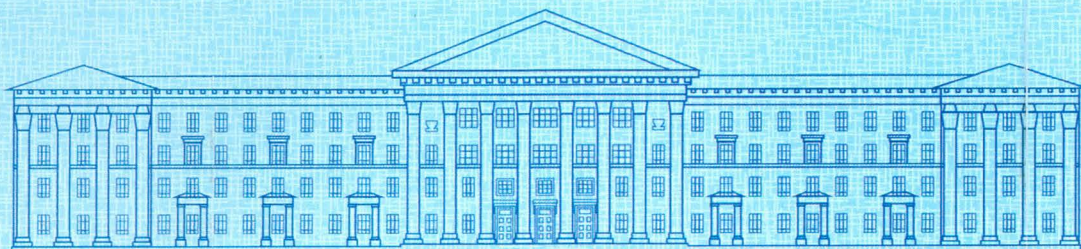




ISSN 2307-3489 (Print)  
ISSN 2307-6666 (Online)



# НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ  
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

2(50)

•• 2014 ••



Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна

## НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

Науковий журнал

2 (50) 2014

Виходить 6 разів на рік ♦ ♦ ♦ ♦ ♦ Заснований у серпні 2003 р.

*Наука та прогрес транспорту*  
*Автоматизовані системи управління на транспорті*  
*Екологія на транспорті*  
*Економіка та управління*  
*Експлуатація та ремонт засобів транспорту*  
*Електричний транспорт*  
*Залізнична колія*  
*Матеріалознавство*  
*Моделювання задач транспорту та економіки*  
*Нетрадиційні види транспорту*  
*Промисловий транспорт*  
*Рухомий склад залізниць і тяга поїздів*  
*Транспортне будівництво*  
*Розвиток вищої школи*

Дніпропетровськ

2014

Засновник:  
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

ГОЛОВА РЕДАКЦІЙНОЇ РАДИ УНІВЕРСИТЕТУ  
ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛУ  
ЗАСТУПНИК ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА  
ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

Пішінько О. М., доктор технічних наук  
Мямлін С. В., доктор технічних наук  
Козаченко Д. М., доктор технічних наук  
Колесникова Т. О., кандидат наук  
із соціальних комунікацій

*ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ (УКРАЇНА):*

Аксьонов І. М., Афанасов А. М., Банніков Д. О., Бараш Ю. С., Біляєв М. М., Бобирь Д. В., Бобровський В. І., Боднар Б. Є., Босов А. А., Вакуленко І. О., Верхоглядова Н. І., Власова Т. І., Габринєць В. О., Гаврилук В. І., Гетьман Г. К., Главацький К. Ц., Головкова Л. С., Гончаров К. В., Горобець В. Л., Дорогань Т. Є., Доценко О. М., Жуковицький І. В., Заблудовський В. О., Каламбет С. В., Капіца М. І., Ковтун В. В., Копитко В. І., Костін М. О., Кравець В. В., Краснюк А. В., Кривчик Г. Г., Кузнецов В. Г., Курган М. Б., Муха А. М., Мухіна Н. А., Настечик М. П., Нетеса М. І., Оковитий С. І., Очкасов О. Б., Петренко В. Д., Пічугов С. О., Пічурін В. В., Покотілов А. А., Полішко Т. В., Радкевич А. В., Радченко М. О., Ракша С. В., Рибкін В. В., Скалозуб В. В., Сніжко Л. О., Урсуляк Л. В., Штапенко Е. П., Яришкіна Л. О.

*ІНОЗЕМНІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:*

Анісімов П. С. (Московський державний університет шляхів сполучення, Російська Федерація); Бялонь А. (Науково-технічний центр залізничного транспорту, Республіка Польща); Васяк І. (Інститут електроенергетики, Республіка Польща); Гусєв Б. В. (Московський державний університет шляхів сполучення, Російська Федерація); Долежел І. (Академія наук, Чеська Республіка); Зіммер К. (Електротехнічний інститут, Республіка Польща); Казакевич М. І. (Федеративна Республіка Німеччина); Лінгайтис В. Л. (Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса, Литва); Манашкін Л. А. (Технологічний університет Нью-Джерсі, США); Микульські Є. (Сілезький технологічний університет, Республіка Польща); Сладковські А. (Сілезький технологічний університет, Республіка Польща); Стржеlecki Р. (Гданський морський університет, Республіка Польща); Худзікевич А. (Варшавський політехнічний університет, Республіка Польща).

Журнал зареєстровано Державною реєстраційною службою Міністерства юстиції України. Свідоцтво про реєстрацію КВ № 19609-9409ПР від 29.12.2012 р. Видання внесено до Переліку наукових фахових видань України постановами президії ВАК України № 1-05/6 від 16.12.2009 р. (технічні науки) та № 1-05/2 від 10.03.2010 р. (економічні науки). Журнал зареєстровано в міжнародних каталогах періодичних видань Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat, наукометричних системах Google Scholar, Polish Scholarly Bibliography, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI. Друкується за рішенням вченої ради університету від 28.04.2014 р., протокол № 9

Видавець Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (м. Дніпропетровськ) Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003 р.

Адреса засновника та редакції вул. Лазаряна, 2, кім. 267, Дніпропетровськ, Україна, 49010 тел.: +38 (056) 371-51-05; e-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua; сайт журналу: <http://stp.diit.edu.ua/>

Видання публікується з 1936 р.:

1936–1993 рр. – «Труды Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта»;  
1993–2002 рр. – «Збірник наукових праць Дніпропетровського державного технічного університету залізничного транспорту» (за серіями);  
2003–2012 рр. – «Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна»;  
з 2013 р. – «Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна»

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта  
имени академика В. Лазаряна

## **НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ**

**ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА**

## **(НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА)**

**ВЕСТНИК ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА В. ЛАЗАРЯНА)**

**Научный журнал**

**2 (50) 2014**

Выходит 6 раз в год ♦ ♦ ♦ ♦ ♦ Основан в августе 2003 г.

*Наука и прогресс транспорта*  
*Автоматизированные системы управления на транспорте*  
*Экология на транспорте*  
*Экономика и управление*  
*Эксплуатация и ремонт средств транспорта*  
*Электрический транспорт*  
*Железнодорожный путь*  
*Материаловедение*  
*Моделирование задач транспорта и экономики*  
*Нетрадиционные виды транспорта*  
*Промышленный транспорт*  
*Подвижной состав железных дорог и тяга поездов*  
*Транспортное строительство*  
*Развитие высшей школы*

Днепропетровск

2014



Учредитель:  
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА В. ЛАЗАРЯНА

*ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОГО  
СОВЕТА УНИВЕРСИТЕТА*

Пшинько А. Н., доктор технических наук

*ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛА*

Мямлин С. В., доктор технических наук

*ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА*

Козаченко Д. Н., доктор технических наук

*ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ*

Колесникова Т. А., кандидат наук  
по социальным коммуникациям

*ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ (УКРАИНА):*

Аксенов И. М., Афанасов А. М., Банников Д. О., Бараш Ю. С., Беляев Н. Н., Бобырь Д. В., Бобровский В. И., Боднар Б. Е., Босов А. А., Вакуленко И. А., Верхоглядова Н. И., Власова Т. И., Габринец В. А., Гаврилюк В. И., Гетьман Г. К., Главацкий К. Ц., Головкова Л. С., Гончаров К. В., Горобец В. Л., Дорогань Т. Е., Доценко Е. Н., Жуковицкий И. В., Заблудовский В. А., Каламбет С. В., Капица М. И., Ковтун В. В., Копитко В. И., Костин Н. А., Кравец В. В., Краснюк А. В., Кривчик Г. Г., Кузнецов В. Г., Курган Н. Б., Муха А. М., Мухина Н. А., Настечик М. П., Нетеса Н. И., Оковитый С. И., Очкасов А. Б., Петренко В. Д., Пичугов С. А., Пичурин В. В., Покотилев А. А., Полишко Т. В., Радкевич А. В., Радченко Н. А., Ракша С. В., Рыбкин В. В., Скалозуб В. В., Снежко Л. А., Урсуляк Л. В., Штапенко Е. П., Яришкина Л. А.

*ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:*

Анисимов П. С. (Московский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация); Бялонь А. (Научно-технический центр железнодорожного транспорта, Республика Польша); Васяк И. (Институт электроэнергетики, Республика Польша); Гусев Б. В. (Московский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация); Долежел И. (Академия наук, Чешская Республика); Зиммер К. (Электротехнический институт, Республика Польша); Казакевич М. И. (Федеративная Республика Германия); Лингайтис В. Л. (Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литва); Манашкин Л. А. (Технологический университет Нью-Джерси, США); Микульски Е. (Силезский технологический университет, Республика Польша); Сладковски А. (Силезский технологический университет, Республика Польша); Стржеleckи Р. (Гданьский морской университет, Республика Польша); Худзикевиц А. (Варшавский политехнический университет, Республика Польша).

Журнал

зарегистрирован

Государственной регистрационной службой Министерства юстиции Украины.

Свидетельство о регистрации КВ № 19609-9409ПР от 29.12.2012 г.

Издание внесено в Перечень научных специализированных изданий Украины постановлениями президиума ВАК Украины № 1-05/6 от 16.12.2009 г. (технические науки) и № 1-05/2 от 10.03.2010 г. (экономические науки).

Журнал зарегистрирован в международных каталогах периодических изданий Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat, наукометрических системах Google Scholar, Polish Scholarly Bibliography, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI.

Печатается по решению ученого совета университета от 28.04.2014 г., протокол № 9

Издатель

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (г. Днепропетровск)

Свидетельство субъекта издательского дела ДК № 1315 от 31.03.2003 г.

Адрес

учредителя

ул. Лазаряна, 2, ком. 267, Днепропетровск, Украина, 49010, тел.: +38 (056) 371-51-05;

e-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua; сайт журнала: <http://stp.diit.edu.ua/>

Издание публикуется с 1936 г.:

1936–1993 гг. – «Труды Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта»;

1993–2002 гг. – «Збірник наукових праць Дніпропетровського державного технічного університету залізничного транспорту» (за серіями);

2003–2012 гг. – «Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна»;

с 2013 г. – «Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна»

Dnipropetrovsk National University of Railway Transport  
named after Academician V. Lazaryan

## NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU

VÌSNIK DNÌPROPETROVS'KOGO NACÌONAL'NOGO UNÌVERSITETU  
ZALÌZNIČNOGO TRANSPORTU

## (SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS

BULLETIN OF DNIPROPETROVSK NATIONAL UNIVERSITY OF RAILWAY  
TRANSPORT NAMED AFTER ACADEMICIAN V. LAZARYAN)

Scientific journal

**2 (50) 2014**

Bi-Monthly ♦ ♦ ♦ ♦ ♦ Founded in August 2003

*Science and Transport Progress*  
*Transport Automated Control Systems*  
*Transport Ecology*  
*Economics and Management*  
*Operation and Repair of Transport Means*  
*Electric Transport*  
*Railway Track*  
*Material Science*  
*Transport and Economic Tasks Modeling*  
*Non-Traditional Transport Modes*  
*Industrial Transport*  
*Rolling Stock and Train Traction*  
*Transport Construction*  
*High School Development*

Dnipropetrovsk

2014



Founder:  
 DNIPROPETROVSK NATIONAL UNIVERSITY OF RAILWAY TRANSPORT  
 NAMED AFTER ACADEMICIAN V. LAZARYAN

Chairman of the Editorial Board of the University  
 Editor-in-Chief  
 Deputy Chief Editor  
 Executive Secretary

Pshinko O. M., Doctor of Technical Sciences  
 Myamlin S. V., Doctor of Technical Sciences  
 Kozachenko D. M., Doctor of Technical Sciences  
 Kolesnykova T. O., PhD of Social Communications

*EDITORIAL BOARD MEMBERS (UKRAINE):*

Afanasov A. M., Aksenov I. M., Bannikov D. O., Barash Yu. S., Biliaiev M. M., Bobrovskiy V. I., Bobyr D. V., Bodnar B. J., Bosov A. A., Crivchick G. G., Dorohan T. E., Dotsenko O. M., Gabrync V. A., Gavrilyuk V. I., Getman G. K., Glavatskiy K. Ts., Golovkova L. S., Goncharov K. V., Gorobets V. L., Kalambet S. V., Kapitsa M. I., Kopytko V. I., Kostin M. O., Kovtun V. V., Krasnyuk A. V., Kravets V. V., Kurgan M. B., Kuznetsov V. G., Mukha A. M., Mukhina N. A., Nastechik N. P., Netesa N. I., Ochkasov O. B., Okovytyy S. I., Petrenko V. D., Pichugov S. O., Pichurin V. V., Pokotilov A. A., Polishko T. V., Radchenko N. A., Radkevych A. V., Raksha S. V., Rybkin V. V., Shtapenko E. P., Skalozub V. V., Snizhko L. O., Ursulyak L. V., Vakulenko I. O., Verkhoglyadova N. I., Vlasova T. I., Yarishkina L. O., Zabludovskiy V. O., Zhukovytsky I. V.

*FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:*

Anisimov P. (Moscow State University of Railway Engineering, Russian Federation); Byalon A. (Science and Technology Center of Railway Transport, Republic of Poland); Chudzikiewicz A. (Transport Warsaw University of Technology, Republic of Poland); Dolezel I. (Academy of Sciences, Czech Republic); Gusev B. (Moscow State University of Railway Engineering, Russian Federation); Kazakevich M. (Federal Republic of Germany); Lingaitis V. L. (Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania); Manashkin L. (New Jersey Institute of Technology, USA); Mikulski J. (Silesian University of Technology, Republic of Poland); Sladkowski A. (Silesian University of Technology, Republic of Poland); Strzelecki R. (Gdynia Maritime University, Republic of Poland); Wasiak I. (Institute of Electrical Power Engineering, Republic of Poland); Zimmer K. (Electrotechnical Institute, Republic of Poland)

Journal was registered by the State Registration Service of the Ministry of Justice of Ukraine.  
 Certificate of Registration KB no.19609-9409PR from 29.12.2012  
 Edition is included in the list of scientific professional publications of Ukraine by the Resolution of Presidium of HAC (Higher Attestation Commission) of Ukraine no. 1-05/6 from 16.12.2009 (technical sciences) and no. 1-05/2 from 10.03.2010 (economic sciences).  
 Journal is registered in the International Catalogue of periodicals Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat, research and metric systems Google Scholar, Polish Scholarly Bibliography, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI.  
 Published according to the Academic Council decision of the University from 28.04.2014, Protocol no. 9

Publisher Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (Dnipropetrovsk)  
 Certificate of Publisher ДК no. 1315 from 31.03.2003

Address of Founder St. Lazaryana, 2, room 267, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel.: +38 (056) 371-51-05;  
 e-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua; journal site: <http://stp.diit.edu.ua/>

Edition is being published since 1936:

1936–1993 – «Труды Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта»;  
 1993–2002 – «Збірник наукових праць Дніпропетровського державного технічного університету залізничного транспорту» (за серіями);  
 2003–2012 – «Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна»;  
 since 2013 – «Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна»

# АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

UDC [656.257:625.151.3]:519.87

S. YU. BURYAK<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail bsyur@mail.ru

## MATHEMATICAL MODELING OF AC ELECTRIC POINT MOTOR

**Purpose.** In order to ensure reliability, security, and the most important the continuity of the transportation process, it is necessary to develop, implement, and then improve the automated methods of diagnostic mechanisms, devices and rail transport systems. Only systems that operate in real time mode and transmit data on the instantaneous state of the control objects can timely detect any faults and thus provide additional time for their correction by railway employees. Turnouts are one of the most important and responsible components, and therefore require the development and implementation of such diagnostics system. **Methodology.** Achieving the goal of monitoring and control of railway automation objects in real time is possible only with the use of an automated process of the objects state diagnosing. For this we need to know the diagnostic features of a control object, which determine its state at any given time. The most rational way of remote diagnostics is the shape and current spectrum analysis that flows in the power circuits of railway automatics. Turnouts include electric motors, which are powered by electric circuits, and the shape of the current curve depends on both the condition of the electric motor, and the conditions of the turnout maintenance. **Findings.** For the research and analysis of AC electric point motor it was developed its mathematical model. The calculation of parameters and interdependencies between the main factors affecting the operation of the asynchronous machine was conducted. The results of the model operation in the form of time dependences of the waveform curves of current on the load on engine shaft were obtained. **Originality.** During simulation the model of AC electric point motor, which satisfies the conditions of adequacy was built. **Practical value.** On the basis of the constructed model we can study the AC motor in various mode of operation, record and analyze current curve, as a response to various changes of the load on engine shaft.

**Keywords:** mathematical modeling; electric motors; turnout; electric drive; railway automation; automated diagnostics

### Introduction

Railway transport is the safest existing transport mode today. Everyday tens of thousands of employees operate technological process for maintenance and repair of the railway equipment. But, unfortunately, there are unforeseen situations that could lead to serious consequences. Incidents are not uncommon; sometimes accidents and catastrophes take place. It is impossible to analyze all the cases of violations, because in the majority of cases the workers, if it is possible, try to keep such cases in the dark. They wish to avoid any punitive measures for negligent performance of their duties.

In addition, at the moment many railroad sections operate obsolete equipment, moreover, now are commonly found the devices, the use period of which several times exceed the rated service life guaranteed by manufacturer. In a large number of violations and failures in train schedule this is also one of the key factors.

In this situation, it takes more than one decade for general replacement of equipment, which is itself expensive. In the case of transition to new technological solutions with possible application of the new bases of fulfillment, it is required a perfect study of traffic safety aspects, as the traffic safety



## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

is the main task in railway transport operation. There is high risk in application of time untested prototypes.

Recently, at a quick rate the high-speed train movement is implemented. It became possible owing to purchase of foreign manufactured trains and production of domestic rolling stock of the new model. In addition, the practice of movement of heavy trains with large number of coupled cars has been used successfully. Large number of cars causes the long length of the train. Therefore such a long train can not be accepted by the side receiving and departure track of the majority of stations. The stations that can accept it are the top class stations or junctions, which are the destination stations. Therefore, these trains require either non-stop handling in the intermediate stations, or train splitting within the station performing maneuvers for relocating on the side tracks in order to clear the main way for passenger train handling. The above mentioned changes in the order of train movement are caused by the need and desire to increase the capacity of railway in terms of freight traffic, and make the railway transport more competitive as compared to the road transport for passenger transportations.

Under conditions of high competition in the transport service market such measures should have high-efficient implementation in order to make the rail transportations as much as possible advantageous as compared to any other transport modes.

High usage rate of railway transport technical means necessitates the introduction of achievements of scientific and technological progress in the field of technology and advanced methods of work organization. Solution of these problems is to a large extent provided by introduction of modern means for automation and control of technical condition of railway automation devices.

### Purpose

In the light of foregoing it is apparent that in order to provide the high speed of passenger and goods transportations, it is necessary to increase the train motion speed and the capacity of mainline track sections in general. In addition to speed of passengers and goods transportations there is one more important factor. It is the traffic safety of the trains, as well as the cargo safety. Only the proper

use of funds, facilities and equipment for the organization and provision of transportation work can provide these factors. Indeed, without preliminary preparation of the technical base for implementation of the new equipment and without provision of possible causes of faults in its hardware one can find oneself in the situation, when the money spent on the purchase of expensive transport units will not be justified. This is caused by impossibility of using in full volume the properties, which possess the given vehicles as compared to their earlier models. Thus, to apply newer technologies in operation, it is necessary to incorporate and develop the innovative principles of technical maintenance and monitoring of their condition.

Since in the vast majority of instructions on the railway device servicing is used the principle of planned preventative maintenance, in connection with this there is a high failure probability of any element in the inter-repair period of time. This to a lesser extent may lead to failure in the train schedule and stoppage of goods in transit, and to a greater extent may cause a decrease of railway transportation safety and increase the risk of dangerous failure [8, 9].

So, the important task in terms of services ensuring the train movement in the conditions of strict requirements to the issue of railway device maintenance is to control the state of objects, providing the train movement in real time mode, which could give an evaluated value of the object state at the current time. Implementation of systems of this type will solve a number of problems occurring during maintenance of railway devices. First of all it concerns the equipment workers should come to. It is located in the area of train movement. Constant remote monitoring of floor equipment can not only reduce the inspection schedule, which includes access to the area of train movement, but also predict the failure occurrence and thus to prevent their occurrence.

The second important advantage of the use of remote control systems in real time mode is the accuracy and consistency of measurements. But at the present time, most technical processes depend on the skills of railway workers. Therefore the conditions of reliable operation largely depend on their experience, ability of instant perception and the ability to make decisions that are influenced by the physical and psycho-emotional state, weather conditions, etc.

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Thus, the purpose of creating the control systems of railway object condition in real time mode is to automate the process of diagnosing. Let us consider the implementation of such system with automated approach to the process of diagnosing the state of object in real time mode using the example of the switch electric engine of AC.

### Methodology

First, let us consider the switch AC electric engine as an object of diagnosing.

Any object in terms of diagnosing can be considered as a black box. That is the object, parameters of which are unknown. One can set the signals that are known by the shape and size on its input or inputs and study its condition and properties depending on the signals at the output or outputs, if there are several ones.

Another method of studying the object is its mathematical model, taking into account external parameters, the so-called input variables and parameters describing the internal condition of the studied object.

The second method is more effective in the cases when the internal parameters of the research object are known. In addition it is also more informative, as it allows correcting the state of object in two ways. So let us study operation modes and the reaction of the switch electric engine of AC on the external factors using its mathematical model describing its parameters and characteristics.

Selecting the type of switch electric engine to produce a mathematical model and diagnose its work on the basis of the constructed model is based on the fact that the introduction of railway turnouts of heavy types required the development and use of asynchronous motor, which would be able to develop high starting torques. It is the asynchronous engine that was required, as in comparison with DC electric engines (which are also used in turnouts) it has many advantages. First of all they include the absence of commutator and power supply to the electric motor windings by the industrial-frequency current. So it does not require additional conversion to another kind of current, as it is necessary when using DC electric engines [14, 17]. To represent the switch electric engine as the object of modeling it is necessary to determine how one can describe its internal state and external influence on it.

To describe the internal state of the electromechanical object, which is electric drive, one can use the formulas and thus to present it in an analytical form. Another mathematical way of object internal state assignment is its state space representation. The first way is the most suitable in the preparation of graphical mathematical model, when all the elements of object structure are presented as the separate boxes with properties that exactly reflect the properties of modeling object. In this method, dependencies of the output values on the input ones are represented by the formulas, which are used for both the description of internal state of the modeling object, and the description of its response on the input signal. Whereas, in the second method the object state and reaction in the form of formulas is a mathematical model of the object. Such method has the most suitable form for the solution in analytical form, when the formulas already contain its parameters and input values, and the solution is output reaction. Using these formulas the object was described.

Mathematical modeling of the electric switch mechanism with AC engine will be carried out in the software environment Simulink of the mathematical package MATLAB. Thus, we will use the first method of mathematical modeling of the two ones listed above.

For this purpose we consider the main parameters and characteristics of the switch electric engine of AC.

As the switch electric engine of AC current the electric engine of MCT series were applied. They are AC asynchronous engines, which have a fixed part – a stator and a rotating part, which is called rotor.

In the three-phase engine three windings are placed on the stator. They create three separate flows shifted relative to each other by  $120^\circ$ . The rotor winding of the "squirrel cage" type is made of copper bars, short-closed on the ends with two welded rings. The bars are laid in the rotor core slots, without any isolation. The stator and rotor are interconnected through a magnetic flow generated by the stator and penetrating the rotor. Therefore the air gap between the stator and rotor should be as small as possible to increase the electromagnetic coupling between them.

All switch electric engines of MST series have the same working principle and differ only in some design features. Let us consider the design features



## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

of electric engine of the type MCT-0,3 and construct its mathematical model [11, 18].

Winding sections of stator of the switch electric engine have the following parameters:

- number of windings – 29;
- mark of the wire – PEV-2;
- wire diameter – 0.69 mm;
- resistance at 20 °C – 0.5 Ohm;
- mass – 0.036 kg.

The scheme of electrical connections of stator winding is performed with the following indices:

- number of poles –  $2p = 6$ ;
- number of slots –  $z = 36$ ;
- number of phases –  $m = 3$ ;
- number of slots for pole and phase  $q = 2$ ;
- number of parallel paths – 1;
- number of reel to reel groups – 18;
- slot pitch –  $y = 1 \div 6$ ;
- resistance of each phase winding – 6 Ohm.

