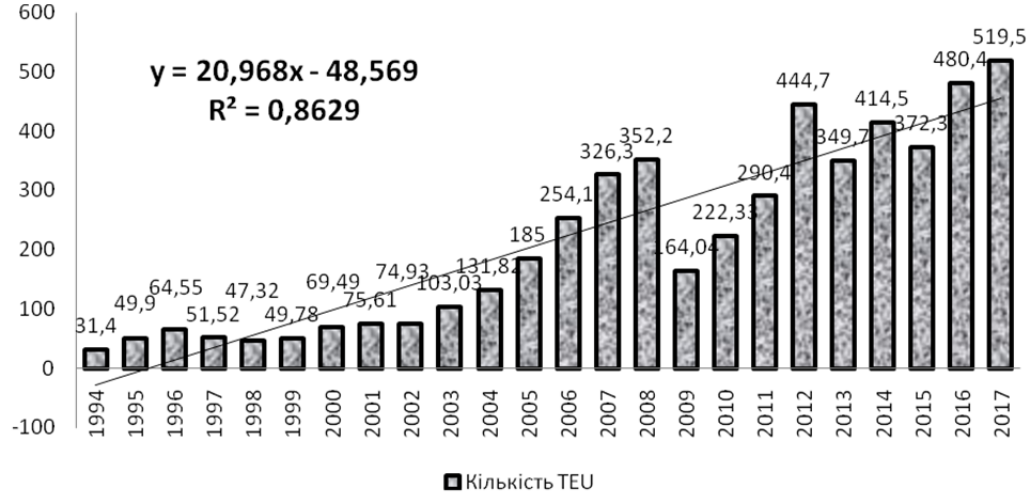



Рис. 3. Лінійний тип тренду

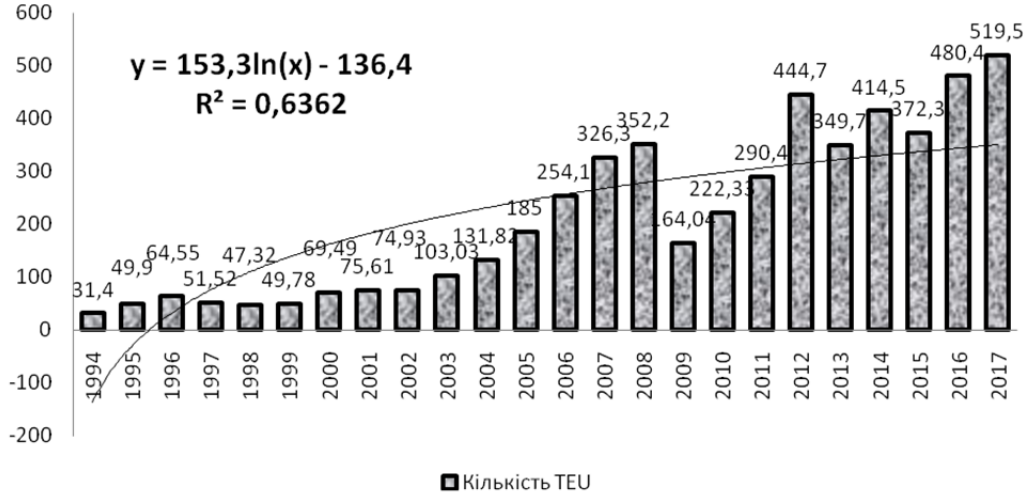



Рис. 4. Логарифмічний тип тренду

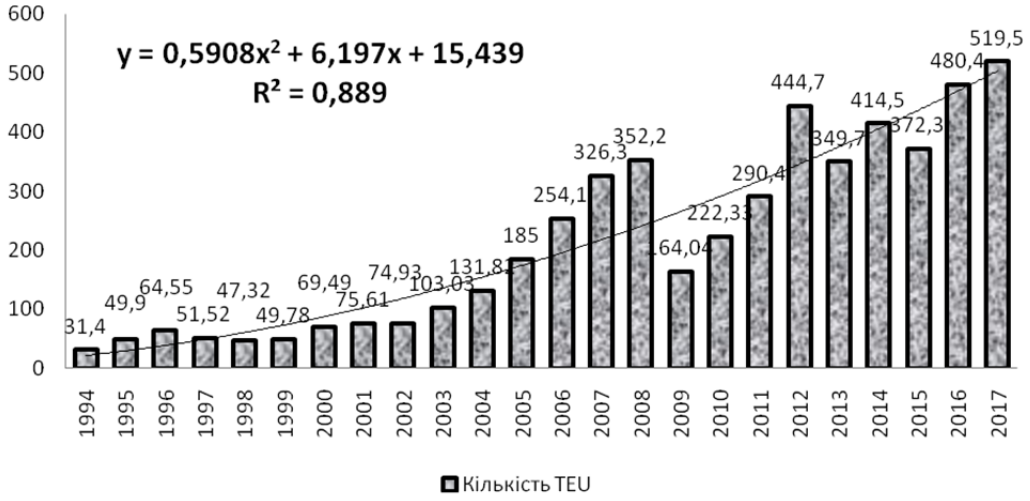



Рис. 5. Поліноміальний тип тренду

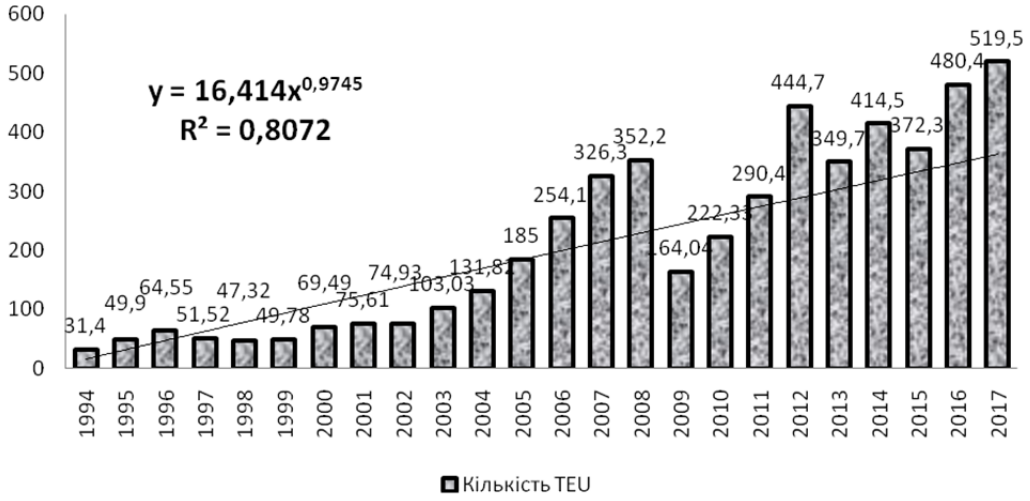



Рис. 6. Степеневий тип тренду

Таблиця 1

**Порівняльний аналіз трендів**

| № | Тип | Рівняння | Величина достовірності апроксимації |
|---|---|---|---|
| 1 | Експоненціальний | **$y = 33{,}25e^{0{,}121x}$** | **$R^2 = 0{,}909$** |
| 2 | Лінійний | $y = 20{,}96x - 48{,}56$ | $R^2 = 0{,}862$ |
| 3 | Логарифмічний | $y = 153{,}3\ln(x) - 136{,}4$ | $R^2 = 0{,}636$ |
| 4 | Поліноміальний | $y = 0{,}590x^2 + 6{,}197x + 15{,}43$ | $R^2 = 0{,}889$ |
| 5 | Степеневий | $y = 16{,}41x^{0{,}974}$ | $R^2 = 0{,}807$ |

Таблиця 2

**Залишкова дисперсія і стандартне відхилення**

| Рік | № | $y_i$ | $y'_i$ | $y_i-y'_i$ | $(y_i-y'_i)^2$ | Ковз. | $\sigma^2$ | σ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1994 | 1 | 31,4 | 37,55 | -6,15 | 37,81 | - | | |
| 1995 | 2 | 49,9 | 42,40 | 7,50 | 56,26 | - | | |
| 1996 | 3 | 64,55 | 47,88 | 16,67 | 278,01 | 48,62 | | |
| 1997 | 4 | 51,52 | 54,06 | -2,54 | 6,45 | 55,32 | | |
| 1998 | 5 | 47,32 | 61,04 | -13,72 | 188,33 | 54,46 | | |
| 1999 | 6 | 49,78 | 68,93 | -19,15 | 366,66 | 49,54 | | |
| 2000 | 7 | 69,49 | 77,83 | -8,34 | 69,59 | 55,53 | | |
| 2001 | 8 | 75,61 | 87,89 | -12,28 | 150,68 | 64,96 | | |
| 2002 | 9 | 74,93 | 99,24 | -24,31 | 590,86 | 73,34 | | |
| 2003 | 10 | 103,03 | 112,06 | -9,03 | 81,47 | 84,52 | | |
| 2004 | 11 | 131,82 | 126,53 | 5,29 | 27,98 | 103,26 | | |
| 2005 | 12 | 185 | 142,87 | 42,13 | 1774,59 | 139,95 | | |
| 2006 | 13 | 254,1 | 161,33 | 92,77 | 8606,42 | 190,31 | 4110,6 | 64,1 |
| 2007 | 14 | 326,3 | 182,17 | 144,13 | 20774,01 | 255,13 | | |
| 2008 | 15 | 352,2 | 205,70 | 146,50 | 21462,63 | 310,87 | | |
| 2009 | 16 | 164,04 | 232,27 | -68,23 | 4655,17 | 280,85 | | |
| 2010 | 17 | 222,33 | 262,27 | -39,94 | 1595,28 | 246,19 | | |
| 2011 | 18 | 290,4 | 296,15 | -5,75 | 33,04 | 225,59 | | |
| 2012 | 19 | 444,7 | 334,40 | 110,30 | 12165,68 | 319,14 | | |
| 2013 | 20 | 349,7 | 377,60 | -27,90 | 778,21 | 361,60 | | |
| 2014 | 21 | 414,5 | 426,37 | -11,87 | 140,91 | 402,97 | | |
| 2015 | 22 | 372,3 | 481,44 | -109,14 | 11912,59 | 378,83 | | |
| 2016 | 23 | 480,4 | 543,63 | -63,23 | 3998,41 | 422,40 | | |
| 2017 | 24 | 519,5 | 613,85 | -94,35 | 8902,67 | 457,40 | | |
| ∑ | 300,00 | 5124,82 | 5075,46 | 49,36 | 98653,71 | - | | |

Зведений результат розрахунків по кожному виду тренду і експоненціальному згладжуванню даного динамічного ряду приведений у табл. 1.

З даних табл. 1 витікає, що для динамічного ряду по критерію максимум значення достовірності апроксимації ($R^2 = 0{,}9093$). Найкращою є експоненціальна залежність:

$$y = 33{,}25e^{0{,}121x} \qquad (2)$$

Ця модель і приймається для проведення аналізу.

Числові значення вантажопереробки контейнерів ($y_i$), розрахунок дисперсії ($\sigma^2$) і стандартного відхилення (σ) приведені у табл. 2.

N = 24; C = 33,25;b = 0,121.

Амплітуда коливань:
max → 146,5; min → -109,14.

Для прогнозування і подальшого аналізу плану перспективної роботи, необхідно провести його аналіз з використанням стандартного відхилення (σ) з метою підвищення його достовірності.

Очікуваний обсяг переробки контейнерів в 2021 році визначається інтервалом 933,821-1062,049 ($y_{28}$ = 997,935 тис. TEU - точковий прогноз).

Проведений прогноз об'ємів вантажопереробки контейнерів і попередній аналіз дозволили сформувати 5 діапазонів, які представлені в табл. 3.

Таблиця 3

**Діапазони вантажопереробки, тис. TEU**

| Діапазон | $Д_1$ | $Д_2$ | $Д_3$ | $Д_4$ | $Д_5$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Значення | менш 870 | 870 – 934 | 934 - 1062 | 1062 – 1126 | більш 1126 |

Як відомо з теорії і проведеного нами аналізу експоненціального дослідження можна констатувати, наступне, що при безлічі можливих значень планових величин, всі значення вантажопотоків, що плануються будуть охоплені інтервалом ±σ, який включатиме 70 % значень, а в інтервалі ±2σ – 90 % можливих значень отриманих величин.

**Висновок.** Запропонований підхід, на відміну від існуючих: охоплює всю сукупність типів трендів; не вимагає спеціальної теоретичної підготовки персоналу і дозволяє застосовувати стандартне (прикладне) програмне забезпечення.

**Література**


1. Л., Верошкина. Контейнерный грузооборот портов на Черном море: кризис преодолели, надо наращивать мощности. Судоходство. 2019., 8 (167), с. 28-30.
2. Елисеева И.И., Юзбавев И.М. Общая теория статистики. [ред.] И.И. Елисеевой. М. : Финансы и статистика, 1996. 366 с.
3. А.И. Харламов, О.Э. Башина, В.Т. Бабурин и др. Общая теория статистики: Статистичкская методология в изучении коммерцеской деятельности. [ред.] О.Э. Бакинов А.А. Спирина. М. : Финансы и статистика, 1996. 296 с.
4. Е.Н., Воевудский. Управление на морском транспорте. М. : Транспорт, 1992. 375 с.
5. Чайковський, І.В. Аналіз динаміки показників роботи транспортних підприємств. Науково-методичний посібник. Одеса : ОНМУ, 2019. 30 с.
6. И.И., Брускин. Статистика морского транспорта. Учеб. пособие для вузов морского транспорта. М. : Транспорт, 1979. 2-е изд., перераб. и доп., 240 с.
7. Сердюк Н.Ф., Носов Б.А., Брускин М.И. Сборник задач по статистике морского транспорта. Учебное пособие для высших учебных заведений Морфлота. М. : Транспорт, 1985. 176 с.
8. В.С., Боровский. Адаптивное прогнозирование параметров состояния объекта управления. Методические указания по проведению практических занятий. Одесса : ОИИМФ, 1990. 27 с.
9. Панарин П.Я. Управление работой флота – Одесса: ОГМУ, 2002. – 152 с.
10. Шибаев А.Г. Подготовка и обоснование решений по управлению перевозками и работой флота морской судоходной компании. - Одесса: «ХОРС», 1998. – 208 с.
11. Шибаев А.Г., Кириллова Е.В., Кириллов Ю.И. Управление работой флота (Основы теории и практики). – Одесса: Феникс, 2012. - 187 с.