The rotor of electric engine of MST-0.3 has 26 half-closed slots. In comparison with the closed form it slightly increases the starting torque and overload capacity of engine. The rotor winding consists of 26 pear-shaped bars and two short-closing rings with sections 36 mm<sup>2</sup>.

Starting characteristics of engine differ by low multiplicity of starting current  $I_n/I_h = 2.3$  and the satisfactory one of starting torque  $M_n/M_h = 2.5$ . The satisfactory starting torque is achieved by the slip increase using the ratio increase of active resistance of rotor cage to the induction one of the engine.

To increase the starting torque it was increased the slip, which at the rated load reaches 18%.

Nominal parameters of the switch electric engine MST-0.3 (Y/delta):

- power supply voltage – 190/110 V;
- current consumption – no more than 2.1/3.6 A;
- power – 300 W;
- deflecting torque – 3.43 N/m;
- rotation frequency –  $850 \pm 5\%$  r/min;
- efficiency coefficient – no less than 66%;
- power coefficient –  $\cos \varphi = 0.72$ ;
- frequency – 50 Hz.

By heat engines are designed to operate in intermittent mode with 15% duty cycle. Assigned operation time 500.000 switch operations while meeting the requirements of operation.

Operating characteristics of the engine during Y-connection are shown in Figure 1. Speed characteristic  $n = f(P_2)$  is a rigid one and represents a curve slightly inclined to the horizontal axis. Mo-

ment characteristics  $M = f(P_2)$  represents a curve whose curvature is determined by the speed characteristic. Power factor  $\cos \varphi = f(P_2)$  increases rapidly with load increase and at values  $P_2$ , which are a little larger than the nominal power, reaches the maximum level. Since the induction motor consumes considerable magnetizing current, its  $\cos \varphi$  is always less than unity. The efficiency curve  $\eta = f(P_2)$  has usual character. It increases rapidly with the load increase near to half of the nominal one and decreases with further load increase.

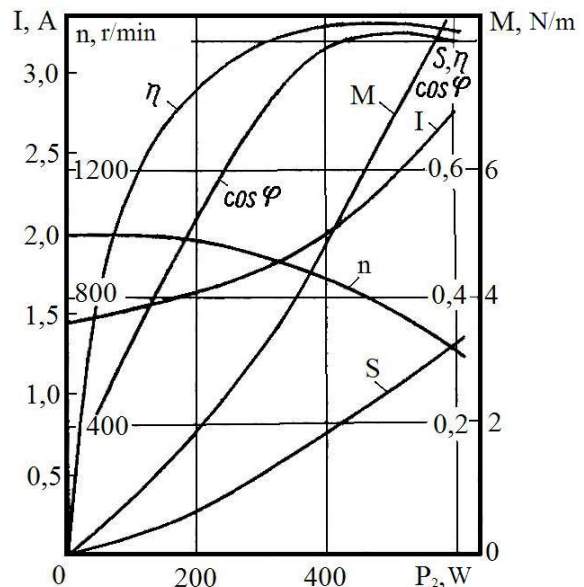


Fig. 1. Operating performance of electric motor, type MST-0.3

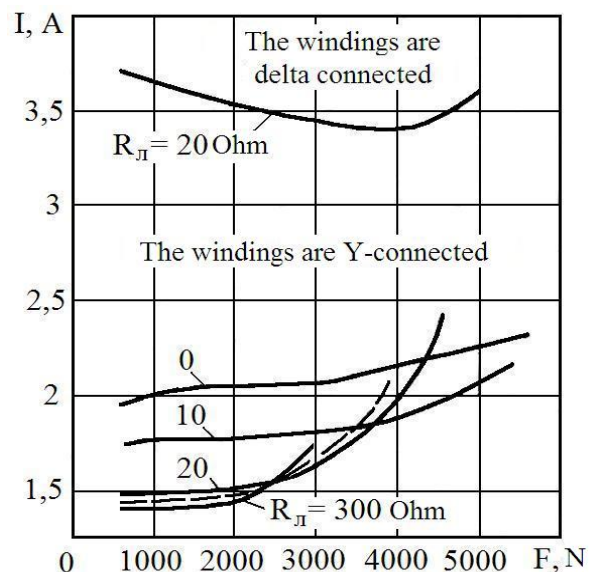


Fig. 2. Load curves of the electric operation, type PM-6

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Figure 2 shows the dependence diagram of the electric current consumed by electric drive type PM-6 with electric engine type MST-0.3 at different loads on the valve leaf and contact line resistance of cable connection. The diagram shows that the electric engine type MST-03 ensures reliable operation of electric drive under load up to 4 500 N without core duplicating at a distance up to 850 m.

The engines were tested on mechanical stand with the Y- and delta connection of the stator windings. Cable line resistance was simulated by wire resistors. Voltage at the motor terminal  $U_n$ , current consumption  $I_n$ , active power  $P_1$  and rotation frequency  $n_1$  were measured respectively by voltmeter, ampere meter, electric power meter and tachometer.

Rotational moment  $M$  was calculated according by the formula:

$$M = \frac{F r_2}{\xi \eta}, \quad (1)$$

where  $F$  – is traction effort of electric drive, N;  $\eta$  – is reduction gear efficiency;  $r_2$  – is traction effort arm.

In turn, the gear reduction ratio  $\xi$  is defined by the formula:

$$\xi = \frac{\omega_1}{\omega_2}, \quad (2)$$

where  $\omega_1$  – is angular speed of rotation of drive shaft (of electric engine);  $\omega_2$  – is angular speed of rotation of driven shaft (main drive shaft).

Net power  $P_2$  was determined by the formula:

$$P_2 = \frac{F l}{t}, \quad (3)$$

where  $F$  – is valve leaf load, N;  $l$  – is valve leaf path length (0.154 m);  $t$  – is operation time, sec.

Electric drive efficiency was determined by the formula:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}, \quad (4)$$

where  $P_1$  and  $P_2$  – are the power consumed by electric drive (active) and net power.

The power consumed by electric drive can be determined by the formula:

$$P_1 = U I, \quad (5)$$

where  $U$  – is a voltage on electric engine terminals, V;  $I$  – is a circuital current of electric engine, A.

Slipping  $S$ , which is characteristic of the rotor retardation is determined by the ratio

$$S = [(n_1 - n) / n_1] 100\%, \quad (6)$$

where  $n_1$  – is the speed of stator rotating field;  $n$  – is the speed of rotor rotating field.

Whereas, the resultant magnetic field generated by three-phase stator is the rotating one. Revolutions per minute are determined by the formula:

$$n_1 = \frac{60 f}{p}, \quad (7)$$

where  $f$  – is the current frequency of stator;  $p$  – number of stator terminal pairs.

Power coefficient can be obtained from the formula:

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3} U I}, \quad (8)$$

where  $P_1$ ,  $U$  and  $I$  – are the power consumed by electric drive (W), the voltage at the terminals of electric engines (V) and the circuital current of electric engine (A).

Now that we know the basic laws, dependencies, parameters and features let us start the construction of a mathematical model of the switch AC electric engine MST-0.3.

Let us construct a mathematical model of the switch electric engine using the software environment Simulink of the MATLAB package [2].

Asynchronous machine model includes the model of electrics presented by the state space model of the fourth order, and the model of mechanical part in the form of second-order system.

To build the model (Fig. 3), we use a generalized model of virtual installation for the study of an induction machine, which contains [3, 12]:

- three-phase alternating voltage source *Three-Phase Programmable Voltage Source* from the Library of Power System Block-set/Extras/Electrical Sources;

- measurer of three-phase voltage and current *Three-Phase V-I Measurement* (Library Power System Blockset/Extras/Measurement);

- three-phase induction machine under study *Asynchronous Machine* (Library Power System Blockset/Extras/Machines);



## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

– for measuring the active and reactive power in the system a standard block *Active & Reactive Power*, which is included in the section SimPowerSystems/ ExtraLibrary/ Measurements is used;

– *Display* block for quantification the measured powers P1 Q1;

– *Scope* block for monitoring the rotor and stator currents, as well as the speed and torque of asynchronous machine (main library Simulink/ Sinks);

– *Moment* block to set the mechanical torque on the machine shaft (main library of Simulink/ Source);

– Block *Machines Measurement Demux*, which is designed to extract the state variables from the vector measured by variables of electric machine;

– Block *Current Measurement* from the library SimPowerSystems/ Measurements measures the instantaneous current flowing through the connecting line (wire);

– *RMS* block from the library SimPowerSystems/ Extra Library/ Measurements calculates the true value of harmonic component or DC;

– block *Display1* for quantification of machine speed, electromagnetic torque and stator current (main library Simulink/ Sinks);

– Block *Mux*, combining three signals into one vector signal (from main library Simulink/Sygnal&System);

– *Powergui* block, located in the library SimPowerSystems, is a tool for a graphical user interface. It allows one to perform various tasks.

Block *Asynchronous Machine* simulates asynchronous machine in the motor or generator modes. Mode of operation is determined by the sign of the electromagnetic torque of machine.

Ports of the model A, B and C are the terminals of machine stator winding, and the ports a, b and c are the windings of machine rotor. Tm port is designed to feed the resistance moment to the motion, which is carried out by means of the block *Moment*. At the out port m the vector signal is formed. It consists of 21 elements: currents, flows, rotor and stator voltages in the fixed and rotating coordinate system, electromagnetic torque, angular speed of shaft rotation, as well as its angular position. The given vector signal is decomposed into separate components using the block *Machines Measurement Demux*. Then it is fed to the Scope for monitoring the temporal variations in the rotor and stator currents, and the speed and torque of asynchronous machine [13, 15, 16].

Parameters of asynchronous machine are partially taken from the passport data of switch AC electric engine MST-0.3, and partially are calculated on the basis of passport data.

The accurate parameter calculation of asynchronous machine equivalent circuit based on its passport data is a very difficult task, since its torque is connected with parameters by non-linear dependence. Besides, the electric machine is essentially a system with variable parameters.

Now that the model has been built, one should input the parameter values in the fields of block settings. To do this one should calculate these parameters, using the basic laws and rules of electric machines calculation.

Having considered the setting fields in block properties of the model shown in Fig. 3 we come to a conclusion that the parameters of switch electric engine that were given before are not enough to fill all of them. That is why one needs to perform additional parameter calculation of the mathematical model of the switch AC electric engine MST-0.3.

Let us define the equivalent circuit parameters of asynchronous machine in its passport data. Since the operation of any asynchronous motor depends on the connecting circuit of its windings, let us initially determine that the stator windings of switch electric engine type MST-0.3 are Y-connected and all the relevant passport data will be taken with respect to this method of windings connection.

Let us present the formulas and carry out the calculations of parameter values of the mathematical model. After that one should input the obtained values in the setting fields of the respective model blocks [4, 5].

The rated slip is determined using the formula:

$$s_H = \frac{n_s - n_H}{n_s}, \quad (9)$$

where  $n_s$  – is synchronous speed (the rotation speed of the magnetic field), r/min;  $n_H$  – is the nominal speed of engine rotation, r/min.

Switch electric engines of MST series are made with greater slip, reaching at the rated load 18%.