**References**


1. L., Veroshkina. Container turnover of ports on the Black Sea: overcame the crisis, it is necessary to increase capacity. Shipping. 2019., 8 (167), p. 28-30.
2. Eliseeva I.I., Yuzbavev I.M. General Theory of statistics. [Ed.] I.I. Eliseeva. M.: Finance and Statistics, 1996. 366 p.
3. A.I. Kharlamov, O.E. Bashina, V.T. Baburin et al. The General Theory of Statistics: Statistical Methodology in the Study of Commercial Activities. [Ed.] O.E. Bakinov A.A. Spirin. M.: Finance and Statistics, 1996. 296 p.
4. E.N., Voevudsky. Management of maritime transport. M.: Transport, 1992. 375 p.
5. Tchaikovsky, I.V. Analysis of the dynamics of performance indicators of transport enterprises. Scientific-methodical in sample. Odessa: ONMU, 2019. 30 p.
6. I.I., Bruskin. Statistics of sea transport. Training manual for universities of maritime transport. M.: Transport, 1979. 2-nd, rewrite and complete, 240 p.
7. Serdyuk N.F., Nosov B.A., Bruskin M.I. Collection of problems for statistics of maritime transport. Educational materials for higher educational institutions of Morflot. M.: Transport, 1985. 176 p.
8. V.S., Borovsky. Adaptive prediction of state parameters of the control object. Guidelines for conducting practical training. Odessa: OIME, 1990 27 p.
9. Panarin P.Ya. Fleet Management - Odessa: OSMU, 2002. - 152 p.
10. Shibaev A.G. Preparation and justification of decisions on the management of shipments and fleet operations of the maritime shipping company. - Odessa: "HORS", 1998. - 208 p.
11. Shibaev A.G., Kirillova E.V., Kirillov Yu.I. Fleet Management (Fundamentals of Theory and Practice). - Odessa: Phoenix, 2012. - 187 p.


**Чайковский И. В., Шибаев А. Г. Анализ динамики развития показателей производственной деятельности предприятий морского бизнеса (на примере переработки контейнеров в Одесском морском торговом порту)**


*В статье рассмотрены вопросы анализа динамики развития показателей производственной деятельности предприятий морского бизнеса (на примере переработки контейнеров в Одесском морском торговом порту). Приведен краткий обзор существующих подходов к анализу динамических рядов. Основные вопросы, возникающие на этапе выбора вида функции для экстраполяции исследуемого процесса и возможные подходы к их решению. Использование рассмотренных положений по анализу и прогнозированию позволяет осуществить разработку практических моделей, которые отражают конкретные условия работы предприятий и способны оперативно реагировать на изменения параметров состояния объекта управления и на этой основе давать на ближайшую перспективу точные прогнозы. Правильность решения организационных вопросов выбора метода прогнозирования в каждом конкретном случае, каждой конкретной области знания зависит от адекватности применяемого метода.*



***Ключевые слова:*** *прогноз, экстраполяция, динамический ряд, анализ, экспоненциальное сглаживание, тренд, достоверность, стандартное отклонение.*


**Tchaikovsky I. V. , Shibayev O. G. Analysis of the dynamics of development of industrial industry indicators of season enterprises (for example, container processing in the Odessa commercial sea port)**


*The article deals with the analysis of the dynamics of development of indices of the production activity of the enterprises of the maritime business (for example, the processing of containers in the Odessa Sea Commercial Port). A brief overview of existing approaches to the analysis of dynamic rows is given. The main questions that arise at the stage of selecting the type of function for extrapolation of the investigated process and possible approaches to their solution. Using the considered provisions for analysis and forecasting allows us to develop practical models that reflect the specific operating conditions of enterprises and are able to respond promptly to changes in the parameters of the state of the object of man-*

*agement, and on this basis to provide more accurate forecasts in the near future. The correctness of the decision of the organizational issues of the choice of the forecasting method in each particular case, each specific area of knowledge depends on the adequacy of the method used.*

***Keywords:*** *forecast extrapolation, time series, analysis, exponential smoothing, trend, accuracy, standard deviation.*

**Чайковський І. В.** – старший викладач кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень» Одеського національного морського університету, м. Одеса, вул. Мечникова, 34, e-mail: chaikovski_ivan@ukr.net.
**Шибаєв О. Г.** – д.т.н., професор, завідувач кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень» Одеського національного морського університету, м. Одеса, вул. Мечникова, 34, e-mail: aleksshibaev54@gmail.com.

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Чернецька-Былецька Н.Б.***

Стаття подана 10.04.2019

УДК 656.23.03

# ВПРОВАДЖЕННЯ ЄДИНОЇ СИСТЕМИ КОДУВАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

**Чернецька-Білецька Н.Б., Баранов І.О.**

# INTRODUCTION SINGLE SYSTEM CODE ROLLING STOCK OF RAILWAY TRANSPORT

**Chernetskaya-Beletskaya N., Baranov I.**

*У статті виконано обґрунтування теоретичної бази єдиного кодування складних технічних систем та створення нового підходу до кодування рухомого складу залізничного транспорту. Встановлено можливість застосування синергетичного підходу в якості перспективного методу розвитку транспортної галузі взагалі і залізничного транспорту зокрема. За підсумками вивчення процесів еволюції в залізничній галузі запропонована систематика транспорту, в якій прийнята спроба зібрати і структурувати всі наявні дані. Запропоновано площинне таксономічне дерево транспортних засобів яке містить системну ієрархію рухомого складу залізничного транспорту.*

***Ключові слова:*** *залізничний транспорт, рухомий склад, систематика, синергетика, таксономічне дерево.*

**Вступ.** Більшість країн в результаті змін перейшло на ринкову систему управління національним господарством. Залізничний транспорт виявився не готовий задовольнити структуру попиту на рухомий склад. Індивідуальний характер приватних власників, поява нових ринків, поглиблення спеціалізації і одночасно міждержавної кооперації виробництв потребує реформування залізничного транспорту. Основні труднощі, з якими зіткнулися власники рухомого складу при використанні мережі залізниць інших держав, − відмінність ширини колії, різні програмні продукти для сигнальних систем і систем контролю тягового рухомого складу, різнорідність систем енергопостачання і роз'єднаність в системах кодового позначення рухомого складу. Тут з'являється й стає актуальним поняття інтероперабельності, що характеризує можливість взаємного (міждержавного) використання мережі залізниць, рухомого складу та об'єктів інфраструктури залізничного транспорту.

В даний час в транспортній галузі здійснюється ряд програм реформування, виконання яких дозволить реально інтегрувати залізничну мережу України в єдину світову транспортну систему. До таких програм доцільно віднести і розробку єдиної системи кодування рухомого складу.

**Постановка проблеми.** Кодові номера рухомого складу залізничного транспорту є найважливішою інформацією для внутрішнього і міждержавного перевізного процесу. Номери вагонів дозволяють здійснювати однозначну ідентифікацію, моніторинг просування вантажів, пошук «втрачених» транспортних одиниць і представляють собою спільну мову для комунікації між залізничними підприємствами, операторами інфраструктури та державними органами.

Активний розвиток в області конструювання автоматичних пристроїв, що зчитують інформацію, призводить до необхідності раціоналізації і коригування способів ідентифікації рухомого складу залізничного транспорту. Для цього необхідне введення єдиної структури позначення тягового, вантажного і пасажирського рухомого складів.

Усвідомлюючи важливість розвитку міжнародних залізничних сполучень, міжнародним співтовариством ведеться інтенсивна розробка взаємоприйнятних підходів з перспективою виходу на світові стандарти і інтеграції національних залізничних транспортних систем в єдину світову систему.

Необхідність стандартизації передбачає розробку ємної структури коду, яка буде мати властивості довготривалості і універсальності щодо різних видів транспорту. Тому в даний час актуальна задача пошуку фундаментальних основ кодування, які допоможуть досягти зазначених цілей і забезпечити конкурентоспроможність залізниць.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Виробники і власники рухомого складу потребують створення довготривалого і універсального ідентифікатора [1, 2]. Тільки стійка система кодування дозволить всім учасникам міжнародного транспортного процесу повністю перейти на неї. В даний час залізниці, хоча і дотримуються існуючого стандарту,

реально вимагають внесення додаткових позначок і коригувань, а часто взагалі застосовують власні внутрішні схеми кодування [2, 3]. Система нумерації країн за схемою МСЗ/ОСЗ добре працювала майже 20 років, протягом яких інші міжнародні організації розробили власні системи кодування країн (наприклад, ISO 3166 для кодів країн [3, 4] ).

**Мета статті.** Метою роботи є обґрунтування теоретичної бази єдиного кодування складних технічних систем та створення нового підходу до кодування рухомого складу залізничного транспорту.

**Результати досліджень.** Існуючий рівень теоретичного обґрунтування кодування рухомого складу, очевидно, невисокий і зводиться до вирішення приватних завдань класифікацій, неприйнятних для вироблення однакового (універсального) способу кодування залізничної інфраструктури. Для вирішення однієї з поставлених в роботі завдань - дослідження теоретичних питань кодування рухомого складу залізничного транспорту та вироблення на цій основі деякої фундаментальної бази на перспективу вирішення проблеми кодування не тільки об'єктів залізничної інфраструктури, а й усіх видів транспорту взагалі, був обраний синергетичний підхід до оцінки еволюції транспорту та його підсистем.

Об'єктом вивчення синергетики є системи з реально дисипативним характером протікання процесів і взаємодії елементів. Система вважається дисипативною, якщо розсіювання енергії в зовнішнє середовище впливає на її поведінку, а впорядковані утворення, що виникли в результаті самоструктуризації нестійкої системи, призводять до якісно нового локально-рівноважного стану.

Аналіз даних дозволив припустити, що розвиток транспортних систем можна назвати еволюцією в синергетичному розумінні [5, 6]. Мається на увазі об'єктивність процесів, наявність рушійних сил усередині самої системи і спадкоємність технічних ідей. Синергетичний підхід до розвитку транспорту взагалі і залізничного транспорту зокрема дав можливість скористатися напрацюваннями, які були досягнуті в інших галузях. Практичні завдання, які стосуються компетенції самоорганізації, в рамках будь-якого іншого підходу не можуть бути вирішені настільки ж ефективно.

У розвитку системи істотну роль відіграють такі компоненти:

- структура та взаємодія елементів, яка дає початок відліку для подальших змін станів системи;
- потоки субстанцій (речовини, енергії, інформації) через зовнішні кордони;
- фізичні, економічні, соціальні та інші параметри.

Біфуркації відбуваються спонтанно, в силу внутрішніх причин, але під впливом штучно створюваних зовнішніх факторів.

З позицій синергетики залізничний транспорт є багаторівневою організаційно-технічною структурою, яка розвивається за власними законами.

Створення класифікації дозволяють фіксувати закономірні зв'язки між класами об'єктів, в цьому аспекті класифікація служить засобом зберігання і пошуку інформації, що міститься в ній самій.

Її структура може бути відображена у вигляді звичайного графа, який використовується для представлення взаємовідносин між об'єктами [7]. Для уявлення ієрархічної класифікації транспортної інфраструктури будемо використовувати спеціальний вид зв'язкових неорієнтованих графів - дерев [8].

Для системного аналізу залізничного транспорту необхідно ввести в розгляд ряд категорій і термінів систематики. Під терміном “таксон” будемо розуміти деяку однорідну групу транспортних об'єктів. Вивченням таксономічних категорій і системи, яка дозволяє побудувати найбільш інформативну, несуперечливу і зручну класифікацію, займається розділ систематики - таксономія. Відносини в вертикалях ієрархічно організованих об'єктів задаються рангами. Структурованість виникає в системі з різномасштабними підсистемами і елементами. Сенс її полягає в природній гармонії відносин типу рівноправності і підпорядкування. На рис. 1 зображено площинне таксономічне дерево транспортних засобів.

За підсумками вивчення процесів еволюції в залізничній галузі розробляється систематика транспорту, в якій прийнята спроба зібрати і структурувати всі наявні дані.

В рамках роботи з усього розмаїття об'єктів інфраструктури буде розглянуто тільки рухомий склад залізничного транспорту, гілка якого на площинному таксономічному дереві транспортних засобів (рис.) виділена окремо.

Безсумнівно, що в найближчому майбутньому буде потрібно оснастити унікальними шифрами також залізничні колії, термінали та інші об'єкти інфраструктури.

Математичною основою систематики служить дерево, у вузлах якого знаходяться багатовимірні матриці, оскільки при величезній кількості взаємопов'язаних елементів адекватне відображення транспортної системи має бути багатомірним. У першому наближенні розмірність пропонованої моделі будь-якої сфери діяльності обмежена трьома координатами, що обумовлено оптимальним співвідношенням між наочністю відображення і кількістю інформації в ньому. У поєднанні з матричної формою подання це дає можливість розкрити безпосередньо взаємозв'язок трьох систематичних рангів ієрархічного структурування, але при цьому проявляється ефект непрозорості тривимірного «кубу». Таке обмеження в разі необхідності долається шляхом додаткового орієнтованого зменшення розмірності матриці.

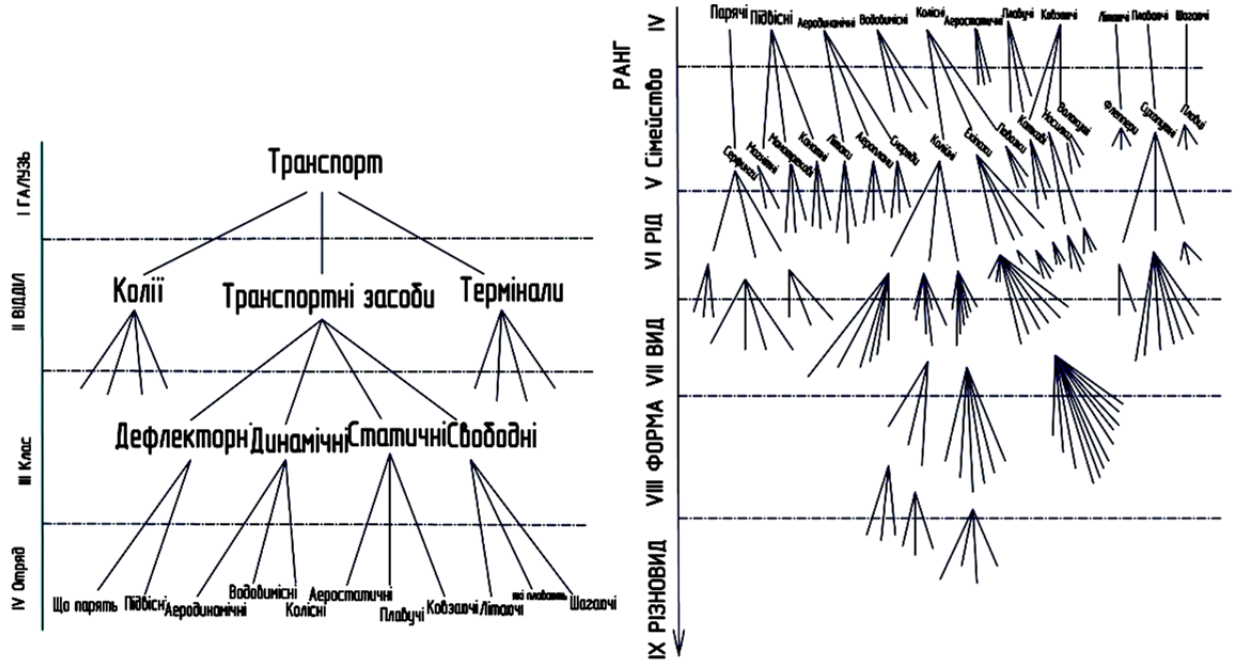



Рис. Площинне таксономічне дерево транспортних засобів

Основу елементарної матриці складають ряди по трьом сусіднім таксономічним рангам. Матриця, що відображає структуру вищого для даної ієрархії рангу I - транспортної галузі, отримала ім'я даного таксономічного дерева. Найбільш загальний її параметр, відповідний на даному етапі розгляду ієрархічних зв'язків вищого рангу II, позначений окремо, деталізація його значень позначена категоріями рангу III. Осередки матриці містять найменування дрібних таксонів (ранг IV) традиційної систематики, що в сукупності включених в розгляд таксономічних координат позначено літерою g. Рангом IV ієрархія систематики, в принципі, не обмежується, проте спроба одночасно врахувати більше трьох параметрів системи привела б до збільшення розмірності матриць і відповідного погіршення їх наочності. Число факторів, які реально впливають на функціонування і розвиток транспорту, нескінченно велике, звідси зрозуміла стратегія побудови дерева тривимірних матриць з орієнтацією на метод вкладення [7, 8]. Це є природним з позицій синергетичних властивостей самоподібності структури об'єктів. Термін «самоподоба» означає, що будова об'єкта складається з складових його частин, а ступінь заповнювання матриць призводить до кількісної характеристики - фрактальної розмірності.

На підставі аналізу досліджень розробників транспортної систематики можна стверджувати, що введення багатовимірності в графічну модель ієрархічного дерева призводить до синергетичного ефекту емерджентності, що полягає в набутті нової якості - можливості об'єднання систематик усіх систем. Унікальною властивістю є логічний взаємозв’язок систематик самих різних галузей людської діяльності.

**Висновок.** Універсальність моделей і методів, що демонструються синергетикою, обґрунтовує вибір теоретичної бази розробки заявленої в роботі більш досконалої системи кодування. Явище самоорганізації, що лежить в основі синергетики, дозволяє зрозуміти, що буде відбуватися з транспортною системою при підвищенні її складності.

Багатовимірна систематика дозволяє зручним і наочним способом найбільш широко охопити всю сукупність транспортних одиниць і інфраструктуру, а при необхідності деталізувати їх властивості на будь-яких таксономічних рівнях ієрархії.

Використання систематики допомагає створювати ефективні методи пізнання об'єкта, а також адекватні способи управління його функціонуванням.

У залізничній галузі був відсутній сам термін «систематика». Виконані дослідження, а також представлена робота, дозволить переломити цю тенденцію, і можливості універсальної об'ємної систематики знайдуть застосування в різних областях діяльності людини.

**Література**

1. Балалаев А.С. Проблемы взаимодействия железнодорожного и морского транспорта и путей их решения. Сборник «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». Материалы Всероссийской научной конференции. II том. Красноярск: изд-во «Гротеск», 2005. с. 15-20.
2. Белый О.В., Кокаев О.Г., Попов С. А. Архитектура и методология транспортных систем. - СПб: Элмор, 2002. - 246 с.
3. Воронцов Н.Н. Эволюция, видообразование, система органического мира: Избр. тр. / Н.Н. Воронцов; отв. ред. Е.А. Ляпунова. - М.: Наука, 2005. - 365 с.

4. Интернет-технологии в управлении инфраструктурой // Железные дороги мира. № 3, 2006, с. 13-17 (C. Grayley. Railway Technical Review, 2005, №3, p. 31-34).
5. Зябиров Х.Ш. Развивать электронный документооборот при перевозках грузов в международном сообщении. // Железнодорожный транспорт. № 7, 2005, с. 12-15.
6. Информационные системы: Учеб. пособие / Под ред. В.Н. Волковой, Б.И. Кузина. Изд. 2-е, перераб. и доп. - СПб.:Изд-во СПбГПУ, 2004. -224 с.
7. Карнаухова В.К., Сенаторов В.Н., Сидоровская Т.И. Системный анализ: учебное пособие. - Иркутск: Иркут, ун-т, 2005. - 94 с.
8. Мухопад Ю.Ф. Микроэлектронные информационно-управляющие системы : учеб. пособие. -Иркутск: ИрГУПС, 2004. -404 с.

**R e f e r e n c e s**

1. Balalaev A.C. Problems interaction of railway and sea transport and their solutions. Collection "Resource-saving technologies in railway transport". Materials of the All-Russian Scientific Conference. Volume II Krasnoyarsk: Grotesk publishing house, 2005. p. 15-20.
2. Bely O., Kokaev O., Popov S. Architecture and methodology of transport systems. - SPb: Elmore, 2002. - 246 p.
3. Vorontsov H. Evolution, speciation, system of organic world: Fav. tr. / H. Vorontsov; rep. ed. E. Lyapunov. - M.: Science, 2005. - 365 p.
4. Internet technologies in infrastructure management // World Railways. Number 3, 2006, p. 13-17 (S. Grayley. Railway Technical Review, 2005, No. 3, p. 31-34).
5. Zyabirov Kh.Sh. To develop electronic document flow for carriage of goods in international traffic. // Railway transport. № 7, 2005, p. 12-15.
6. Information systems: Textbook. manual / Ed. V. Volkova, B. Cousin. Ed. 2nd, Pererab. and add. - SPb.: Publishing house SPbGPU, 2004. -224 p.
7. Karnaukhova V., Senatorov V., Sidorovskaya T. System analysis: textbook. - Irkutsk: Irkut, Univ., 2005. - 94 p.
8. Mukhopad Yu. Microelectronic management information systems: studies. allowance. - Irkutsk: Ir-GUPS, 2004. - 404 p.

\

**Чернецкая-Белецкая Н.Б., Баранов И.О. Внедрение единой системы кодирования подвижного состава железнодорожного транспорта.**

*В статье выполнено обоснование теоретической базы единого кодирования сложных технических систем и создание нового подхода к кодированию подвижного состава железнодорожного транспорта. Установлена возможность применения синергетического подхода в качестве перспективного метода развития транспортной отрасли вцелом и железнодорожного транспорта в частности. На основе изучения процессов эволюции в железнодорожной отрасли предложена систематика транспорта, в которой принята попытка собрать и структурировать все имеющиеся данные. Предложено плоскостное таксономическое дерево транспортных средств которое содержит системную иерархию подвижного состава железнодорожного транспорта.*

***Ключевые слова:*** *железнодорожный транспорт, подвижной состав, систематика, синергетика, таксономическое дерево.*

**Chernetskaya-Beletskaya N., Baranov I. Introduction single system code rolling stock of railway transport.**

*In the article substantiation theoretical basis unified coding complex technical systems and creation new approach to coding rolling stock of railway transport has been fulfilled. The possibility using synergetic approach as perspective method of development transport industry in general and rail transport in particular was established. On basis study of evolution processes in railway industry, taxonomy transport was proposed, in which an attempt was made collect and structure all available data. The plane taxonomic tree of vehicles is proposed which contains a system hierarchy rolling stock of railway transport.*

*The versatility models and methods shown in synergetics substantiates choice of theoretical basis for development more advanced coding system stated in work. The phenomenon self-organization, which is basis synergy, allows us to understand what will happen transport system with increasing its complexity. Multidimensional taxonomy allows most comprehensively and comprehensively reach whole set of transport units and infrastructure, and if necessary, elaborate their properties at any taxonomic levels hierarchy.*

***Keywords:*** *railway transport, rolling stock, taxonomy, synergetics, taxonomic tree.*

**Чернецька-Білецька Н.Б.** – д.т.н., проф., зав. кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля.
**Баранов І.О.** – старший викладач кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля. mail: baranov_90@ukr.net

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Соколов В.І.***

Стаття подана 08.04.2019

УДК 656.07

# УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ У ГАЛУЗІ МІЖНАРОДНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

**Шворнікова Г.М., Сорока С.І.**

# PROJECT MANAGEMENT IN THE FIELD OF INTERNATIONAL RAIL TRANSPORT

**Shvornikova H., Soroka S.**

*У статті розглянуто питання, пов'язані із сферою проектного менеджменту у галузі залізничних перевезень. Зокрема, розглянуто методи та моделі управління проектами при організації перевезень вантажів залізничним транспортом у міжнародному сполученні. У роботі зазначено, що при управлінні проектами міжнародних залізничних перевезень слід використовувати класичні інструменти теорії управління проектами. Також у статті проаналізовано існуючі моделі та методи управління проектами при перевезенні вантажів міжнародними транспортними коридорами. Розглянуто модель державно-приватного партнерства (ДПП) та досвід її використання у країнах Європи, визначено роль якості транспортних послуг в управлінні проектами, визначено позитивні та негативні аспекти.*

***Ключові слова:*** *управління проектами, міжнародні перевезення, залізничний транспорт, державно-приватне партнерство, якість, ризик.*

**Вступ.** Поняття «проект» і «управління проектом» в сучасній економічній ситуації тісно пов'язані з необхідністю управління змінами. Управління проектами в наш час є невід'ємною частиною діяльності багатьох підприємств у різних галузях. Реалізація проектів входить до складу діяльності будь-якої організації.

Методологія управління проектами застосовується у всіх сферах цілеспрямованої і проектно-орієнтованої діяльності. Застосування методів управління проектами дає можливість найбільш точно формулювати цілі інвестицій і планувати інвестиційну діяльність, враховувати можливі ризики, які можуть виникнути в ході реалізації проекту, здійснювати оптимізацію наявних ресурсів, здійснювати контроль за виконанням наміченого плану, проводити аналіз поточних показників і вчасно коригувати хід робіт, накопичувати досвід в сфері реалізації проектів і використовувати його в подальшій діяльності [1, 2].

**Постановка проблеми.** Залізничний транспорт виступає однією з найважливіших галузей економіки, що відіграє ключову роль в забезпеченні транспортних потреб населення і підприємств.

Метою інвестицій в залізничне господарство є забезпечення прав громадян на свободу пересування, а також створення умов і можливостей для вільного пересування товарів і послуг на основі формування мережі залізничниць. Доставка вантажів повинна забезпечувати задоволення потреб населення, підприємств і держави максимально швидкому, дешевому і безпечному переміщенні людей, вантажів, послуг і доставки їх в цілісному та якісному стані до потрібного місця [3].

Підприємства залізничного транспорту досить активно звертаються до проектного менеджменту, що обумовлено об'єктивними процесами, які відбуваються в цій галузі. А саме, процесами реформування і інноваційних перетворень за допомогою реалізації різного роду проектів.

Так, метою стратегічного плану розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року є визначення варіантів стратегій зміни бізнес-моделі українських залізниць, враховуючи необхідність залучення суттєвих інвестицій у відновлення інфраструктури і рухомого складу, а також інтеграції української залізниці з залізничними системами Європейського Союзу. Крім того, до основних аспектів можна віднести формування умов для транспортного забезпечення соціально-економічного розвитку, зростання мобільності населення та оптимізації руху товарів, зміцнення економічного суверенітету, національної безпеки і обороноздатності країни, зниження сукупних транспортних витрат економіки, підвищення конкурентоспроможності національної економіки на основі інноваційного розвитку залізничного транспорту, гармонійно пов'язаного з розвитком інших галузей економіки, видів транспорту і регіонів країни [4].

Залізничний транспорт повинен стати одним з лідерів в області впровадження інноваційної техніки і технологій, забезпечити кластерний розвиток транспортного машинобудування та інших взаємопов'язаних галузей економіки. Залізниці покликані стати привабливою сферою вкладення приватних інвестицій, в тому числі у будівництво залізничних ліній,

розвиток перевізної, експедиторсько-логістичної діяльності, оперування рухомим складом і розвиток сервісного обслуговування. Все це допоможе вийти на новий рівень зовнішньоекономічних відносин.

При здійсненні зовнішньоекономічної діяльності перед підприємствами постає необхідність виконання цілого комплексу складних та специфічних транспортних операцій, пов'язаних з переміщенням великої кількості різноманітних товарів на великі відстані від об'єктів виробництва до місць споживання.

Головним завданням системи управління міжнародними транспортними операціями підприємства є підвищення ефективності її функціонування за рахунок подальшої оптимізації її структури, широкого застосування сучасних організаційних форм і технологій, удосконалення правових норм і підвищення ролі керівних органів системи, які повніше відповідатимуть вимогам ринку послуг.

Усі зазначені стратегічні орієнтири планується досягти за допомогою багатоетапних процесів модернізації підприємств залізничної сфери.