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

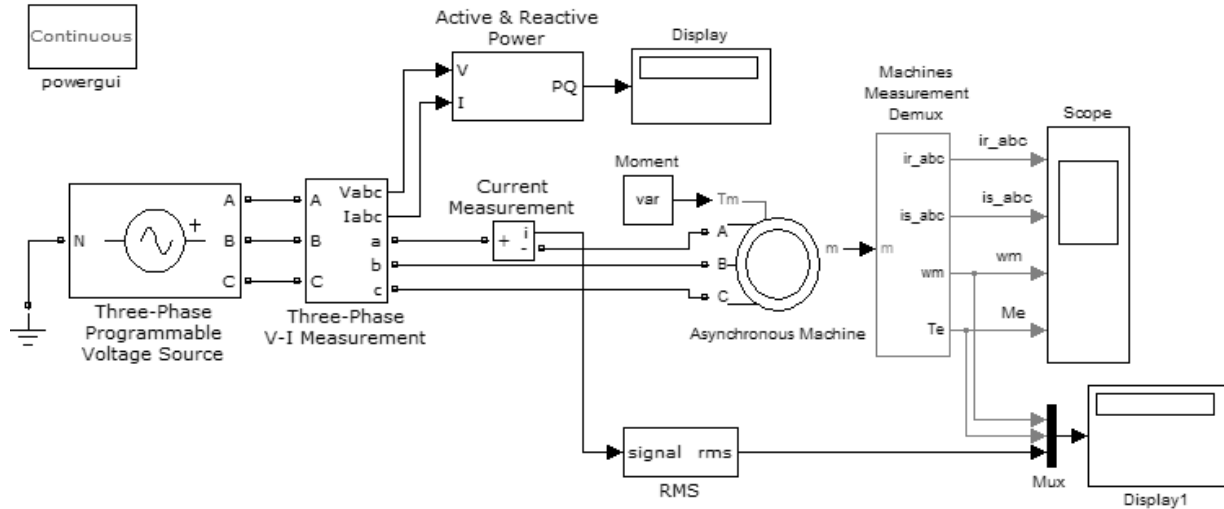


Fig. 3. Virtual setup model for the asynchronous machine research

The critical slip can be found using the formula:

$$s_k = (m_k + \sqrt{m_k^2 - 1}) s_H, \quad (10)$$

where  $m_k$  – is the ratio of short circuit (starting) torque to the nominal torque;  $s_H$  – is the nominal slip.

In turn, the coefficient  $m_k$  is determined using the ratio:

$$m_k = \frac{M_K}{M_H}, \quad (11)$$

where  $M_K$  and  $M_H$  – are the short circuit torque (when starting) and the nominal torque accordingly.

The ratio of the starting and nominal torques represents the starting performance and for the engine type MST-0.3 it is equaled 2.5.

With known components of the formula (10) now let us calculate the critical slip value:

$$s_k = (2,5 + \sqrt{2,5 - 1}) 0,18 = 0,67$$

The structural factor can be determined using the following formula:

$$c_1 = 1 + \frac{L_{ls}}{L_m}, \quad (12)$$

where  $L_{ls}$  – is the leakage inductance of the stator and rotor, H;  $L_m$  – is the mutual induction between the stator and rotor, H.

Originally the constructive factor is set in the range from 1.02 to 1.05 for the preliminary calculation of equivalent circuit parameters. Smaller

values are accepted for machines of larger capacity. After calculating the inductance in the equation (12), it is necessary to compare the obtained value with the originally selected one and specify the calculation. Usually during two or three iterations the agreement of the received and the calculated structural factor can be achieved.

As in this case we observe the low-power asynchronous machine we take the initially greater value of constructive factor and assume that  $c_1 = 1.05$ .

The formula for determining the viscous friction coefficient has the following form:

$$B_m = \frac{\Delta P_m}{(2 \pi n_H / 60)^2}, \quad (13)$$

where  $\Delta P_m$  – are the mechanical losses, W;  $\pi$  – is a mathematical constant;  $n_H$  – is the nominal speed of engine rotation.

In equation (13) the mechanical losses  $\Delta P_m$ , representing bearing friction and losses for machine ventilation are determined using the equation:

$$\Delta P_m = \sqrt{3} I_H U_H \cos \varphi \eta - P_H, \quad (14)$$

where  $I_H$  – is the current in the circuit of asynchronous engine in the operation mode for nominal load, A;  $U_H$  – is voltage at the terminals of asynchronous motor in the operation mode for rated load, V;  $\cos \varphi$  – is the power coefficient of asynchronous motor;  $\eta$  – is the efficiency coefficient of asynchronous motor;  $P_H$  – is the power that is necessary to be developed by asynchronous motor to overcome the resisting force of the rated load, W.

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Let us perform the calculation of mechanical losses  $\Delta P_m$  according to formula (14), substituting the variables and coefficients by their corresponding known values:  $\pi = 3.14$ ,  $I_H = 2.1$  A,  $U_H = 190$  V,  $\cos \varphi = 0.72$ ,  $\eta = 0.66$ ,  $P_H = 300$  W. The formula (14) will take the following form:

$$\Delta P_m = \sqrt{3} \cdot 2.1 \cdot 190 \cdot 0.72 \cdot 0.66 - 300 = 28.41 \text{ W}.$$

According to design requirements for the rated operating conditions of the machine the mechanical losses should be 0.1 ÷ 0.5% of output power. Let us define a relative measurer of mechanical losses in our case. To do this we find out the mechanical losses ratio to the useful power, i.e. power that is required to perform the work for overcoming the resistance to the motor shaft movement:

$$\frac{\Delta P_m}{P_H} = \frac{28.41}{300} = 0.095,$$

The percentage is 9.5%. Thus, for the engine type MST-0.3, the mechanical losses value is almost 20 times exceed the upper limit of electric machine losses, which is an acceptable indicator for low power machines.

Therefore, returning to the calculations, we substitute the value found for the mechanical losses and the known value of the rated motor speed  $n_H = 850 \pm 5\%$  r/min in the formula for determining the coefficient of viscous friction (13) and define its numerical value:

$$B_m = \frac{28.41}{(2 \cdot 3.14 \cdot 850/60)^2} = 0.0036 \text{ N/m/s}$$

The stator resistance can be determined using the formula:

$$R_s = \frac{3}{2} \frac{(U_H / \sqrt{3})^2 (1 - s_H)}{c_1 (1 + c_1 / s_k) M_k (P_H + \Delta P_m)}, \quad (15)$$

where  $U_H$  – is the voltage at the terminals of asynchronous motor in the mode of operation at the rated load, V;  $s_H$  – is the nominal slip;  $c_1$  – is the structural factor;  $s_k$  – is the critical slip;  $M_k$  – is the short circuit torque (during the starting);  $P_H$  – is the power that is necessary to be developed by asynchronous motor to overcome the resisting force of rated load, W;  $\Delta P_m$  – are the mechanical losses, W.

In the formula (15) only the short-circuit torque  $M_k$ , which can be found using the formula (11) value is still remains unknown.

Let us rewrite the formula (11) with respect to short-circuit torque  $M_k$  taking into account the fact that the coefficient value  $m_k = 2.5$  and the torque at the motor shaft in the nominal load  $M_H = 3.43$  N/m are known and determine its value:

$$M_k = 3.43 \cdot 2.5 = 8.575 \text{ N/m}$$

Now that we know the values of all variables and coefficients, which are the part of formula let us perform a calculation of the stator resistance value  $R_s$  according to the expression (15), substituting the variables and coefficients by the corresponding known and previously found values:  $U_H = 190$  V,  $s_H = 0.18$ ,  $c_1 = 1.05$ ,  $s_k = 0.67$ ,  $M_k = 8.575$  N/m,  $P_H = 300$  W,  $\Delta P_m = 28.41$  W. In this case the formula will take the following form:

$$R_s = \frac{3}{2} \frac{(190 / \sqrt{3})^2}{1.05 (1 + 1.05 / 0.67)} \times \frac{(1 - 0.18)}{8.575 (300 + 28.41)} = 1.95 \text{ Ohm}$$

The rotor resistance can be determined using the formula:

$$R_r = \frac{1}{3} \frac{(P_H + \Delta P_m)}{(1 - s_H) i_k^2 I_H^2}, \quad (16)$$

where  $P_H$  – is the power that should be developed by asynchronous motor to overcome the resisting force of rated load, W;  $\Delta P_m$  – are the mechanical losses, W;  $s_H$  – is the nominal slip;  $i_k$  – is the ratio of short circuit current to the nominal current;  $I_H$  – is the current in the asynchronous motor circuit in the mode of motion for nominal load, A.

Coefficient  $i_k$  is in turn determined using the ratio:

$$i_k = \frac{I_K}{I_H}, \quad (17)$$

where  $I_K$  – is the short circuit current (starting), A;  $I_H$  – is the nominal current (current in the asynchronous motor circuit in the operation mode for nominal load), A.

The ratio of starting current value to the value of nominal one represents a starting performance and is equal to 2.3 for engine type MST-0.3.

Perform the calculation of the rotor resistance  $R_r$  according to expression (16), substituting the variables with their corresponding known and pre-



## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

viously found values:  $P_H = 300$  W,  $\Delta P_m = 28.41$  W,  $s_H = 0.18$ ,  $i_k = 2.3$ ,  $I_H = 2.1$  A.

In this case the formula (16) will take the following form:

$$R_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{(300 + 28.41)}{(1 - 0.18) \cdot 2.3^2 \cdot 2.1^2} = 5.72 \text{ Ohm}$$

Inductance of stator and rotor is determined using the following formula:

$$L_s \cong L_r = \frac{1}{2\pi f_H} \times \frac{U_H / \sqrt{3}}{I_H [\sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} - \cos \varphi s_H / s_k]}, \quad (18)$$

where  $\pi = 3.14$  – is a mathematical constant;  $f_H$  – is the current frequency in the circuit of asynchronous motor with nominal load at the shaft;  $U_H$  – is the voltage at the terminals of asynchronous motor in the mode of operation for nominal load, W;  $I_H$  – is the current in the circuit of asynchronous motor in the mode of operation for nominal load, A;  $\cos \varphi$  – is the power coefficient of asynchronous motor;  $s_H$  – is the nominal slip;  $s_k$  – is the critical slip.

Let us perform the calculation of stator inductance  $L_s$  and rotor inductance  $L_r$  according to the formula (18), substituting the variables and coefficients with their corresponding known and previously found values:  $\pi = 3.14$ ,  $f_H = 50$  Hz,  $U_H = 190$  V,  $I_H = 2.1$  A,  $\cos \varphi = 0.72$ ,  $s_H = 0.18$ ,  $s_k = 0.67$ . The formula (18) in this case will take the following form:

$$L_s \cong L_r = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} \times \frac{190 / \sqrt{3}}{2.1 \cdot [\sqrt{1 - 0.72^2} - 0.72 \cdot 0.18 / 0.67]} = 0.3324 \text{ Henry}$$

The leakage inductance of stator and rotor can be determined using the formula:

$$L_{ls} \cong L_{lr} = \frac{1}{4\pi f_H} \times \sqrt{\left(\frac{U_H / \sqrt{3}}{i_k I_H}\right)^2 - (R_s + R_r)^2}, \quad (19)$$

where  $\pi$  – is a mathematical constant;  $f_H$  – current frequency in the circuit of asynchronous motor

with nominal load at the shaft, Hz;  $U_H$  – is the voltage at the terminals of asynchronous motor in the mode of operation for nominal load, W;  $i_k$  – is the ratio of short circuit to the nominal current;  $I_H$  – is the current in the circuit of asynchronous motor in the mode of operation for nominal load, A;  $R_s$  – is the resistance of stator winding, Ohm;  $R_r$  – is the resistance of rotor winding, Ohm.

Let us perform the calculation of leakage inductance of the stator  $L_{ls}$  and rotor  $L_{lr}$  according to the formula (19); substituting the variables and coefficients their corresponding known and previously found values:  $\pi = 3.14$ ,  $f_H = 50$  Hz,  $U_H = 190$  V,  $I_H = 2.1$  A,  $i_k = 2.3$ ,  $R_s = 1.95$  Ohm,  $R_r = 5.72$  Ohm. In this case the formula (19) will take the following form:

$$L_{ls} \cong L_{lr} = \frac{1}{4 \cdot 3.14 \cdot 50} \times \sqrt{\left(\frac{190 / \sqrt{3}}{2.3 \cdot 2.1}\right)^2 - (1.95 + 5.72)^2} = 0.034 \text{ Henry}$$

Mutual inductance between stator and rotor windings can be found using the formula:

$$L_m = L_s - L_{ls}, \quad (20)$$

where  $L_s$  – is the stator inductance, Henry;  $L_{ls}$  – is the leakage inductance of stator, Henry.