Головним аспектом інвестиційного залізничного проекту є аспект часу. Життєвий цикл інвестиційного залізничного транспортного проекту, як і будь-якого інвестиційного проекту, включає в себе передінвестиційну, інвестиційну, експлуатаційну фази, а також основні ознаки проекту.

Таким чином, для транспортного забезпечення проектів міжнародного перевезення вантажів, що реалізуються у галузі залізничних послуг, слід використовувати класичні інструменти теорії управління проектами. При створенні різних видів проектів транспортного забезпечення, використовуючи елементи управління проектами, слід дотримуватися таких етапів як формулювання ідеї проекту, постановка цілей і задач, поетапна їх реалізація та створення продукту проекту (транспортної послуги). Надання якісних транспортних послуг при перевезенні вантажів як реалізація продукту проекту є динамічним процесом, що відбувається за умов невизначеності (впливу внутрішніх та зовнішніх факторів), має обмеження у часі та характеризується наявними ресурсами і особливостями експлуатації продукту проекту [5, 6].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання управління інвестиційними проектами досить широко розглядаються у вітчизняній та зарубіжній літературі. Зокрема, проблемні аспекти управління проектами розглядаються у роботах Т.А. Воркута, В.А. Рача, І.В. Чумаченка, В.Ю. Креймера, D.C. Montgomery та ін.

Слід зазначити, що аспекти управління проектами транспортного забезпечення міжнародних вантажних перевезень на даному етапі ще не мають достатньо комплексного наукового обґрунтування.

Таким чином, питання управління проектами перевезень вантажів по міжнародних транспортних коридорах (МТК) потребують подальшого системного вивчення. Незважаючи на широкий спектр проведених досліджень, проблема оцінки окремих видів проектів перевезення вантажів у міжнародному сполученні має ряд невирішених питань, а ефективна методика для оцінювання таких проектів відсутня.

**Мета статті.** З урахуванням вищенаведеного, метою статті є аналіз підходів, моделей та методів управління проектами при виконанні вантажних перевезень у міжнародному сполученні залізничним транспортом.

**Результати досліджень.** Транспортна система в цілому і ряд її ключових сегментів, таких як інфраструктура залізничного транспорту, відчувають гострий дефіцит коштів. Реальний рівень інвестицій в інфраструктуру галузі становить не більше 1,5% ВВП.

Мінімалізм бюджетної політики між обмеженими можливостями держави в умовах кризи та зростаючими потребами суспільства у високоякісних транспортних послугах є поводом для вдосконалення організації управління розвитком транспортної інфраструктури, в тому числі шляхом адаптації інструментів корпоративного менеджменту, досвіду і можливостей приватних компаній з управління транспортними інфраструктурними проектами. Очевидно, що тільки за рахунок державних фінансових ресурсів повністю вирішити інфраструктурні проблеми не можливо.

Досвід реалізації проектів розвитку залізничної інфраструктури в Європі свідчить про те, що бюджетні кошти в середньому складають більше половини всіх витрат проекту ( табл. ); жодна з існуючих залізничних магістралей не побудована виключно за рахунок коштів приватних інвесторів [7, 8].

Таблиця

**Державне фінансування закордонних залізничних проектів**

| Країна | Проект | Доля фінансування, % |
|---|---|---|
| Іспанія | Perp.-Figueres | 57 |
| Франція | LGV SEA HSR | 68 |
| Індія | Delhi ARL | 50 |
| Австралія | Adel.-Darwin | 57 |
| Австралія | Sydney ARL | 80 |
| Тайвань | Taiwan HSR | 84 |

Незважаючи на те, що приватний бізнес відіграє значну роль в інфраструктурних проектах, практика показує, що успішна участь приватного сектора в цих проектах передбачає розробку і впровадження зрозумілих проектних організаційних і фінансових схем. У зв'язку з цим має місце той фак, що, незважаючи на накопичений за кордоном досвід в питаннях реалізації великих інвестиційних проектів, єдиного підходу до визначення поняття державно-приватного партнерства (ДПП) все ще не склалося.

Серед основних переваг державно-приватного партнерства можна виділити можливість отримання синергетичного ефекту, вираженого у збільшенні продуктивності праці, правильному розподілі завдань і ризиків, дотриманні принципу життєвого

циклу, підвищення якості, економічності, результативності та ефективності наданих послуг за рахунок реалізації можливостей держави (поліпшення механізмів стимулювання і підтримки) і приватного бізнесу (новітні технології та інновації) [8, 9].

Але є й недоліки цієї моделі. Основною проблемою інвестиційного співробітництва в сфері розвитку інфраструктури є питання можливого розподілу витрат і ризиків між учасниками.

Зокрема, транспортні інфраструктурні проекти в рамках моделі ДПП зазвичай пов'язані з цілою низкою різних ризиків. Деякі ризики специфічні і характерні тільки для інфраструктурних проектів на залізничному транспорті.

Комплексні ризики обумовлені унікальністю транспортних інфраструктурних проектів, а отже, тривалістю періоду проектування, що викликає труднощі в оцінці витрат на реалізацію проекту, неможливість досягнення запланованих соціальних і економічних ефектів в контрактні терміни і в рамках відведених бюджетів часто через навмисних «стратегічних спотворень» або помилок, неоптимального розподілу ризиків, прав і обов'язків по концесійному угодою, завищених очікувань держави і приватних інвесторов (згідно зі статистикою різниця між планованим і реальним пасажиропотоком становить від 25 до 85% 18) та ін.

Однією з особливостей управління інфраструктурними проектами є те, що з метою підвищення ефективності управління та фінансової прийнятності проект зазвичай ділиться на кілька субпроектів (наприклад планування, проектування, будівництво, експлуатація). Але транспортна інфраструктура являє собою мережу, яка використовується для здійснення перевезень, причому кожному її елементу притаманні свої характеристики, і приватні інвестори повинні бути впевнені, що всі необхідні для старту або реалізації проекту роботи та заходи будуть своєчасно профінансовано і проведені або їх втрати будуть компенсовані в повному розмірі.

Тому ДПП модель управління проектами у галузі залізничних міжнародних перевезень не є цілком прийнятною.

У великій кількості дослідницьких робіт досить детально вивчено питання щодо використання залучених інвестиційних ресурсів до формування та розвитку мережі міжнародних транспортних коридорів (МТК) в Україні. У деяких роботах проведено економічну оцінку ефективності інвестицій у розвиток МТК, що проходять територією України. Інвестиційне оцінювання ефективності створення та функціонування мережі міжнародних транспортних коридорів можна проводити за показниками суспільної, галузевої, бюджетної ефективності та за окремими проектами [9].

Однак слід зазначити, що проблеми управління проектами організації вантажних перевезень міжнародними транспортними коридорами до цього часу ще були не досить комплексно та детально проаналізовані з наукової точки зору. Також проблемним є аспект якості надання транспортних послуг у ланцюзі доставки вантажів за маршрутами міжнародних транспортних коридорів.

Підвищення якості надання транспортних послуг у проектах перевезень має базуватися на взаємодії трьох основних складових: управління проектами перевезення, технології та розвитку інфраструктури (рис.).

На сьогоднішній день майже не існує методів та моделей узагальненої оцінки великого комплексу факторів, що впливають на ефективність доставки вантажів, а саме швидкості транспортного засобу, рівня сервісу, безпеки, терміну доставки, відстані перевезення, вартості вантажу та ін.

Процес оцінки рівня якості транспортних послуг, що надаються споживачеві, є складним і трудомістким. Причиною цього є відсутність чітких критеріїв вимірювання та неможливість використання кількісних методів визначення рівня якості послуг, а також із суб'єктивністю очікування й сприйняття надаваних послуг у мережі МТК [10, 11].

Слід зазначити, що з підвищенням вимог до якості доставки вантажів у міжнародному сполученні у відправників постає питання, чи вчасно та надійно буде доставлено вантаж до вантажоодержувача. Саме тому визначення рівня якості обслуговування клієнтів транспорту на мережі МТК, передусім, має значення для перевізників. Тільки при існуванні потрібних умов перевізники вантажу обирають для перевезення маршрут, що проходить конкретним транспортним коридором.

Складність побудови математичних залежностей щодо оцінки якості транспортних послуг у проектах перевезень викликана наявністю великої кількості факторів впливу. Це говорить про те, що використання при управління проектами залізничних міжнародних перевезень моделей, які враховують якість наданих послуг, вимагає подальшого дослідження та вдосконалення.

Враховуючи важливу роль розвитку МТК у налагодженні міжнародних транспортних зв’язків України з країнами Європи та Азії і організації транзитних перевезень вантажів через свою територію, питанню вдосконалення функціонування транспортних коридорів та впровадження їх до транспортної мережі закордонних країн приділяється значна увага з боку Українського Уряду та Міністерства інфраструктури України.

Важливе значення для створення міжнародних транспортних коридорів має виконання досліджень з питань прогнозування обсягів вантажних перевезень, формування інфраструктури транспорту та ухвалення рішень щодо її вдосконалення, включаючи організацію функціонування міжнародного сполучення, розвиток різних видів транспорту, підвищення транзитного потенціалу та ефективності його використання та ін.

Для дослідження інтенсивності вантажоперевезення вченими запропоновано метод, що полягає у використанні статистичних даних щодо обсягів перевезення вантажів для їх прогнозування шляхом застосуванням математичного моделювання та різних методів.

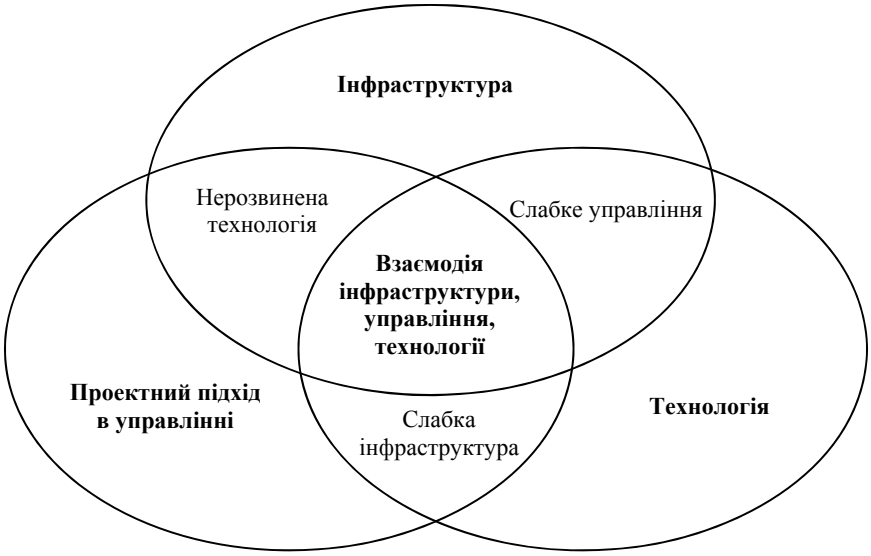



Рис. Взаємодія складових якості транспортних послуг у проектах перевезень вантажів

У вітчизняній та зарубіжній практиці зазвичай застосовуються, евристичні методи визначення перспективних обсягів у проектах перевезень вантажів, які засновані на використанні експертних оцінок. Це зумовлено низькою забезпеченістю необхідною інформацією та її недостатньою деталізацією [9].

В теперішній час для визначення фактичних обсягів перевезень та інтенсивності руху по ділянках застосовується надзвичайно дорогий натурний облік. Тому буде доцільно використовувати методи статистики і математичного моделювання для розрахунку фактичних обсягів перевезень вантажів міжнародними транспортними коридорами.

**Висновки.** На даному етапі було створено багату кількість різних моделей управління проектами та програмами у сфері міжнародних вантажних залізничних перевезень. Але ці моделі, створені на різних підходах в управлінні проектами, зорієнтовані на вирішення окремих проектів транспортної галузі і не націлені на вирішення задачі управління якістю транспортних послуг у проектах перевезення по маршрутах МТК. Тому очевидною є необхідність продовження розробки теоретичних підходів, моделей та методів оцінки якості надання транспортних послуг у проектах перевезення вантажів у міжнародному сполученні.