Let us perform the calculation of mutual induction between the stator and rotor windings according to the formula (20), substituting the known values of stator inductance and stator leakage inductance:  $L_s = 0.3324$  Henry,  $L_{ls} = 0.034$  Henry. In this case the formula (20) will be rewritten in the following form:

$$L_m = 0.3324 - 0.034 = 0.2984 \text{ Henry}$$

Let us come back to the calculation of the structural factor  $c_l$  using the formula (12). Now we substitute the stator leakage inductance  $L_{ls}$  and mutual inductance  $L_m$  with their values found using the formulas (19) and (20) and carry out corresponding calculations:

$$c_l = 1 + \frac{0.034}{0.3324} = 1.1023.$$

In order to verify the found constructive factor value one should recalculate the value of the stator leakage inductance  $L_{ls}$ , the calculation of which in-

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

cludes the resistance of stator winding  $R_s$  taking into account the constructive factor. In addition, one needs to redefine the mutual inductance value of stator and rotor  $L_m$ , the formula of which includes the stator leakage inductance  $L_{ls}$ . After performing these calculations, it is necessary to calculate the value of constructive factor using the formula (12) once again. Let us perform the listed calculations.

To variables differed from the above, we introduce the notation in their bar. In order to make the variables different from the presented above let us put a stroke in their symbols. First of all let us define the value of the stator winding resistance  $R_s$  using the formula (15):

$$R_s' = \frac{3}{2} \cdot \frac{(190/\sqrt{3})^2}{1,1 \cdot (1 + 1/0,67)} \times \frac{(1 - 0,18)}{8,575 \cdot (300 + 28,41)} = 1,81 \text{ Ohm}$$

Now, substituting in the formula (19) the new value of stator winding resistance  $R_s'$  we find the value of stator leakage inductance  $L_{ls}$ :

$$L_{ls}' \cong L_{lr}' = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 50} \times \sqrt{\left(\frac{190/\sqrt{3}}{2,3 \cdot 2,1}\right)^2 - (1,81 + 5,72)^2} = 0,0341 \text{ Henry}$$

Let us define the new value of mutual inductance between stator and rotor  $L_m$  using the formula (20):

$$L_m' = 0,3324 - 0,0341 = 0,2983 \text{ Henry}$$

Therefore, according to the formula (12) the structural factor  $c_l$  will take the following value:

$$c_l' = 1 + \frac{0,0341}{0,3324} = 1,1026.$$

Since the discrepancy between the values of structural factor is only 0.0003 or:

$$\frac{c_l' - c}{c_l'} 100\% = \frac{1,1026 - 1,1023}{1,1023} 100\% = 0,027\%,$$

so let us round off the value of structural factor and accept  $c_l = 1.1$ .

The power consumed by motor from the network in the mode of nominal load can be determined using the formula:

$$P = m U_H I_H \cos \varphi, \quad (21)$$

where  $m$  – is the number of engine phases;  $U_H$  – is the voltage at the terminals of asynchronous engine in the operation mode for the rated load, V;  $I_H$  – is the current in the circuit of asynchronous engine in the operation mode for the rated load, A;  $\cos \varphi$  – the displacement angle between voltage and current in the circuit of electric engine.

Let us perform the calculation of power consumed by the motor from the network in the mode of rated load according to the formula (21) bearing in mind that the power is supplied from a three-phase network and  $m = 3$ , and substituting the known values of supply voltage, current in the circuit and the displacement angle between them:  $U_H = 190$ ,  $I_H = 2.1$  A,  $\cos \varphi = 0.72$ . In this the formula will be rewritten in the following form:

$$P = 3 \cdot 190 \cdot 2,1 \cdot 0,72 = 861,84 \text{ W}$$

Inertia moment of the motor shaft with load is determined according to the equation of dynamics of the electromechanical system from the formula:

$$J \frac{dw}{dt} = M - M_H \quad (22)$$

Using the existing methods of presented inertia moment definition of the electric drive [1, 6, 7] the value of inertia moment for the motor shaft with the load, which is  $0.025 \text{ kg/m}^2$  was calculated.

## Findings

Operating characteristics taken during the model operation are presented in the Figure 4. Mechanical shaft torque  $T_m$  is set  $3.43 \text{ N/m}$ , equating it to the rated torque of the motor shaft and substituting the variable var in the block *Moment*.

Operating characteristics show that the currents of stator and rotor windings (Fig. 4, a), b)) do not exceed  $2.5 \text{ A}$ , and the actual current in phase A in this case is  $2.1 \text{ A}$ . The angular velocity of the motor shaft rotation (Fig. 4, c)) reaches about  $88$  radians per second, which is  $841 \text{ r/min}$ . The electromagnetic rotation torque developed by the model of asynchronous machine at shaft tends to  $3.5 \text{ N/m}$ . The obtained results almost do not differ from the passport data of the switch AC electric engine of MST-0.3 type.

Thus, the constructed mathematical model of the switch AC electric engine of MST-0.3 type

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

meets the requirements of the model adequacy. It uses the parameters obtained by calculation based on the passport data of the machine and the operating characteristics of the model do not differ from the main indices of operating characteristics for this type of electric engine.

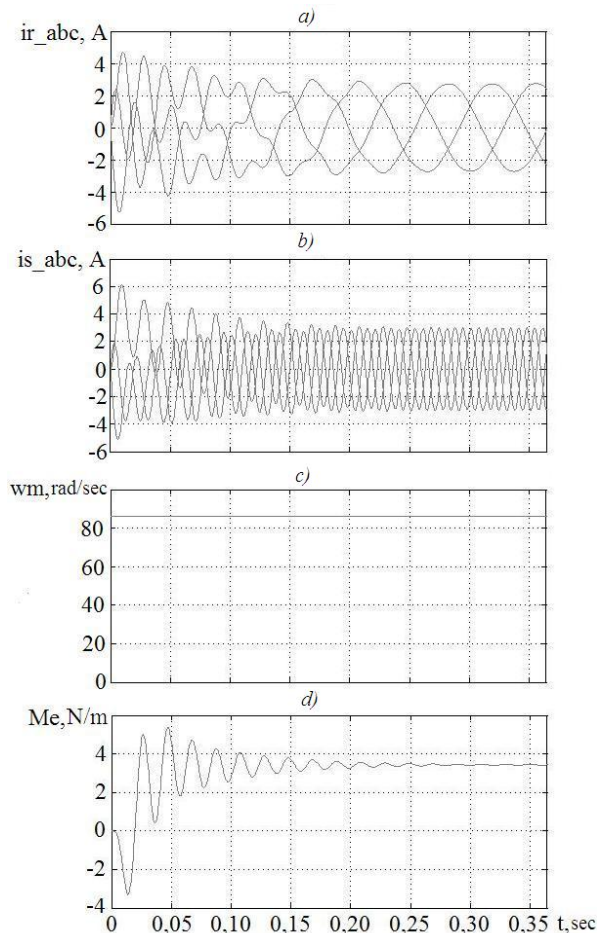


Fig. 4. Operating characteristics of the model:  
a – rotor winding currents; b – stator currents; c – angular frequency of the rotor rotation; d – electromagnetic torque.

In addition, the presented method for calculation of asynchronous machine parameters can be used not only in such tasks of modeling of switch AC electric engines, but also in dealing with other of tasks that are not related to modeling because they are the universal ones.

### Originality and practical value

Originality lies in the first developed and constructed mathematical model of the switch AC electric engine based on the calculation of asynchronous machine in its passport data. The obtained results of modeling of asynchronous ma-

chine operation confirm the model adequacy, since the parameters of its operating characteristics at the proper level coincide with those of the real analog.

From the viewpoint of practical value a new approach in the process of creating the database of failures for asynchronous motors, which are used in switch electric drives is proposed. Due to the developed model, there is an opportunity to conduct the preliminary tests of different modes of operation to determine the engine response for both the changes that you can easily reproduce in real conditions, and that you can not easily reproduce in the real world or it is impossible to reproduce them without damaging the object [10].

### Conclusions

Diverging from the principle of planned preventative maintenance with the constant need of railway workers to come to the area of rolling stock movement it is required in the created automated remote control systems to lay the greatest possible number of different situations and states of diagnosing objects with feeding them into memory. This allows except the ability to determine the parameter change to give a prediction of further state, as well as to give the recommendations to eliminate the damages.

Since the simulation results properly coincide with the real operating characteristics of the switch electric engine, so it is possible to set different loads and study the model response suggesting in advance that this response is the same as the response of the object under study.

This gives us the opportunity to predict the behavior and character of current change in the electric engine circuit, both in the standard mode, and with the deviations from the norm of the operation of electric engine itself or the turnout in general.

This mathematical model meets all the requirements for modeling of the objects created with the purpose of virtual testing to create a database of diagnostic features.

### LIST OF REFERENCE LINKS

1. Амелин, С. В. Путь и путевое хозяйство / С. В. Амелин, Л. М. Дановский. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1972. – 216 с.
2. Буряк, С. Ю. Математичне моделювання стрілочного електроприводу / С. Ю. Буряк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 34. – С. 172–175.

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

3. Герман-Галкин, С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6 : учеб. пособие / С. Г. Герман-Галкин. – СПб. : КОРОНА принт, 2001. – 320 с.
4. Герман-Галкин, С. Г. Электрические машины : лаборатор. работы на ПК / С. Г. Герман-Галкин. – СПб. : КОРОНА принт, 2003. – 256 с.
5. Герман-Галкин, С. Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК / С. Г. Герман-Галкин. – СПб. : КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
6. Дайнеко, В. А. Электрооборудование сельскохозяйственных предприятий : учеб. пособие / В. А. Дайнеко, А. И. Ковалинский. – Минск : Новое знание, 2008. – 320 с.
7. Иванов, Г. Я. Электропривод и электрооборудование : учеб. пособие / Г. Я. Иванов, А. Ю. Кузнецов, В. В. Дмитриев. – Новосибирск : Новосибир. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т, 2011. – 54 с.
8. Маловічко, В. В. Автоматизовані системи управління на транспорті / В. В. Маловічко, В. І. Гаврилюк, В. Я. Кізяков // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – Вип. 16. – С. 5–8.
9. Маловічко, В. В. Використання системи контролю стану стрілочних двигунів по кривій споживання струму в ремонтно-технічних дільницях / В. В. Маловічко, В. І. Гаврилюк, М. І. Решетняк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – Вип. 18. – С. 11–15.
10. Парфенов, В. И. Анализ дефектов и возможности диагностики стрелочных переводов / В. И. Парфенов, А. П. Разгонов, М. А. Ковригин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – Вип. 15. – С. 16–18.
11. Резников, Ю. М. Электроприводы железнодорожной автоматики и телемеханики / Ю. М. Резников. – М. : Транспорт, 1985. – 288 с.
12. Черных, И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – М. : ДМК Пресс, 2008. – 288 с.
13. Beucher, O. Introduction to MATLAB & Simulink : a project approach / O. Beucher, M. Weeks. – 3-rd ed. – Hingham, Massachusetts New Delhi : Infinity Science Press LLC, 2008. – 390 p.
14. Ong, Chee-Mun. Dynamic simulation of electric machinery using MATLAB and Simulink / Chee-Mun Ong – Upper Saddle River, New Jersey : Prentice Hall PTR, 1998. – 627 p.
15. Chaturvedi, Devenndra K. Modeling and simulation of systems using MATLAB and Simulink / Devenndra K. Chaturvedi – New York : CRC Press Taylor & Francis Group, 2010. – 711 p.
16. Giurgutiu, V. Micromechatronics modeling, analysis, and design with MATLAB / Victor Giurgutiu, Sergey Edward Lyshevski. – 2-nd ed. – New York : CRC Press Taylor & Francis Group, 2009. – 920 p.
17. Karris, Steven T. Introduction to Simulink with engineering applications / Steven T. Karris. – 2-nd ed. – Orchard Publications, 2008. – 716 p.
18. Theeg, G. Railway Signaling and Interlocking. International Compendium / G. Theeg, S. Vlasenko. – Hamburg : Eurailpress, 2009. – 448 p.

С. Ю. БУРЯК<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта bsyur@mail.ru

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРЕЛОЧНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**Цель.** Для обеспечения надежности, безопасности, а самое главное – непрерывности перевозочного процесса, необходимо разрабатывать, внедрять, а затем и усовершенствовать автоматизированные методы диагностики аппаратов, устройств и систем железнодорожного транспорта. Только лишь системы, которые работают в режиме реального времени и передают данные о мгновенном состоянии объектов контроля, могут своевременно обнаружить какие-либо неисправности и таким образом обеспечить дополнительное время на их устранение работниками железнодорожного транспорта. Стрелочные переводы являются одним из важнейших и ответственных узлов, а поэтому требуют разработки и внедрения подобной системы диагностики. **Методика.** Достижение цели наблюдения и контроля за объектами железнодорожной автоматики в режиме реального времени возможно только с применением автоматизированного процесса диагностирования состояния объектов. Для этого необходимо знать диагностические признаки объекта контроля, по которым определять его состояние в каждый момент времени. Наиболее рациональным

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

способом дистанционной диагностики является анализ формы и спектра тока, протекающего в силовых цепях объектов железнодорожной автоматики. Стрелочные переводы содержат электродвигатели, которые получают питание по электрическим цепям, а форма токовой кривой зависит как от состояния самого электродвигателя, так и от условий технического содержания стрелки. **Результаты.** Для исследования и анализа работы стрелочного электродвигателя переменного тока была разработана его математическая модель. Проведен расчет параметров и взаимозависимостей между основными показателями, влияющими на работу асинхронной машины. Получены результаты работы модели в виде временных зависимостей формы сигналов токовых кривых от нагрузки на валу двигателя. **Научная новизна.** В процессе моделирования была построена модель стрелочного электродвигателя переменного тока, которая удовлетворяет условиям адекватности. **Практическая значимость.** На основании построенной модели можно изучать работу электродвигателя в различных режимах работы, записывать и анализировать кривую тока, как реакцию на различные изменения нагрузки на валу двигателя.

**Ключевые слова:** математическое моделирование; электродвигатели; стрелочный перевод; электропривод; железнодорожная автоматика; автоматизированная диагностика

С. Ю. БУРЯК<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Автоматика, телемеханика та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта bsyur@mail.ru

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТІЛОЧНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ЗМІННОГО СТРУМУ

**Мета.** Для забезпечення надійності, безпеки, а найголовніше – безперервності перевізного процесу, необхідно розробляти, впроваджувати, а потім і вдосконалювати автоматизовані методи діагностики апаратів, пристроїв і систем залізничного транспорту. Тільки лише системи, які працюють в режимі реального часу і передають дані про миттєвий стан об'єктів контролю, можуть своєчасно виявити будь-які пошкодження і таким чином забезпечити додатковий час на їх усунення працівниками залізничного транспорту. Стрілочні переводи є одним з найважливіших і відповідальних вузлів, а тому вимагають розробки та впровадження подібної системи діагностики. **Методика.** Досягнення мети спостереження і контролю за об'єктами залізничної автоматики в режимі реального часу можливо тільки із застосуванням автоматизованого процесу діагностування стану об'єктів. Для цього необхідно знати діагностичні ознаки об'єкта контролю, за якими визначати його стан у кожний момент часу. Найбільш раціональним способом дистанційної діагностики є аналіз форми і спектра струму, що протікає в силових ланцюгах об'єктів залізничної автоматики. Стрілочні переводи містять електродвигуни, які отримують живлення по електричних колах, а форма струмової кривої залежить як від стану самого електродвигуна, так і від умов технічного утримання стрілки. **Результати.** Для дослідження та аналізу роботи стрілочного електродвигуна змінного струму була розроблена його математична модель. Проведено розрахунків параметрів і взаємозалежностей між основними показниками, що впливають на роботу асинхронної машини. Отримано результати роботи моделі у вигляді часових залежностей форми сигналів струмових кривих від навантаження на валу двигуна. **Наукова новизна.** У процесі моделювання була побудована модель стрілочного електродвигуна змінного струму, яка задовольняє умовам адекватності. **Практична значимість.** На підставі побудованої моделі можна вивчати роботу електродвигуна в різних режимах роботи, записувати й аналізувати криву струму, як реакцію на різні зміни навантаження на валу двигуна.

**Ключові слова:** математичне моделювання; електродвигуни; стрілочний перевід; електропривод; залізнична автоматика; автоматизоване діагностування

## REFERENCES

1. Amelin S.V., Danovskiy L.M. *Put i putevoye khozyaystvo* [Track and track facilities]. Moscow, Transport Publ., 1972. 216 p.
2. Buryak S.Yu. Matematychnе modeliuвання strilochnoho elektropyvodu [Mathematical modeling of electric drive turnouts]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 34, pp. 172-175.



## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

3. German-Galkin S.G. *Kompyuternoye modelirovaniye poluprovodnikovyykh sistem v MATLAB 6.0* [Computer simulation of semiconductor systems in MATLAB 6.0]. Saint Petersburg, KORONA print Publ., 2001. 320 p.
4. German-Galkin S.G. *Elektricheskiye mashiny: laboratornyye raboty na PK* [Electrical machines: laboratory works on PC]. Saint Petersburg, KORONA print Publ., 2003. 256 p.
5. German-Galkin S.G. *MATLAB & Simulink. Proyektirovaniye mekhatronnykh sistem na PK* [MATLAB & Simulink. Mechatronic systems design on PC]. Saint Petersburg, KORONA-Vek Publ., 2008. 368 p.
6. Dayneko V.A., Kovalinskiy A.I. *Elektrooborudovaniye selskokhoziaystvennykh predpriyatiy* [Electrical equipment of agricultural enterprises]. Minsk, Novoye znaniye Publ., 2008. 320 p.
7. Ivanov G.Ya., Kuznetsov A.Yu., Dmitriyev V.V. *Elektroprivod i elektrooborudovaniye* [Electric drive and electrical equipment]. Novosibirsk, 2011. 54 p.
8. Malovichko V.V., Havryliuk V.I., Kiziakov V.Ya. Avtomatyzovani systemy upravlinnia na transporti [Automatic control system on transport]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 16, pp. 5-8.
9. Malovichko V.V., Havryliuk V.I., Reshetniak M.I. Vykorystannia systemy kontroliu stanu strilochnykh dvyniv po kryvii spozhyvannia strumu v remontno-tekhnichnykh dilnytsiakh [Using the system condition monitoring of turnouts engines on curve in power consumption at repair and technical stations]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 18, pp. 11-15.
10. Parfenov V.I., Razgonov A.P., Kovrigin M.A. Analiz defektov i vozmozhnosti diagnostiki strelochnykh perevodov [Defect analysis and diagnostic capabilities of turnouts]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 15, pp. 16-18.
11. Reznikov Yu.M. *Elektroprivody zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [Electric drives of railway automatics and remote control]. Moscow, Transport Publ., 1985. 288 p.
12. Chernykh I.V. *Modelirovaniye elektrotekhnicheskikh ustroystv v MATLAB SimPowerSystems i Simulink* [Modeling of electrotechnical devices in MATLAB SimPowerSystems and Simulink]. Moscow, DMK Press Publ., 2008. 288 p.
13. Beucher O., Weeks M. Introduction to MATLAB & Simulink: a project approach. Hingham, Massachusetts New Delhi, Infinity Science Press LLC Publ., 2008. 390 p.
14. Ong Chee-Mun. Dynamic simulation of electric machinery using MATLAB/Simulink. Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall PTR Publ., 1998. 627 p.
15. Chaturvedi Devenndra K. Modeling and simulation of systems using MATLAB and Simulink. New York, CRC Press Taylor & Francis Group Publ., 2010. 711 p.
16. Giurgiutiu V., Sergey Edward Lyshevski. Micromechatronics modeling, analysis, and design with MATLAB. New York, CRC Press Taylor & Francis Group Publ., 2009. 920 p.
17. Karris Steven T. Introduction to Simulink with engineering applications. Orchard Publications, 2008. 716 p.
18. Theeg G., Vlasenko S. Railway Signaling and Interlocking. International Compendium. Hamburg, Eurail-press Publ., 2009. 448 p.

*Prof. V. I. Gavriilyuk, D. Sc. (Phys&Math); Prof. V. S. Khandetskiy, D. Sc. (Tech) recommended this article to be published*

Received: Feb. 05, 2014

Accepted: March 14, 2014

## УДК 656.259.2-047.58

О. О. ГОЛОЛОБОВА<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта golobova\_oksana@i.ua

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВХІДНИХ ПРИСТРОЇВ  
СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ**

**Мета.** Дослідити роботу системи автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС), виявити вплив зовнішніх факторів на роботу пристроїв та якість отриманої кодової інформації з рейкового кола, а також забезпечити можливість моделювання складних ситуацій, що мають вірогідність появи в процесі експлуатації. **Методика.** Для досягнення цієї мети розглянуто основні завади в роботі АЛС і причини їх виникнення, вивчено принцип побудови системи. Запропоновану автором математичну модель вхідних пристроїв системи автоматичної локомотивної сигналізації неперервного типу з числовим кодуванням (АЛСН) побудовано з урахуванням усіх типів кодових сигналів: «З», «Ж», «КЖ» та еквівалентної схеми заміщення фільтру частотою 50 Гц. **Результати.** Досліджено роботу АЛСН із частотою сигнального струму 50 Гц. Розроблено та запропоновано адекватну математичну модель вхідних пристроїв АЛСН із частотою сигнального струму 50 Гц. **Наукова новизна.** Розроблено комп'ютерну модель вхідних пристроїв системи АЛСН у середовищі MATLAB + Simulink. Наведено результати комп'ютерного моделювання на виході фільтру при подачі на вхід всіх видів кодових комбінацій. **Практична значимість.** Використовуючи розроблену математичну модель роботи АЛСН, є можливість вивчати, досліджувати й визначати поведінку схеми під час нормального режиму експлуатації та при дії завад. А також є можливість у середовищі MATLAB+Simulink розробляти й застосовувати різні схемні рішення для зменшення впливу завад на функціональну здатність АЛС і моделювати появу ймовірних складних ситуацій.

**Ключові слова:** вхідні пристрої; система автоматичної локомотивної сигналізації; математичні моделі; АЛС; завади; збій; відмова; підлогові пристрої; локомотивні пристрої

**Вступ**

Значна кількість завад впливає на роботу автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) [19, 20]. Класифікуючи причини їх виникнення, можна виділити декілька найбільш впливових дестабілізуючих чинників: складові тягового струму, електромагнітні поля ЛЕП, асиметрія рейкових кіл, зони ізолюючих стиків та багато інших [18, 13]. Також великий вплив має швидкість руху поїзда, виникаючі вібрації під час руху та вірогідність відмов напольних пристроїв. Дія цих чинників призводить до появи збоїв та відмов у роботі АЛС, що значно впливає на безпеку руху поїздів [8, 11, 15]. Враховуючи важливість забезпечення безпеки руху, удосконалення роботи АЛС з метою покращення сприйняття сигналів та зменшення впливу завад будь-якого походження залишається актуальною на цей час [2]. Існуючі на практиці методи вивчення принципів дії АЛС не є досконалими. Найбільш високу достовірність фіксування та аналізу різноманітних недоліків системи забез-

печує використання вагон-лабораторії та автоматизована обробка отриманої інформації. Але цей спосіб має певні недоліки, серед яких: фінансові витрати на утримання вагон-лабораторії та обслуговуючого персоналу, необхідність безпосереднього виїзду на відповідну ділянку, недосконалість та застарілість обладнання, що використовується.

На сьогодні існує спеціальне програмне забезпечення ЕОМ, що дає широкий спектр можливостей щодо математичного моделювання багатьох технічних пристроїв та процесів в них. Це дає змогу вирішувати багато проблем у вивченні принципу дії, впливу зовнішніх факторів на роботу пристроїв, а також забезпечує можливість моделювання будь-яких складних ситуацій, що мають вірогідність появи в процесі експлуатації. Тому розробка математичної моделі локомотивної системи сигналізації або її окремих складових (таких як фільтр, підсилювач, дешифратор) є корисною для вивчення її як об'єкта дослідження.

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

**Мета**

Метою роботи є дослідження автоматичної локомотивної сигналізації шляхом побудови математичної моделі її вхідних пристроїв.