**Література**

1. Тимошинова, И. Л. Разработка и управление проектом по обновлению внеоборотных активов транспортной компании // Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2013. — Режим доступа: http://conf.sfukras.ru/sites/mn2013/section013.html, свободный.
2. Кук С. Хелен. Управление проектами / С. Хелен Кук, Карен Тейт; [пер. с англ. М.С. Павловой]. – М.: Поколение, 2007. – 432 с.
3. Крылов Э.И. Особенности реализации инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте / Э.И. Крылов, В.А. Варфоломеева // Электронный научный журнал «Исследовано в России» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://zhurnal.ape.relarn.ru /articles/2007/113.pdf
4. Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 року № 2174 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://zakon2.rada.gov.ua/ laws/show/2174" 2010"% D1%80
5. Лебідь В.В. Основні принципи реалізації проектів перевезення у міжнародному сполученні / В.В. Лебідь // Тези XIII Міжнародної конф. «PM Kiev'16», Київ, 13-14.05.2016 р. «Управління проектами в розвитку суспільства» на тему «Проекти в умовах глобальних загроз, ризиків і викликів». – К.: КНУБА, 2016 – С. 142-143.
6. Рудковский И.Ф. Решение задач логистического менеджмента на основе проектно-ориентированного управления / И.Ф. Рудковский // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета [Электронный ресурс]. - Санкт-Петербург, 2013. - Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-zadach-logisticheskogo-menedzhmenta-na-osnove-proektno-orientirovannogo-upravleniya-1
7. Coats J. Book review: Megaprojects and Risk: An Anatomy of Ambition by Flyvbjerg B., Bruzelius N., Rothengatter W. Cambridge, UK, 2003, 207 p. URL: http://josephcoates.com/pdf_files/268_Megaprojects_and _Risk. pdf.
8. Малицкая Е.А. Организационно-экономический механизм управления инфраструктурными проектами (на примере железнодорожного транспорта) / Е.А. Малицкая // Стратегия развития экономики. – 40(181). – 2012. – С. 37-49
9. Федорчук В.В. Аналіз числових методів пошуку оптимальних рішень для оцінки функціонування транспортних комплексів / В.В. Федорчук // Збірка тез доповідей LXVII наук.-практ. конф. науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів НТУ / М-во освіти і науки України, національний транспортний університет. – К.: НТУ, 2010 – С. 186.
10. Лебідь В.В. Підходи до прийняття оптимального рішення щодо вибору проекту перевезення вантажів /

В.В. Лебідь, Н.Т. Кунда // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2016) [Збірка матеріалів VIII Міжнар. наук.-практ. конференції (24-26 травня 2016 р., м. Херсон)] : Херсонська державна морська академія, 2016. – С.25-28.
11. ISO 9001:2008 Quality management systems – Requirements. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.iso.org/iso/ru/catalogue_detailscsnumber=46486

**R e f e r e n c e s**

1. Timoshinova, I. L. Razrabotka i upravlenie proektom po obnovleniju vneoborotnyh aktivov transportnoj kompanii // Molodezh i nauka: sbornik materialov IX Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh s mezhdunarodnym uchastiem, posvjashhennoj 385-letiju so dnja osnovanija g. Krasnojarska [Jelektronnyj resurs]. — Krasnojarsk: Sibirskij federalnyj un-t, 2013. - Rezhim dostupa: http://conf.sfukras.ru/sites/mn2013/section013.html, svobodnyj.
2. Kuk S. Helen. Upravlenie proektami / S. Helen Kuk, Karen Tejt; [per. s angl. M.S. Pavlovoj]. – M.: Pokolenie, 2007. – 432 s.
3. Krylov Je.I. Osobennosti realizacii investicionnyh proektov na zheleznodorozhnom transporte / Je.I. Krylov, V.A. Varfolomeeva // Jelektronnyj nauchnyj zhurnal «Issledovano v Rossii» [Jelektronnyj resurs]. - Rezhim dostupa: http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2007/113.pdf
4. Pro skhvalennia Transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2020 roku: rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 20 zhovtnia 2010 roku № 2174 [Elektronnyi resurs]. — Rezhym dostupu: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2174"2010"%D1%80
5. Lebid V.V. Osnovni pryntsypy realizatsii proektiv perevezennia u mizhnarodnomu spoluchenni / V.V. Lebid // Tezy XIII Mizhnarodnoi konf. «PM Kiev16», Kyiv, 13-14.05.2016 r. «Upravlinnia proektamy v rozvytku suspilstva» na temu «Proekty v umovakh hlobalnykh zahroz, ryzykiv i vyklykiv». – K.: KNUBA, 2016 – S. 142-143.
6. Rudkovskij I.F. Reshenie zadach logisticheskogo menedzhmenta na osnove proektno-orientirovannogo upravlenija / I.F. Rudkovskij // Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo jekonomicheskogo universiteta [Jelektronnyj resurs]. - Sankt-Peterburg, 2013. - Rezhim dostupa: https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-zadach-logisticheskogo-menedzhmenta-na-osnove-proektno-orientirovannogo-upravleniya-1
7. Coats J. Book review: Megaprojects and Risk: An Anatomy of Ambition by Flyvbjerg B., Bruzelius N., Rothengatter W. Cambridge, UK, 2003, 207 p. URL: http://josephcoates. com/pdf_ files/268_Megaprojects _and_Risk. pdf.
8. Malickaja E.A. Organizacionno-jekonomicheskij mehanizm upravlenija infrastrukturnymi proektami (na primere zheleznodorozhnogo transporta) / E.A. Malic-kaja // Strategija razvitija jekonomiki. – 40(181). – 2012. – S. 37-49
9. Fedorchuk V.V. Analiz chyslovykh metodiv poshuku optymalnykh rishen dlia otsinky funktsionuvannia transportnykh kompleksiv / V.V. Fedorchuk // Zbirka tez dopovidei LXVII nauk.-prakt. konf. naukovo-pedahohichnykh pratsivnykiv, aspirantiv, studentiv ta strukturnykh pidrozdiliv NTU / M-vo osvity i nauky Ukrainy, natsionalnyi transportnyi universytet. – K.: NTU, 2010 – S. 186.
10. Lebid V.V. Pidkhody do pryiniattia optymalnoho rishennia shchodo vyboru proektu perevezennia vantazhiv / V.V. Lebid, N.T. Kunda // Suchasni informatsiini ta innovatsiini tekhnolohii na transporti (MINTT – 2016) [Zbirka materialiv VIII Mizhnar. nauk.-prakt. konfere-ntsii (24-26 travnia 2016 r., m. Kherson)] : Khersonska derzhavna morska akademiia, 2016. – S.25-28.
11. ISO 9001:2008 Quality management systems – Requirements. - [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: www.iso.org/iso/ru/catalogue_detailscsnumber=46486

**Шворникова А.М., Сорока С.И. Управление проектами в области международных железнодорожных перевозок.**

*В статье рассмотрены вопросы, связанные со сферой проектного менеджмента в области железнодорожных перевозок. В частности, рассмотрены методы и модели управления проектами при организации перевозок грузов железнодорожным транспортом в международном сообщении. В работе отмечено, что при управлении проектами международных железнодорожных перевозок следует использовать классические инструменты теории управления проектами. Также в статье проанализированы существующие модели и методы управления проектами при перевозке грузов международными транспортными коридорами. Рассмотрена модель государственно-частного партнерства (ГЧП) и опыт ее использования в странах Европы, определена роль качества транспортных услуг в управлении проектами, определены положительные и отрицательные аспекты.*

***Ключевые слова:*** *управление проектами, международные перевозки, железнодорожный транспорт, государственно-частное партнерство, качество, риск.*

**Shvornikova H., Soroka S. Project management in the field of international rail transport.**

*The article deals with issues related to the scope of project management in the field of rail transport. In particular, the methods and models of project management in organizing the carriage of goods by rail in international traffic are considered. It is noted in the work that when managing international railway transportation projects one should use classical tools of the theory of project management. The article also analyzes the existing models and methods of project management in the carriage of goods along the routes of international transport corridors. The model of public-private partnership and the experience of its use in European countries are considered, the role of transport service quality in project management is defined, and positive and negative aspects are identified. The model of interaction of the main components of the quality of transport services in the projects of cargo transportation is considered. In addition, the issues of the degree of risk impact on the effectiveness of international rail transport projects were considered. It was determined that the models created on the basis of various approaches in project management, focused on solving individual projects of the transport industry and are not aimed at solving the problem of managing the quality of transport services in projects of transportation along the routes of international transport corridors.*

***Keywords:*** *project management, international transportation, railway transport, public-private partnership, quality, risk.*

**Шворнікова Г.М.** – к.т.н., доцент, доцент кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: shvorni@gmail.com
**Сорока С.І.** – к.т.н., доцент, доцент кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

*Рецензент*: д.т.н., проф. ***Чернецька-Білецька Н.Б.***

Стаття подана 10.04.2019.

УДК 621.87

# АНАЛІЗ ВПЛИВУ МЕХАНІЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИВОДУ ПРИ ГАЛЬМУВАННІ НА ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ

**Шевченко С.І., Полупан Є.В.**

# ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE DRIVE DURING BRAKING ON DYNAMIC LOADS

**Shevchenko S., Polupan E.**

*У статті розглянуто результати теоретичного аналізу, впливу механічної характеристики механізму пересування мостового крану в процесі гальмування, на величину динамічного навантаження яке виникає в металоконструкції крана. Наведено приклад, моделювання процесу гальмування механізму пересування мостового крану, вантажопідйомністю 15 тонн. Розглянуто варіанти гальмування механізму пересування мостового крану стандартним колодковим гальмом, ступінчастим гальмуванням, гальмуванням противовключенням електродвигуна механізмі пересування крану і комбіноване гальмування.*

***Ключові слова:*** *мостовий кран, гальмівна характеристика, динамічні навантаження, процес гальмування, гальмівний момент.*

**Вступ.** Мостові крани відносяться до машин підвищеної небезпеки, недотримання встановлених правил їх експлуатації і обслуговування спричиняє не тільки порушення виробничого і технологічного процесів, але приводить до серйозних аварій, матеріального збитку, а іноді до людських жертв. Одним з відповідальних вузлів механізмів крану, є автоматичні нормально закриті гальмові пристрої, тому що їм за короткі строки необхідно перетворювати кінетичну енергію механізму в теплову, без втрат своєї працездатності та стабільності гальмування. Найчастіше застосовувані автоматичні нормально закриті гальмові пристрої мають недоліки [1-3], що в значній мірі впливає на динамічні навантаження, які виникають в металоконструкції крану при гальмуванні [4-6].

**Постановка проблеми.** При експлуатації мостових кранів спостерігається виникнення залишкових деформацій і втомні тріщини, які накопичуються і розвиваються в металоконструкції крана. Однією з причин виникнення даного явища, є надто «жорсткі» характеристики перехідного процесу гальмування механізму пересування крану, які супроводжуються різким підвищенням додаткових динамічних навантажень коливального характеру і негативно позначаються на весь робочий цикл крану. Одним з напрямків вирішення цього завдання, є використання раціональних параметрів перехідного процесу гальмування механізму пересування крану. У зв'язку з цим, дослідження впливу гальмівних характеристики механізму пересування крану на динамічні навантаження які виникають в його металоконструкції, є актуальною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз робіт [1-8] показав, що інерційні навантаження, що виникають у металоконструкції крана при гальмуванні механізму пересування, складаються з коливань вантажу висячого на канатах і коливань головних балок металевої конструкції крана. Високочастотні коливання приводу не позначаються на низькочастотних коливаннях металоконструкції і вантажу. Тому дослідження процесу гальмування крану з достатньою для практичних розрахунків точністю, можна виконати на дискретній трьох масовій двох зв'язковій динамічній моделі (рис. 1), що враховує основні параметри реальної конструкції мостового крану. При моделюванні прийняті наступні допущення:

- вантаж розглядається як зосереджений, з масою в центрі ваги;
- гнучкий підвіс вантажу замінений пружнім зв'язком з умовною горизонтальною жорсткістю (що приводить до підвищення навантажень на 4…5 %);
- зневажаємо зазорами в приводі механізму пересування крану (що приводить до зменшення навантажень на 2…5%);
- сила опору пересуванню у процесі гальмування не змінюється;
- пробуксовка коліс відсутня.

Відзначимо, що в даній моделі вантажний візок розташований у середині прольоту моста, тільки в цьому випадку горизонтальне інерційне навантаження в металоконструкції крана приймає максима-

льні значення. Використання такої розрахункової схеми виправдане, оскільки положення вантажного візка практично не впливає на відхилення вантажу від вертикалі, тому що частота його коливань суттєво нижче частоти пружних коливань металоконструкції і тривалості процесу гальмування, а рівень динамічних навантажень на металоконструкцію при переміщенні візка до кінцевих балок зменшується.

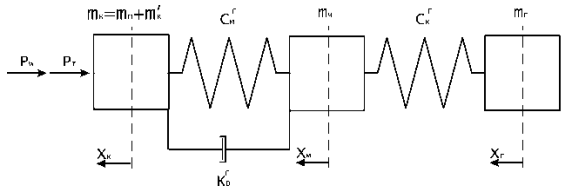


Рис. 1. Трьох масова двох зв'язкова динамічна модель

**Мета статті.** Мета роботи полягає в оцінці впливу гальмової характеристики механізму пересування крану, на величину максимального горизонтального інерційного навантаження виникаючого в металоконструкції головних балок і максимальну амплітуду відхилення вантажу від вертикалі.

**Основний зміст.** Процес гальмування крана складний і характеризується безліччю параметрів, визначні з яких є [1-8]: час гальмування $t_T$, величина максимального горизонтального інерційного навантаження на металоконструкцію $P_m^{max}$ (характеризуюча динамічне навантаження), максимальна амплітуда відхилення вантажу від вертикалі після зупинки крана $A^{max}$. Зазначені параметри всебічно описують процес гальмування і багато в чому визначають експлуатаційні характеристики мостового крану. Величина $P_m^{max}$ ураховує як власні коливання металоконструкції, так і коливання вантажу і безпосередньо впливає на надійність і довговічність металоконструкції крану. Максимальна амплітуда $A^{max}$ характеризує оброблюваність вантажу і пов'язана з необхідною точністю зупинки крану, а разом із часом гальмування $t_T$ впливає на тривалість робочого циклу.

Рух, представленої на рисунку 1 динамічної моделі крану, описується системою диференціальних рівнянь [1]:

$$\begin{cases} m_к \cdot \ddot{x}_к + k_D^э \cdot (\dot{x}_к - \dot{x}_м) + \\ +C_м^э \cdot (x_к - x_м) + P_г + P_W = 0 \\ m_м \cdot \ddot{x}_м - k_D^э \cdot (\dot{x}_к - \dot{x}_м) - \\ -C_м^э \cdot (x_к - x_м) + C_к^э \cdot (x_м - x_г) = 0 \\ m_г \cdot \ddot{x}_г - C_к^э \cdot (x_м - x_г) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Для того щоб оцінити вплив процесу гальмування на динамічні навантаження які виникають в металоконструкції крану, розглянемо гальмування механізму пересування крану по різних механічних характеристиках, які забезпечуються: стандартним, ступінчастим, противовимкненням двигуна, змішаним гальмуванням. Як приклад, виконаємо моделювання процесу гальмування мостового крану загального призначення вантажопідйомністю *15/3 т* прольотом *26 м,* виробництва заводу « Підйомник» ГОСТ3332-54, технічні характеристики і розрахункові значення якого представлені в таблиці 1. При моделюванні всі початкові умови процесу гальмування для різних механічних характеристик прийняті однаковими згідно таблиці. Інтегрування систе-ми диференціальних рівнянь (1) виконувалося чисельним методом з використанням персонального комп'ютеру та програм Mathcad та Matlab. Для кожного варіанта методом Рунге-Кутта вирішувалася система рівнянь (1) з постійним кроком інтегрування рівним *0,0025 с.* На кожному кроці інтегрування обчислювалися поточні значення $V_к$, $P_m$ і $A$ для $t>0$, які зрівнювалися з попередніми значеннями і більше значення записувалося. У результаті чисельного інтегрування системи рівнянь обчислюються значення параметрів $V_к$, $P_m^{max}$ для $t>0$, $A^{max}$ для $t>t_T$, і $t_T$ які характеризують один з варіантів гальмування крана по одній з механічних характеристик.