Математична модель допомагає у вивченні об'єкта дослідження, оскільки дозволяє прослідкувати його внутрішні процеси і взаємодії. Серед переваг моделювання на ЕОМ також і повторюваність, адже легко досягти необхідних умов для проведення експерименту, а для того щоб його провести, необхідно лише запустити програму. Можна отримати будь-який сигнал та дослідити, як він буде змінюватись залежно від того чи іншого впливу як на весь об'єкт дослідження, так і на окремі елементи, що входять до його складу. Також за допомогою моделювання за власним бажанням можна враховувати або ні випадкові процеси, які протікають в моделі. Програмне моделювання дозволяє виконувати дослідження небезпечних та дорогих експериментів, оскільки об'єкт є суто віртуальним і не являє собою будь-якої загрози та не потребує жодних витрат на виробництво. У розробника усі елементи для створення програмної моделі в наявності відразу з початкового моменту, що також відноситься до основних переваг комп'ютерного моделювання, оскільки не залежить ні від якості та швидкості постачання матеріалів, ні від їх вартості.

Тому, скориставшись перевагами комп'ютерного моделювання та створивши модель АЛС, є можливість вивчати, досліджувати та визначати поведінку схеми під час нормального режиму експлуатації та при дії завад. Окрім цього, на прикладі створеної моделі є доцільним розроблення і застосування різних схемних рішень для зменшення впливу завад на функціональну здатність АЛС [2].

**Методика**

Використана еквівалентна схема заміщення фільтра частотою 50 Гц. Використовуючи інструменти програмного середовища MATLAB + Simulink побудована комп'ютерна модель вхідних пристроїв системи автоматичної локомотивної сигналізації неперервного типу з числовим кодуванням (АЛСН). Запропоновано використання моделі генератора коду, яка продукує всі типи кодових сигналів «З», «Ж», «КЖ».

**Результати**

Досліджено роботу комп'ютерної моделі вхідних пристроїв АЛСН з частотою сигнального струму 50 Гц. Сигнал на виході моделі свідчить про адекватність роботи побудованої системи в програмному середовищі MATLAB + Simulink.

**Наукова новизна та практична значимість**

Розроблено комп'ютерну модель вхідних пристроїв АЛСН з частотою сигнального струму 50 Гц. Наведені результати комп'ютерного моделювання на виході фільтра при подачі на вхід всіх видів кодових комбінацій.

Використовуючи розроблену математичну модель роботи АЛСН, є можливість вивчати, досліджувати та визначати поведінку схеми під час нормального режиму експлуатації та при дії завад. А також в середовищі MATLAB + Simulink можна розробляти і застосовувати різні схемні рішення для зменшення впливу завад на функціональну здатність АЛС.

*Структура та пристрої системи АЛСН числового коду з частотою сигнального струму 50 Гц.* Усі пристрої, які входять до складу АЛСН, можна поділити на колійні (ті, що передають кодовий сигнал) та локомотивні (ті, що сприймають кодовий сигнал). Колійні пристрої знаходяться в релейній шафі, яка розташована біля колійного світлофора. До складу колійних пристроїв входять кодовий колійний трансмітер (ТРМ) та трансформатор (Тр) [1, 5]. Трансмітер перетворює сигнальні показання колійного світлофора у відповідну комбінацію числового імпульсного коду, який складається з певної кількості імпульсів та пауз різної тривалості (рис. 1).

У склад локомотивних пристроїв АЛС входять приймальні котушки (ПК), фільтр (Ф), локомотивний підсилювач (УС) з імпульсним реле (ІР), дешифратор (Д), електропневматичний клапан автостопа (ЕПК), локомотивний світлофор (ЛС), локомотивний швидкостемір (ЗСЛ), рукоятка (кнопка) пильності (РБ), кнопка (ВК) для запалювання на локомотивному світлофорі білого вогню замість червоного, а також тумблер (перемикач) ДЗ для зміни інтервалу часу періодичної перевірки пильності машиніста [10].

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

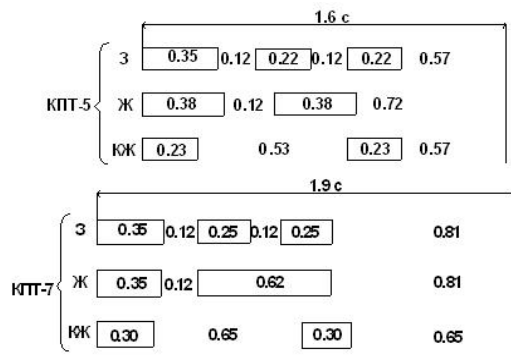


Рис. 1. Числовий код АЛСН

Fig. 1. ALSN numeric code

Колійними пристроями АЛС кодовий струм по одній з рейкових ниток посиляється назустріч локомотиву, замикається через його першу колісну пару і по другій рейковій нитці повертається до джерела живлення. Протікання в рейках імпульсів змінного струму супроводжується утворенням навколо рейок змінного магнітного поля, в якому переміщуються приймальні котушки локомотива, які підвішені перед першою колісною парою з кожного боку по дві [4]. Висота установки приймальних котушок над рівнем головки рейки складає 150–220 мм. Силкові лінії магнітного поля, перетинаючи витки ПК, наводять у них змінну е.р.с., величина якої залежить від величини кодового струму в рейках і висоти встановлення котушок. Так, при висоті ПК над рівнем головки рейки 150 мм і кодовому струмі в рейках 10 А величина е.р.с. становить приблизно 0,65–0,75 В. Для додавання е.р.с. обох котушок вони включаються послідовно [9]. Мінімальний кодовий струм, який може сприйматися приймальними котушками, для різних видів тяги і роду струму становить від 1,2 до 2,0 А [6].

Наведена в ПК е.р.с. через фільтр (Ф), надходить у локомотивний підсилювач (УС).

Імпульсне реле (ІР) на виході підсилювача є повторювачем коду, посиляючи його в дешифратор (Д) як зашифроване показання сигналу. Дешифратор містить низку реле, які об'єднані в кілька блоків (рис. 2).

Блок лічильника (БС) – реле-лічильники, які забезпечують підрахунок кількості імпульсів і інтервалів між ними.

Блок фіксації коду (БФК) – сигнальні реле «З», «Ж», «КЖ», які створюють відповідні кола живлення сигнальних ламп локомотивного світлофора.

Блок відповідності (БКС) – забезпечує контроль (порівняння, відповідність) прийнятого коду і стан сигнальних реле БФК. Блок відповідності періодично через 5–6 с підключає сигнальні реле до реле-лічильників для того, щоб на локомотивному світлофорі загорівся потрібний вогонь. Таким чином, зміна вогнів локомотивного світлофора відбувається з запізненням на 5–6 с. Цей час відповідає прийому трьох серій кодових імпульсів.

Блок контролю швидкості – містить реле контролю швидкості (РКС), що взаємодіє з локомотивним швидкостеміром.

Блок пильності (ББ) – здійснює контроль пильності машиніста. При зміні вогню локомотивного світлофора, наприклад із зеленого на жовтий, розривається електричний ланцюг живлення котушки ЕПК і з'являється звуковий сигнал, який звучить протягом 7–8 с [7]. До закінчення цього часу машиніст повинен натиснути рукоятку (кнопку) пильності (РБ) і тим самим відновити ланцюг живлення котушки ЕПК і припинити звучання свистка.

*Визначення системи АЛС в якості об'єкта діагностування.* Для передачі повідомлень від колійних пристроїв до локомотивних використовується лінія індуктивного зв'язку, що є сукупністю індуктивно зв'язаних контурів, в якій один контур є лінією, довжина якої перевищує довжину хвилі струму в ній. Лінія індуктивного зв'язку широко використовується для обміну інформацією між колійними і локомотивними пристроями в системах автоматичної локомотивної сигналізації. В цьому випадку вона складається з двопровідної рейкової лінії і зв'язаної з нею локомотивної індукційної котушки (рис. 2) [3].

У свою чергу локомотивний приймач сигналів системи АЛС числового коду містить фільтр, підсилювач сигналів, амплітудний детектор, з виходу якого кодові комбінації у вигляді послідовностей імпульсів постійного струму надходять на вхід декодера. Декодер відповідно до прийнятої кодової комбінації відтворює сигнал на одному з виходів, що означає прийом повідомлення того чи іншого змісту. За допомогою таких сигналів здійснюється управління гальмівною системою поїзда і пристроєм індикації та сигналізації машиніста, до яких відносяться локомотивний світлофор і пристрій звукової попереджувальної сигналізації [12].

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

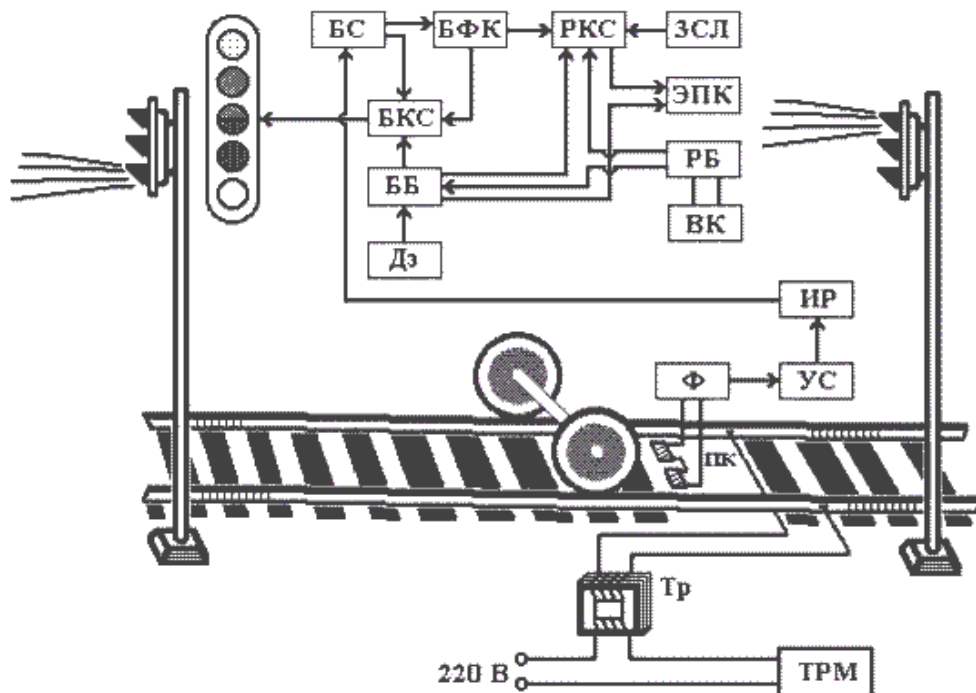


Рис. 2. Структурна схема АЛСН

Fig. 2. ALSN block diagram

Сигнальний струм подається від передавального пристрою до поїзда по одній рейці, протікає через замикаючу рейки між собою колісну пару і повертається по передавальному пристрою по іншій рейці. При цьому рейки і колісна пара утворюють рамку зі струмом, магнітне поле якої вловлюється підвишеними над рейками перед першою колісною парою приймальними котушками [17].

Побудова математичної моделі вхідних пристроїв системи автоматичної локомотивної сигналізації неперервної дії (АЛСН) у середовищі *MATLAB + Simulink*. Для розуміння процесів, що відбуваються в системі АЛСН, та побудови математичної моделі скористаємося найбільш наочним та простим для сприйняття варіантом наведення схеми фільтра частотою 50 Гц (рис. 3) [14].

Перший контур включає індуктивність двох приймальних котушок, а також індуктивність зв'язку  $L1$ , утворену вхідним ланцюгом трансформатора  $TP1$  і конденсатором  $C1$ . Добротність цього контуру дорівнює 3–4. Також до нього входить Е джерело сигналів АЛСН. Другий контур складено іншою обмоткою транс-

форматора з індуктивністю  $L2$  та конденсатором  $C2$  (ці елементи фільтра розміщені в блоці підсилювача). Добротність цього контуру дорівнює 10.

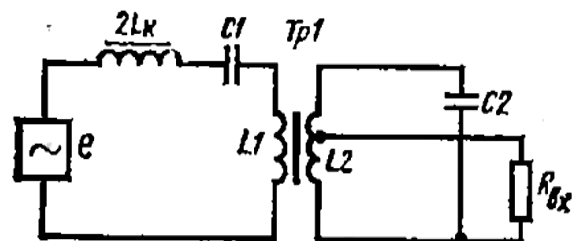


Рис. 3. Схема фільтра частотою 50 Гц

Fig. 3. Filter circuit 50 Hz

Від частини обмотки трансформатора  $TP1$  прийнятий сигнал подається в перший каскад підсилювача з навантаженням. Завдяки індуктивному зв'язку і налаштуванню контурів в резонанс вони створюють фільтр, який пропускає з невеликим затушенням лише певну смугу частот, тобто є сукупністю, що мають фільтруючі властивості. Такий фільтр електрично еквівалентний двом послідовно з'єднаним контурам: послідовному з елементів першого контуру



## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

(приймальних котушок і конденсатора C1) і паралельного контуру з індуктивним опором зв'язку і конденсатором C2. Подібна система з контурів має дві частоти послідовного і одну паралельного резонансу.