Таблиця

**Характеристики мостового крану вантажо підйомністю 15 т прольотом 26 м ГОСТ3332-54**

| Технічна характеристика | Позначення | Числове значення |
|---|---|---|
| Вантажопідйомність, *т* | $Q$ | *15,000* |
| Маса крана, *т* | $m_{кр}$ | *35,266* |
| Проліт крана, *м* | $L$ | *26* |
| Висота підйому вантажу, *м* | $H$ | *8* |
| Потужність двигуна механізму пересування, *кВт* | $N$ | *7,5×2* |
| Частота обертання ротора двигуна, *хв*$^{-1}$ | $n_д$ | *695* |
| Передатне відношення привода пересування | $U_м$ | *20,49* |
| Радіус ходового колеса, *м* | $r_{хк}$ | *0,35* |
| Номінальна швидкість пересування крана, *м/с* | $V_к$ | *1,26* |
| Наведені маси, *кг* | $m_к$<br>$m_м$<br>$m_г$ | *21901*<br>*16962*<br>*15000* |
| Коефіцієнти жорсткості, *Н/м* | $c_м$<br>$c_к$ | *6237498*<br>*18393* |
| Коефіцієнт демпфірування, *Н·с/м* | $k^э_D$ | *292* |
| Опір пересуванню крана, *кН* | $PW$ | *9,228* |
| Наведена до ходових коліс гальмова сила привода, *кН* | $P_г$ | *17,42* |

У результаті моделювання процесу гальмування шляхом рішення диференціальних рівнянь (1) при стандартному гальмуванні, з гальмівним моментом $M_T$=*175* Н м, отримані графічні залежності перехідного процесу які представлені на рисунку 2. Наведена до поступального руху крана гальмова си-

ла привода при цьому дорівнювала $P_г$=*17,42* кН, та визначалася по формулі:

$$P_г = \frac{M_T \cdot U_м \cdot \eta_м}{r_{хк}}. \qquad (2)$$

Аналіз отриманих графіків показує, що в результаті гальмування крана колодковим гальмом величина максимального горизонтального інерційного навантаження на металоконструкцію становить $P_м^{max}$=*31,22* кН, максимальна амплітуда відхилення вантажу від вертикалі після зупинки крана $A^{max}$=*0,50* м, при цьому гальмівний шлях $l_T$=*1,51* м, та час гальмування $t_T$=*2,76* с.

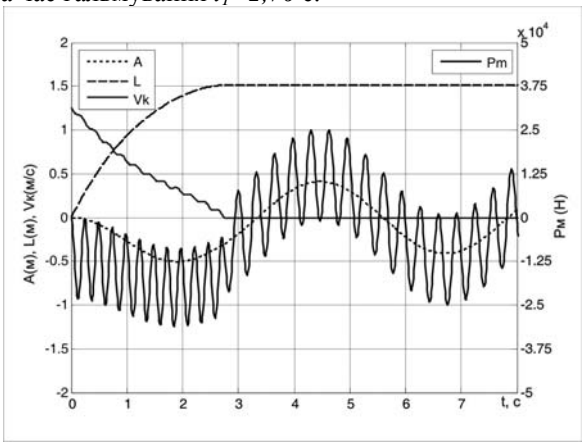



Рис. 2. Гальмування крана колодковим гальмом $M_T$=*350 Н м*

Графік гальмування крана за допомогою гальмових пристроїв, що забезпечують ступінчате гальмування, з оптимізованими параметрами механічної характеристики [9], представлений на рисунку 3. Гальмовий момент першої ступені для двох гальм $M_{T1}$=*160* Н м (45% від номінального $M_T$=*350* Н м) та час роботи першої ступені $t_1$=*1,6* с.

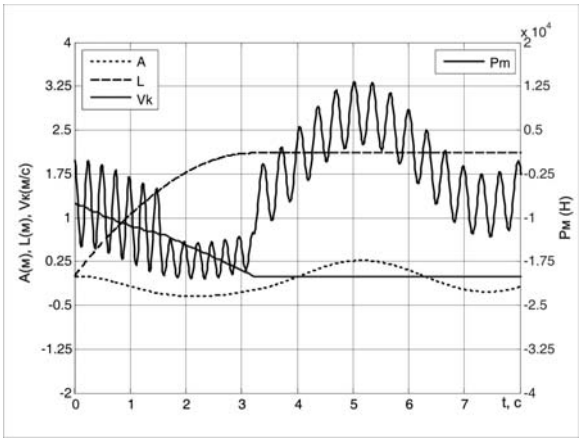



Рис. 3. Ступінчате гальмування крана $M_{T1}$=*160 Н м*, $t_1$=*1,6 с*, $M_T$=*350 Нм*

Наведена до поступального руху крана гальмова сила привода $P_г$ в режимі ступінчатого гальмування описується рівнянням:

$$P_г = \begin{cases} P_{г1} = \dfrac{M_{T1} \cdot U_м \cdot \eta_м}{r_{хк}} & при\ t \le t_1 \\ P_{г2} = \dfrac{M_T \cdot U_м \cdot \eta_м}{r_{хк}} & при\ t > t_1 \end{cases}. \qquad (3)$$

Внаслідок гальмування по даній механічній характеристиці отримані наступні значення: величина максимального горизонтального інерційного навантаження на металоконструкцію $P_м^{max}$=*20,51* кН, максимальна амплітуда відхилення вантажу від вертикалі після зупинки крана $A^{max}$=*0,35* м, гальмовий шлях $l_T$=*2,11* м, при часі гальмування $t_T$=*3,23* с.

Поряд з наведеними характеристиками гальмування, у практиці експлуатації мостових кранів досить широко використовується гальмування механізму пересування противновключенням електродвигуна, хоча даний вид гальмування не рекомендується. Механічна характеристика приводу пересування в режимах противовключення, залежить від встановленого на приводі електродвигуна. У нашому випадку встановлений електродвигун МТ-311-8, із кратністю максимального моменту$\lambda_к$=*2,5*, максимальним моментом $M_к$=*265* Н м, і синхронною частотою обертання ротора двигуна $n_0$=*750* хв[1]. Рівняння наведеної гальмівної сили привода в режимі противовключення, має вигляд:

$$P_г\left(M_к, S_к, V_к^{'}\right) = \frac{2 \cdot M_к \cdot S_{кq} \cdot V_0 \cdot U_м \cdot \eta_м}{r_{хк} \cdot \left(\left(V_0 + V_к^{'}\right) + \dfrac{S_{кq}^2 \cdot V_0^2}{V_0 + V_к^{'}}\right)} \qquad (4)$$

де $S_{кq}$ – критичне ковзання на *q-ой* механічній характеристиці;

$V_0$ – швидкість пересування крана, відповідно до синхронної частоти обертання ротора двигуна, *м/с*;

$V_к$ – поточне значення швидкості пересування крана, *м/с*.

Номінальне ковзання при гальмовому режимі визначається за виразом:

$$S_н = \frac{n_0 - n_д}{n_0}.$$

Тоді згідно [10], критичне ковзання:

$$S_{кq} = S_н \cdot \left(\lambda_к + \sqrt{\lambda_к^{\,2} - 1}\right).$$

Швидкість пересування крана, відповідна до синхронної частоти обертання ротора двигуна, визначається по формулі:

$$V_0 = \frac{V_к \cdot n_0}{n_д}$$

Розраховані механічні характеристики привода пересування крана с електродвигуном МТ-311-8 у режимі гальмування противовключенням представ-

лені на рисунку 4. Гальмування противовключенням здійснюємо по шостій механічній характеристиці, тому що вона найбільше близько підходить по величині до наведеної до ходових коліс гальмівної сили привода $P_г$=*17,42*кН, і становить $P_г$=*16,92* кН. Критичне ковзання на даної механічної характеристиці дорівнює $S_{кб}$=*0,363*, а швидкість пересування крана, відповідна до синхронної частоти обертання ротора двигуна $V_0$=*1,36* м/с.

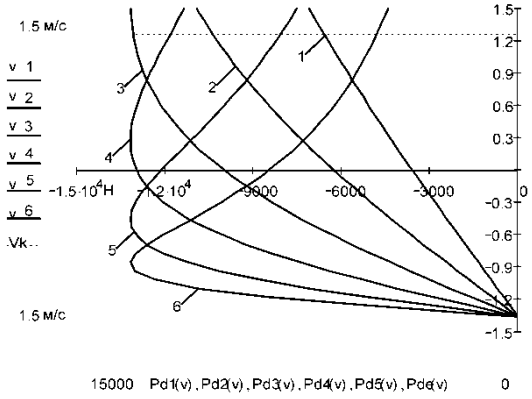



Рис. 4. Механічні характеристики приводу в режимі гальмування противовключенням

У результаті розрахунків системи диференціальних рівнянь з урахуванням наведеної гальмівної сили привода в режимі противовключення отримані графіки перехідного процесу гальмування (рис. 5).

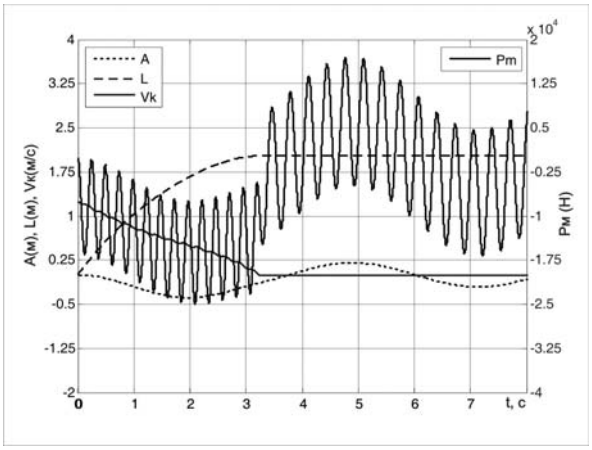



Рис. 5. Гальмування противовключенням по механічній характеристиці $S_{кб}$=*0,363*, $P_г$=*16,92 кН*

Аналіз представлених графіків показує, що в результаті гальмування механізму пересування крана противовключенням збільшується величина максимального горизонтального інерційного навантаження на металоконструкцію $P_m^{max}$=*24,97* кН та час гальмування $t_T$=*3,24 с* а гальмівний шлях $l_T$=*2,02* м, і максимальна амплітуда відхилення вантажу від вертикалі після зупинки крана $A^{max}$=*0,31* м зменшується в порівнянні зі ступінчатим гальмуванням. Однак слід зазначити, що наведена гальмова сила привода в даному режимі гальмування менше ніж розрахункова на 500 Н, а також гальмування противовключенням не рекомендується і пов'язане зі значними енерговитратами.

При комбінованому гальмуванні, гальмування крану здійснюється у два етапи. На першому етапі гальмування здійснюється противовключенням електродвигуна, що створює найкращі умови динамічного навантаження металоконструкції і елементів приводу, а далі, при досягненні краном певної зниженої швидкості $V_c$, двигун відключається, і спрацьовують колодкові гальма (з гальмівним моментом $M_T$) до повної зупинки крана. У цьому випадку, після зупинки крана, величина наведена до ходових коліс гальмівної сили приводу буде рівна $P_г$=*17,42* кН. Наведена до поступального руху крана гальмівна сила приводу $P_г$ в даному режимі запишеться у вигляді:

$$P_г\left(M_к, S_к, V_к^{'}\right)=\begin{cases}\dfrac{2\cdot M_к\cdot S_{кq}\cdot V_0\cdot U_м\cdot\eta_м}{r_{хк}\cdot\left(\left(V_0+V_к^{'}\right)+\dfrac{S_{кq}^2\cdot V_0^2}{V_0+V_к^{'}}\right)} & при\ \ V_к^{'}>V_c\\ \dfrac{M_T\cdot U_м\cdot\eta_м}{r_{хк}} & при\ \ V_к^{'}\le V_c\end{cases} \quad (5)$$

Провівши додаткові дослідження, знаходимо, що найбільш раціональне комбіноване гальмування, реалізується, на першому етапі по першій механічній характеристиці $S_{к1}$=*7,184*, на другому – стандартними колодковими гальмами, відрегульованими на гальмівний момент $M_T$=*350* Н м. Час роботи першого етапу складає $t_1$=*1,7* с. У результаті розрахунків отримані графічні залежності перехідного процесу комбінованого гальмування, представлені на рисунку 6.

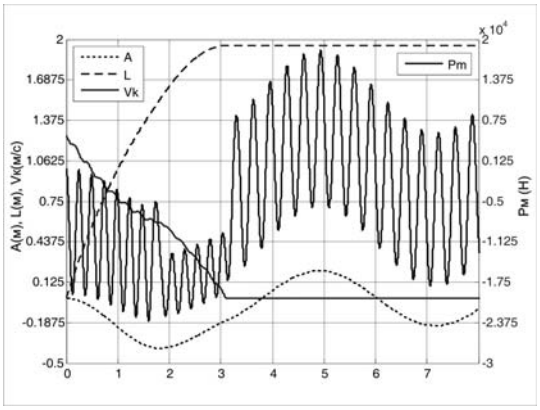



Рис. 6. Комбіноване гальмування противовключенням та колодковим гальмом ($S_{к1}$=*7,184*, $t_1$=*1,7 з* $P_г$=*17,42 кН)*

При представленому виді гальмування отримані наступні значення: величина максимального горизонтального інерційного навантаження на металоконструкцію $P_m^{max}$=*23,46* кН, максимальна амплітуда відхилення вантажу від вертикалі після зупин-

ки крана $A^{max}=0,39$ м, гальмовий шлях $l_T=1,95$ м, при часі гальмування $t_T=3,11$ с.

**Висновок.** У результаті аналізу процесу гальмування механізму пересування мостового крану по розглянутих варіантах (2-5), можна зробити наступні висновки:

- доведена можливість поліпшення техніко-експлуатаційних характеристик вантажопідйомних кранів що перебувають в експлуатації, шляхом раціонального керування приводу механізму пересування крана в гальмівних режимах;

- виконаний порівняльний аналіз різних способів гальмування (стандартного, динамічного, комбінованого і ступінчатого) показав доцільність розробки систем і гальмових пристроїв здатних забезпечувати різний характер зміни гальмівного моменту в процесі гальмування механізму пересування крану для створення раціонального гальмування;

- на прикладі визначено, що шляхом формування раціональної гальмівної характеристики привода пересування крана при ступінчатому гальмуванні, знижується величина горизонтального інерційного навантаження в середньому на 34%, з незначним збільшенням часу гальмування на 14% у порівнянні з гальмуванням, реалізованим стандартними колодковими гальмами. Слід також зазначити, що максимальна амплітуда відхилення вантажу від вертикалі після зупинки крана, також знижується на 30%, що дозволяє скоротити час обробки вантажу.

**Література**


1. Будиков Л.Я. Многопараметрический анализ динамики грузоподъемных кранов мостового типа. – Луганск: Изд-во ВУГУ, 1997. – 210 с.
2. Гайдамака В.Ф. Работа грузоподъемных машин при бесступенчатом торможении. – Харьков: Вища школа, 1988. – 141 с.
3. Старченко В.Н., Шевченко С.И., Кобзева Л.И., Мушкаев Я.В., Игнатьев О.Л. Повышение эффективности работы мостового крана в процессе торможения // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля №5(123) 2008. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2008. – С. 112-117.
4. Dresig H., Vulfson J.I. Dynamik der Mechanismen. – Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1989. – 370 p.
5. Лобов Н.А. Динамика грузоподъемных кранов. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
6. Dresig, H.; Holzweißig, F.: Maschinendynamik. 12. aktualisierte Auflage, Springer- Verlag Berlin – Heidelberg, Nov. 2016, ISBN 978-3-662-52712-2; ISBN 978-3-662-52713-9 (eBook)
7. Dresig, H.; Fidlin, A.: Schwingungen mechanischer Antriebssysteme (Modellbildung, Berechnung, Analyse, Synthese). Springer Verlag Berlin-Heidelberg, 3.überarbeitete und erweiterte Auflage, Okt. 2014.ISBN 978-3-642-24116-1 ; ISBN 978-3-642-24117-8 (eBook)
8. Шевченко С.І. Підвищення ефективності роботи вантажопідйомних кранів мостового типу. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2017. - №3(233). – С.230-233.
9. Шевченко С.И. Снижение динамических нагрузок кранов мостового типа путем применения тормозных устройств с самоусилением // Науково-технічний та виробничий журнал "Підйомно-транспортна техніка" №4 2008. – Дніпропетровськ: Вид-во ДІІТ, 2008. – С. 38-46.
10. Автоматизированный электропривод/ Под общ. ред. Н. Ф Ильинского, М.Г. Юнькова. - М.: Энергоатомиздат, 1990. – 544 с.


**References**


1. Budikov L.Ya. Multiple parameter analysis of dynamics of load-lifting cranes of bridge type. – Lugansk: Look-in the EUGU, 1997. – 210 p.
2. Gaydamaka V. F. Operation of load-lifting machines at stepless braking. – Kharkiv: Vishcha school, 1988. – 141p.
3. Starchenko V. N., Shevchenko S. I., Kobzeva L. I., Mushkayev Ya. V., Ignatyev O. L. Increase in overall performance of the bridge crane in the course of braking//Vesnik Of Volodymyr Dal East Ukranian National University No. 5(123) 2008. – Lugansk: Look-in the EUNU of. V. Dahl, 2008. – P. 112-117.
4. Dresig H., Vulfson J.I. Dynamik der Mechanismen. – Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1989. – 370 p.
5. Lobov N. A. Dynamics of load-lifting cranes. – M.: Mechanical engineering, 1987. – 160 p.
6. Dresig, H.; Holzweißig, F.: Maschinendynamik. 12. aktualisierte Auflage, Springer- Verlag Berlin – Heidelberg, Nov. 2016, ISBN 978-3-662-52712-2; ISBN 978-3-662-52713-9 (eBook)
7. Dresig, H.; Fidlin, A.: Schwingungen mechanischer Antriebssysteme (Modellbildung, Berechnung, Analyse, Synthese). Springer Verlag Berlin-Heidelberg, 3.überarbeitete und erweiterte Auflage, Okt. 2014.ISBN 978-3-642-24116-1 ; ISBN 978-3-642-24117-8 (eBook)
8. Shevchenko S.I. Improvement of the efficiency of the vantezohid-lifting cranes of the bridge type. //Vesnik Of Volodymyr Dal East Ukranian National University No 3 (233) 2017. – Severodonetsk: Look-in the EUNU of. V. Dahl, 2017. - P.230-233.
9. Shevchenko S. I. Decrease in dynamic loadings of cranes of bridge type by use of brake mechanisms with self-strengthening//Naukovo-tekhn_chny that the virobnichy magazine "Podyomno-transportna of a Tekhnik" No. 4 2008. – Dnepropetrovsk: Look-in DIIT, 2008. – P. 38-46.
10. Automated electric drive / Under the general. edit N.F Il'inskogo, M.G. Yunkova - Moscow: Energoatomizdat, 1990. - 544 p.



**Шевченко С.И., Полупан Е.В. Анализ влияния механической характеристики привода при торможении на динамические загрузки.**

*В статье приведены результаты теоретического анализа, влияния процесса торможения механизма передвижения крана мостового типа, на величину горизонтальных инерционных нагрузок возникающих в главных балках и максимальную амплитуду раскачивания груза. В работе выполнен пример, моделирование процесса торможения механизма передвижения крана, грузоподъемностью 15 тонн по различным механическим характеристикам. Рассмотрены варианты торможения: стандартным нормально замкнутым тормозом, ступенчатым тормозом, торможение противовключением электродвигателя механизма передвижения и комбинированное.*



***Ключевые слова:*** *крана мостового типа, процесс торможения механизма передвижения, динамические*

*нагрузки в металлоконструкции крана, тормозной момент, время торможения крана.*

**Shevchenko S., Polupan E. Analysis of the influence of the mechanical characteristics of the drive during braking on dynamic loads.**

*The article discusses the results of a theoretical analysis of the influence of the mechanical characteristics of the bridge crane movement mechanism in the process of braking, on the magnitude of the dynamic load arising in the metal structures of the crane bridge. An example is given of the modeling of the braking process of the bridge crane movement mechanism, with a lifting capacity of 15 tons. The options for braking the movement mechanism of a bridge crane with a standard shoe brake, stepped braking, braking by the anti-switching of the motor of the moving mechanism and combined braking are considered. The evaluation of the considered methods of braking the mechanism of movement of the crane, taking into account the basic parameters of the transition process: the braking time; the magnitude of the maximum horizontal inertial load in the metal; maximum amplitude of deviation of the load from the vertical after stopping the bridge crane. Using the example, it was determined that by forming a rational braking characteristic of the crane movement drive, it is possible to reduce the horizontal inertial load and reduce the maximum amplitude of load deviation from the vertical after the crane stops, with a slight increase in braking time.*

***Keywords:*** *the bridge crane, dynamic loadings, process of braking, the brake momen., braking torque, time of braking of the bridge crane*

**Полупан Е.В.** – к.т.н., доц. кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк.

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Чернецька-Білецька Н.Б.***

Стаття подана 10.04.2019

УДК 629.4.018

# МЕТОДИКА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗУ

**Яровий Р.О., Чернецька-Білецька Н.Б.**

# METHOD OF IMITATION MODELING OF MANIFIED THERMAL WORK MODES

**Yarovoy R., Chernetska–Biletska N.**

*Метою дослідження є створення методики імітаційного моделювання показників роботи маневрового тепловозу при роботі на сортувальній горці. Запропонований новій підхід для визначення техніко-економічних показників маневрової роботи на сортувальній горці. Розроблено методику та створена імітаційна математична модель процесів, яка заснована на виконанні тягових розрахунків для типових маневрових операцій, що складаються з набору основних характерних поодиноких режимів, таки як робота дизеля на холостому ходу при стоянках, розгін, рух з постійною швидкістю, робота дизеля на холостому ходу при русі по інерції, гальмування та електродинамічне гальмування. Кожен полурейс включає в себе різні за поєднанням поодинокі режими роботи маневрового тепловоза, які залежать від випадкових величин. Для зниження енергетичних витрат на маневрову роботу розглянуто питання ефективності застосування накопичувачів енергії на маневрових локомотивах типу ЧМЕ3Т. Проведений порівняльний аналіз витрат палива та динамічних показників при використанні накопичувача енергії у силовому ланцюзі та без нього.*

***Ключові слова:*** *рухомий склад, маневрова робота, тяговий розрахунок, модернізація маневрових локомотивів, електродинамічне гальмування, накопичення енергії, гібридний привід.*

**Вступ**. У статті запропоновано новий підхід оцінки техніко-економічних показників роботи тепловоза шляхом математичного моделювання процесів, що відбуваються в силовій установці і агрегатах при маневровій роботі. Процес експлуатації уявімо як стохастичне безліч елементарних тягових операцій, в яких процеси в силовій установці можуть бути змодельовані з будь-яким ступенем точності. Такий підхід дозволяє отримати загальну оцінку техніко-економічних показників роботи тепловоза в експлуатації.

Аналіз структури витрат паливно-енергетичних ресурсів за всіма технічними засобів і технологій здійснення перевізного процесу на залізничному транспорті дозволяє визначити основні напрямки підвищення енергетичної ефективності і енергозбереження. Основним заходом, спрямованим на зниження рівня споживання паливно-енергетичних ресурсів тяговим рухомим складом, є його модернізація з пониженням питомої витрати палива на одиницю виконаної роботи і підвищенням ККД, а також його заміна на більш сучасний і енергоефективний рухомий склад, [2].

Одним з інноваційних енергозберігаючих напрямків є застосування енергоємних накопичувачів енергії на маневрових локомотивах. Режими роботи з постійно змінним навантаженням і періодичним поєднанням тяги і гальмування в значній мірі схильні до високоефективного використання накопичувачів. Їх застосування покращує проходження перехідних процесів одночасно в перетворювачах і приводі локомотивів. Вони також дозволять в найбільш повній мірі використовувати енергію рекуперативного гальмування.

**Постановка проблеми**. Основна проблема визначення ефективності використання накопичувачів енергії у маневрових тепловозах полягає у встановленні зв’язку між параметрами накопичувача енергії та споживанням палива маневровим локомотивом.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботі Коссов Е.Е.[6] вирішував задачу підвищення якості робочого процесу дизеля в несталих режимах за рахунок використання накопичувача енергії у силовій мережі тепловозу. Також було теоретично обґрунтовано спосіб керування силовою установкою тепловоза з накопичувачем з метою зменшення необхідної розрахованої енергоємності накопичувача. В роботах Є.П. Лосєва [5] розглянуто спосіб вибору необхідних параметрів комбінованих силових установок локомотивів на основі завантаження силових установок локомотивів при їх роботі на конкретних

ділянках. Тепловий двигун забезпечує деяку середню потужність тепловозу, необхідну в експлуатації, а перевищення або дефіцит тягової потужності покривається накопичувачем, необхідна енергоємність якого визначається за тривалістю режимів заряджання і розрядження, а також за часткою потужності, яку має реалізувати накопичувач в цих режимах. Недоліком цього підходу є те, що вони не враховуються багато факторів які впливають на параметри споживання паливно-енергетичних ресурсів маневрових локомотивів з накопичувачем енергії.

**Мета.** Мета дослідження це новий підхід оцінки техніко-економічних показників роботи тепловоза шляхом математичного моделювання процесів є оцінка енергоефективності технічних рішень в проектах використання накопичувачів енергії при модернізації маневрових локомотивів.

**Результати досліджень.**Розроблено методику та створена імітаційна математична модель процесів, пов'язаних з виконанням маневрових робіт, яка заснована на виконанні тягових розрахунків для типових маневрових операцій, що складаються з набору основних характерних поодиноких режимів.

Кожен полурейс включає в себе різні за поєднанням поодинокі режими роботи маневрового тепловоза, які залежать від випадкових величин.

Основні режими при маневровій роботі:

- робота дизеля на холостому ходу при стоянках;
- розгін;
- рух з постійною швидкістю;
- робота дизеля на холостому ходу при русі по інерції;
- гальмування.

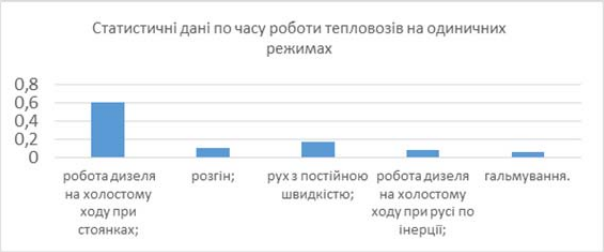



Рис. 1. Статистичні дані про часу роботи тепловозів на поодиноких режимах

Режими роботи маневрового тепловоза доцільно представляти у вигляді безлічі обмеженого числа характерних поодиноких режимів, які включають випадкові розподілу характерних показників: довжини шляху, швидкості руху складу, маси складу, величини ухилу шляху і т.п.

Виділивши з певного безлічі деякий набір основних характерних одиничних режимів, виконавши тягові розрахунки, що відображають реальні умови експлуатації, можна визначити раціональний алгоритм керування силовою установкою, ефективність застосування накопичувачів енергії у силовому ланцюзі тепловозів, необхідний розподіл витрат енергії між джерелами, витрата палива, витрати часу на виконання маневрової операції і т.п.

Так як кожен режим являє собою одиничну маневрову операцію, то при розрахунках такої операції можна з будь-яким ступенем точності розрахувати показники роботи силової установки в сталому і перехідному режимі, показники роботи тягової передачі, накопичувача енергії та іншого обладнання в залежно від силової схеми і комплектації.

Однією з найважливіших точок в системі будь-якої залізниці є станції з сортувальними гирками. Гірка служить системою забезпечує можливість виконання єдиного процесу розформування і формування поїздів. Робота гіркового тепловоза значно відрізняється від режимів роботи при виконанні інших маневрових операцій. Виконати аналіз і обгрунтування техніко-економічних параметрів маневрових тепловозів з накопичувачем енергії, визначити економічну ефективність використання накопичувача, оцінити основні показники модернізованого маневрового тепловоза, включаючи витрату палива можна, використовуючи імітаційну модель виконання маневрової роботи.

Операція розформування складів з використанням сортувальної гірки є найбільш енергозатратним і важким щодо використання потужності тепловоза, і залежить в основному від крутизни шляху, насуву, швидкості руху, маси складу, типу тепловоза і режиму його роботи. Процес насування та розпуску складу пов'язаний з частою зміною положення рукоятки контролера, що обумовлює роботу дизеля переважно в перехідних режимах.

З точки зору динаміки, підтримка рівномірної швидкості насування та розпуску складу досягається при рівності прискорюють і сповільнюють зусиль. З двох сусідніх позицій контролера необхідно вибирати ту, яка забезпечує підтримку швидкості близькою до необхідної, але забезпечує в процесі подальшого руху відхилення не перевищує допустимий. При цьому, відхилення фактичної швидкості від необхідної залежить від параметрів і конструкції насувної і спускний частини гірки, ступеня її автоматизації та необхідної точності реалізації швидкості.

Найбільш трудомісткою частиною імітації горочной роботи є процес розгону при насуванні, розпуск складу.

При розформування складу маса є величиною змінною, і для кожного моменту імітування процесу розформування.

В першому блоці розраховуються швидкість руху, час руху, збільшення швидкості та часу, прискорення складу.

В другому блоці розраховуємо показники роботи дизеля таки як потужність, частота обертання колінчастого валу дизеля, ККД генератора і ін.

До третього блоку належить розрахунок витрати енергії, пов'язані з підготовкою до роботи (прокачування, пуск, зарядка батареї і накопичувача), витрати енергії на освітлення, управління, опалення, фільтрацію, кондиціювання тощо, витрати енергії на

охолодження (підігрів) теплоносіїв, витрати енергії на забезпечення потреб складу (наповнення гальмової магістралі).

Рис 2. Блок-схема алгоритму розрахунку показників при імітації маневрової операції

Четвертий блок використовується для розрахунків опір руху вагонів, опір руху усього складу, довжина пройденого вагонами шляху, тягове та гальмівне зусилля, та ін.

П’ятий блок дозволяє розрахувати витрату дизельного палива на маневрову роботу, втрати потужності, що характеризує співвідношення між силою тяги і енергією та ін.

Розрахунок маневрового режиму пов'язаний з аналізом складних залежностей між швидкістю, прискоренням і довжиною розгону, уповільненням і довжиною гальмування, швидкістю і потужністю і ін.

Розгін, як правило, відбувається поетапно, починаючи з нижчих позицій рукоятки контролера машиніста з поступовим переходом на більш високі, пов'язаний з частою зміною положення рукоятки контролера, що обумовлює роботу дизеля переважно в перехідних режимах. Важливим динамічним властивістю тепловоза є прийомистість, тобто здатність швидко набрати навантаження при розгоні. Основними вимірювачами приемистости є: значення прискорень в процесі розгону; тривалість розгону, тобто час, протягом якого швидкість зростає від прийнятого початкового значення швидкості до заданого кінцевого значення швидкості, шлях розгону. Інтенсивність розгону визначається характеристиками потужності показниками силової установки, тягової передачі і системи регулювання.

В статі наведені результати розрахунків при виконанні маневрової роботи на сортувальній гірці. Результати розрахунку показників виконання основних одиничних маневрових режимів роботи тепловозом ЧМЕ3Т при розформування складу з 30 вагонів на сортувальній гірці станції Лиман з використанням вищеописаної методики на рис. 3.

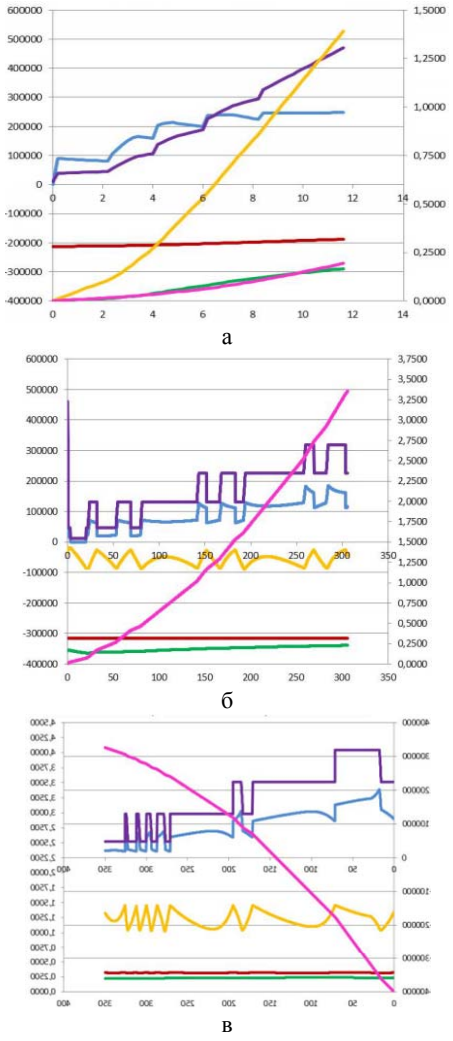



Рис. 3. Показники роботи тепловоза при виконанні поодинокого режиму:
а –розгін б – насув в – розпуск

**Висновок.** В статі були викладені вимоги та напрями для побудови імітаційної моделі маневрової роботи на горці яка складається представлена у вигляді безлічі одиничних режимів з моделюванням реальних процесів в силових установках і варіюванням маси складу в вигляді випадкової величини. Це дозволить з високою вірогідністю виконати розрахунок показників роботи маневрового тепловоза, уточнити витрата палива і виявити найбільш раціональні режими управління тепловозом, вплив перехідних процесів в дизелі на витрату палива при роботі в різних одиничних режимах і частка витрат палива, що припадає на цей режим на прикладі тепловоза ЧМЕ3Т.

**Література**

1. Краснянская С.Н. Исследование электрического тормоза с целью повышения экономичности и эксплуатационной надежности тепловозов: Автореферат дис. … канд. техн. наук./ С.Н. Краснянская – М.:МИИТ, 1979. – 26 с.
2. Казанцев В.П. Выбор оптимальной мощности маневрового локомотива для работы на вытяжке в текущих эксплуатационных условиях и на перспективу [Текст]: дис. к. т. н. / В.П. Казанцев. – М,:1966. – 156с.
3. Гончаров Н.Е. Маневровая работа на железнодорожном транспорте [Текст] / Н.Е. Гончаров, В.П. Казанцев – М.: Транспорт, 1978. – 183 с.
4. Никипелый, С.О. Повышение эффективности работы тепловозов при применении накопителя энергии в силовой цепи [Текст]: дис. ... к. т. н.: спец. 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация / С.О. Никипелый. – М.: МГУПС, 2011. – 167 с.
5. Лосев, Е.П. Эффективность применения накопителей энергии в силовых установках автономных локомотивов [Текст] : дис. … к. т. н. : спец. 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог и тяга поездов / Е.П. Лосев. – М.: МГУПС, 2000. – 211с.
6. Коссов Е.Е. Влияние эффективности накопителя энергии на топливную экономичность локомотива Е.Е. Коссов, В.А. Азаренко, А.Н. Корнев, М.М. Комарницкий // Локомотивинформ. – Харьков:Техностандарт. - №3, 2008. – С. 44 – 45.
7. Golubenko A. Energy of diesel locomotive's electrodynamic braking for increase of efficiency of diesel locomotive engines / A. Golubenko, V. Mogila, H. Nozhenko // Coll. of scientific labours. - 2007. – Issue 69. – P. 147 - 153
8. Liudvinavičius L. Lingaitis L. P. 2010. New locomotive energy management systems. / Maintenance and reliability = Eksploatacja i niezawodność / Polish Academy of Sciences Branch in Lublin. Warszawa. ISSN 1507-2711. No 1, 2010, p. 35-41
9. P. Barrade, Series connexion of Supercapacitors : comparative study of solutions for the active equalization of the voltage, École de Technologie Supérieure (ETS), Montréal, Canada, 2001
10. J. D. Boyes and H. H. Clark, Technologies for energy storage flywheels and super conducting magnetic energy storage, IEEE, 2000.

**References**

1. Krasnyanskaya S. N. Investigation of electric brakes with the aim of increasing efficiency and of exploitation of operational reliability of locomotives: author's abstract of dis. kand. tech. Sciences./ S. N. Krasnyanskaya, M.:engineering, 1979. – 26 S.
2. Kazantsev V. P. the Choice of optimum capacity shunting locomotive to work on the hood in ongoing operating conditions and future prospects [Text]: dis. ... Ph. D. / V. P. Kazantsev. – M:1966. – 156s anchor.
3. Goncharov N. E. Shunting work on railway transport [Text] / N. E. Goncharov, V. P. Ka-tancev – M.: Transport, 1978. – 183 S.
4. Nicely S. O. Improving the efficiency of the locomotives in the application of energy storage in the power circuit [Text]: dis. ... Ph. D.: spec. 05.22.07 – dvojnoj of Railways, traction of trains and electrification of the S. O. Nicely. – M.: Moscow state railway University, 2011. – 167 p
5. Losev E. P. Efficiency of use of energy storage in power plants of Autonomous Loco-motives [Text] : dis. ... Ph. D. : spec. 05.22.07 – dvojnoj of Railways and deadlifts train / E. P. Lo-SEV. – M.: Moscow state railway University, 2000. – 211c.
6. Kossov, E. E. influence of the effectiveness of energy storage to fuel efficiency of locomotive E. E. Kossov, V. A. Azarenko, A. N. Kornev, M. Komarnicki // Locomotivity. – Kharkiv:Tekhnostandart. No. 3, 2008. – S. 44 – 45.
7. Golubenko A. Energy of diesel locomotive's electrodynamic braking for increase of efficiency of diesel locomotive engines / A. Golubenko, V. Mogila, Nozhenko H. // Coll. of scientific labours. - 2007. – Issue 69. – P. 147 – 153
8. Liudvinavičius L. Lingaitis L. P. 2010. New locomotive energy management systems. / Maintenance and reliability = Eksploatacja i niezawodność / Polish Academy of Sciences Branch in Lublin. Warszawa. ISSN 1507-2711. No 1, 2010, p. 35-41
9. P. Barrade, Series connexion of Supercapacitors: comparative study of solutions for the active equalization of the voltage, École de Technologie Supérieure (ETS), Montréal, Canada, 2001
10. J. D. Boyes and H. H. Clark, Technologies for energy storage flywheels and super conducting magnetic energy storage, IEEE, 2000.

**Яровой Р.А., Чернецкая-Белецкая Н.Б. Методика имитационного моделирования режимов работы маневровых тепловозов.**

*Целью исследования является создание методики имитационного моделирования показателей работы маневрового тепловоза при работе на сортировочной горке. Предложенный новой подход для определения технико-экономических показателей маневровой работы на сортировочной горке. Разработана методика и создана имитационная математическая модель процессов, основанная на выполнении тяговых расчетов для типовых маневровых операций, состоящих из набора отдельных режимов, таких как работа дизеля на холостом ходу при стоянках, разгон, движение с постоянной скоростью, работа дизеля на холостом ходу при движении по инерции, торможения и электродинамическое торможение. Каждый полурейс включает в себя различные по сочетанию единичные режимы работы маневрового тепловоза, которые зависят от случайных величин. Для снижения энергетических затрат на маневровую работу рассмотрен вопрос эффективности применения накопителей энергии на маневровых локомотивах типа ЧМЕ3т. Проведен сравнительный анализ расхода топлива и динамических показателей при использовании накопителя энергии в силовой цепи и без него.*

***Ключевые слова**: подвижной состав, маневровая работа, тяговый расчет, модернизация маневровых локомотивов, электродинамический торможения, накопления энергии, гибридный привод.*

**Yarovoy R., Chernetska–Biletska N. Method of imitation modeling of manified thermal work modes.**

*The aim of the study is to create a methodology for simulation modeling of the performance of a shunting diesel locomotive when working on a sorting hill. The proposed new approach to determine the technical and economic indicators of shunting work on a hump yard. A methodology has been developed and an imitational mathematical model of process-*

*es has been created, based on performing traction calculations for typical shunting operations consisting of a set of individual modes, such as a diesel engine running at idling when stationary, accelerating, driving at a constant speed, running a diesel engine at idling speed inertia, braking and electrodynamic braking. Each half-cruise includes various single-unit modes of operation of a shunting diesel locomotive, which depend on random variables. To reduce energy costs for shunting work, the question of the efficiency of energy storage devices on shunting locomotives of the type ЧМЕ3Т was considered. A comparative analysis of fuel consumption and dynamic performance with the use of energy storage in the power circuit and without it.*

***Keywords:*** *rolling stock, traction calculation, modernization of shunting locomotives, electrodynamic braking, energy storage, hybrid drive.*

**Яровой Р.О.** – ст. викладач кафедри "Обчислювальної техніки та систем управління", УкрДУЗТ, м. Харків, Україна, e-mail: kzf_liman@bigmir.net.
**Чернецька-Білецька Н.Б.** – д.т.н., проф. кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк.

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Соколов В.І.***

Стаття подана 12.04.2019

**ВІСНИК**
**СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО**
**УНІВЕРСИТЕТУ**
**імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**
**№ 2 (250) 2019**

# Науковий журнал

Відповідальний за випуск Чернецька-Білецька Н.Б.

Оригінал-макет Могильна О.В.

**Статті надруковано в авторській редакції**

Підписано до друку 15.05.2019 р.
Формат 60 х 84 1/8. Папір офсетний. Гарнітура Times.
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 15,9. Обл.-вид. арк. 17,3.
Наклад 300 прим. Вид. № 3216. Заказ № 14. Ціна вільна.

Видавництво
Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.03 р.

**Адреса університета:** просп. Центральний 59-А
м. Сєвєродонецьк, 93400, Україна
**E-mail:** vidavnictvoSNU.ua@gmail.com

Надруковано:
Відділ технічного обслуговування СНУ ім. В. Даля
Адреса: просп. Центральний, 59-а
м. Сєвєродонецьк, 93400