Фільтр має смугу пропускання приблизно 14 Гц і пригнічує перешкоди з частотою нижче 10 Гц, індуктовані в результаті коливань приймальних котушок у магнітному полі тягового струму під час руху локомотива, а також в результаті впливу гармонік з частотою 100 Гц і вище, наявних в контактній мережі.

Побудована математична модель складається з таких блоків (рис. 4):

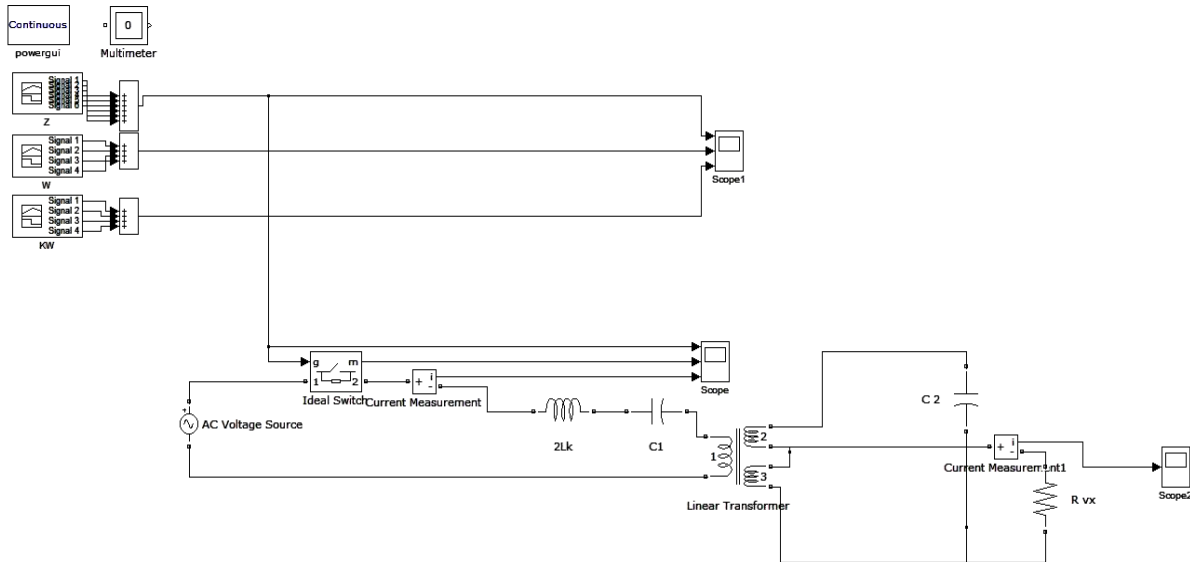


Рис. 4. Математична модель входних пристроїв АЛСН

Fig. 4. Mathematical model of ALSN input devices

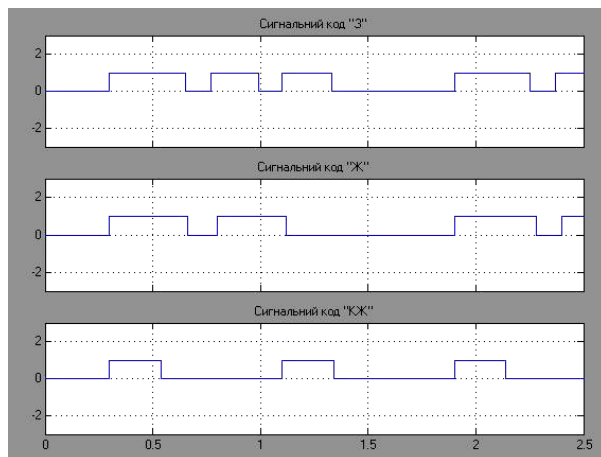


Рис. 5. Кодові сигнали «З», «Ж», «КЖ»

Fig. 5. "Z", "W", "KW" code signals

Z – генератор коду «З»; W – генератор коду «Ж»; KW – генератор коду «КЖ», параметри кожного з цих генераторів, створюють комбінації інтервалів та імпульсів певної тривалості, що точно відображають комбінації відповідних кодових сигналів (рис. 5); Scope – осцилограф; AC Voltage Source – джерело змінної напруги; Ideal Switch – перемикач; Current Measurement – вимірювач струму; 2Lk – індуктивність двох приймальних котушок; C1, C2 – конденсатори; Linear Transformer – трансформатор; R vx – навантаження підсилювача.

За чинними технічними умовами приймальна котушка характеризується такими електричними параметрами: активний опір змінному струму з частотою 50 Гц більше 650 Ом, індуктивність  $7,1 \pm 0,35$  Гн, добротність 3,5. У разі підвищення на висоті 150 мм, струмі в рейках 10 А частотою 50 Гц в катушці наводиться е.р.с. відповідно не менше 0,75 В.

Дві послідовно з'єднані приймальні котушки на частоті 50 Гц повинні мати добротність 3,5–4,0 і індуктивність 14,0 Гн; е.р.с., що наводиться в розімкнутих і відключених від пульта котушках, при струмі в ланці 10 А повинна складати 1,3 В.

Трансформатор фільтра і його конденсатори входять в конструкцію самого підсилювача

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

(тип УК25/50М). Первинна обмотка I (820 витків) входить разом з конденсатором С1 (типу МБГП,  $0,75 \text{ мкФ} \pm 5\%$ , 200 В) в контур приймальних котушок. Вторинна обмотка II (1 700 витків з відводами від 60, 75, 90 і 105-го витків) має додаткову секціоновану обмотку III (161 виток з відводами від 92 і 115-го витків), за допомогою якої другий контур з конденсатором С2 (ємністю  $4 \text{ мкФ} \pm 5\%$ , 200 в) налаштовується в резонанс на частоту 50 Гц. Магнітопровід трансформатора має фіксований повітряний зазор 0,9 мм для стабілізації індуктивності його обмоток.

## Результати моделювання

При подачі на вході коду «З» на виході фільтра маємо:

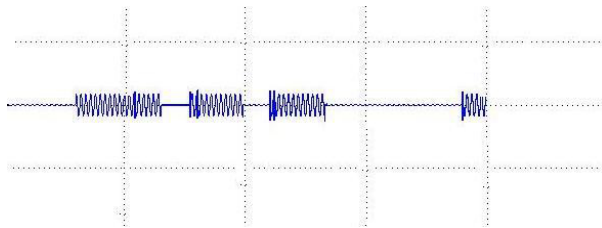


Рис. 6. Кодовий сигнал «З» на виході фільтра

Fig. 6. Code signal "Z" on the filter output

При подачі на вході коду «Ж» на виході фільтра маємо:

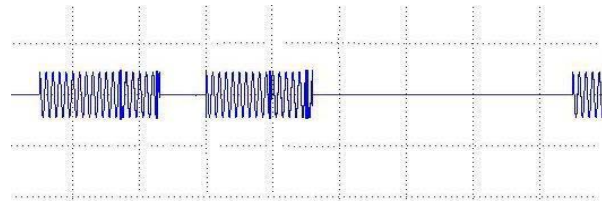


Рис. 7. Кодовий сигнал «Ж» на виході фільтра

Fig. 7. Code signal "W" on the filter output

При подачі на вході коду «КЖ» на виході фільтра маємо:

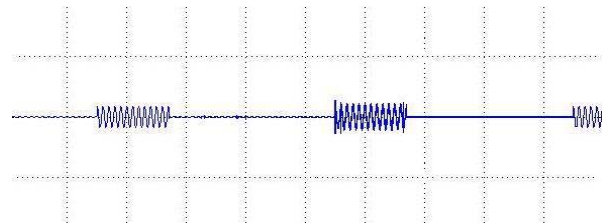


Рис. 8. Кодовий сигнал «КЖ» на виході фільтра

Fig. 8. "KW" code signal on filter exit

Для порівняння наведемо приклад зображення ідеальних кодових сигналів, виміряних вагоном-лабораторією:

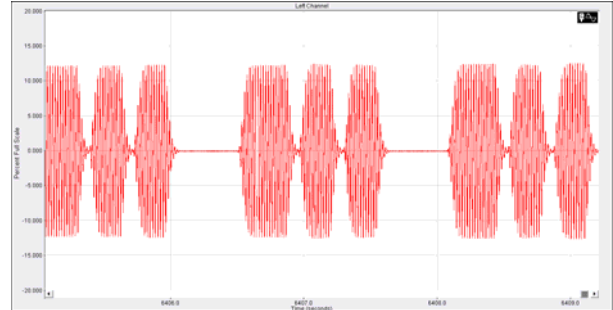


Рис. 9. Кодовий сигнал «З»

Fig. 9. "Z" code signal

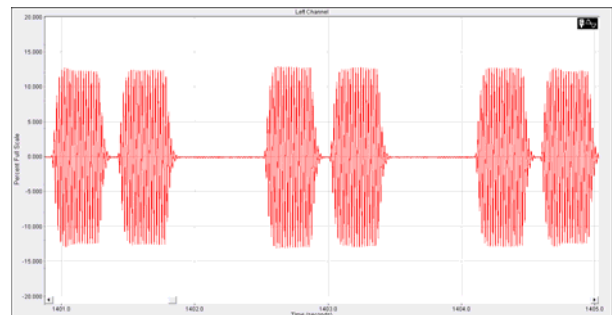


Рис. 10. Кодовий сигнал «Ж»

Fig. 10. "W" code signal

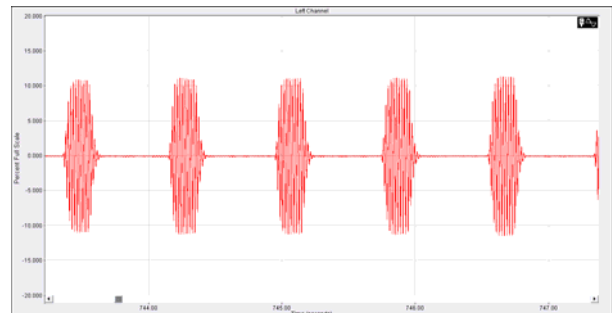


Рис. 11. Кодовий сигнал «КЖ»

Fig. 11. "KW" code signal

## Висновки

Проаналізовано структуру та функціонування пристроїв системи АЛСН числового коду з частотою сигнального струму 50 Гц. На основі аналізу розроблена комп'ютерна модель вхідних пристроїв приймача АЛСН. Порівнюючи рисунки 6–8 і 9–11, можна побачити, що результати моделювання співпадають з експериментом, що є основою узагальнення. Тобто

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

розроблена комп'ютерна модель вхідних пристроїв приймача АЛСН є адекватною. І стає можливим експериментальне вивчення роботи АЛСН в умовах виникнення завад та спотворення кодового сигналу в математичному середовищі MATLAB + Simulink. Що, в свою чергу, забезпечує реальним можливість моделювання щодо їх ймовірних складних ситуацій та розробки способів виявлення, попередження та захисту.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматическая локомотивная сигнализация [Електронний ресурс]. – 2010. – Режим доступу: [http://pomogala.ru/tormoza/tormoza\\_39.html](http://pomogala.ru/tormoza/tormoza_39.html). – Назва з екрана.
2. Балуев, Н. Н. Развитие средств ЖАТ. Стратегия и тактика / Н. Н. Балуев // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 8. – С. 2.
3. Бушуев, В. И. Явление феррорезонанса в фазочувствительных рельсовых цепях частотой 50 Гц / В. И. Бушуев, С. В. Бушуев // Автоматика, связь, информатика. – 2004. – № 3. – С. 31–32.
4. Гончаров, К. В. Исследование переходных процессов в тональных рельсовых цепях / К. В. Гончаров // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – № 4 (46). – С. 7–17.
5. Гончаров, К. В. Синтез цифрового локомотивного приемника автоматической локомотивной сигнализации / К. В. Гончаров // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – № 1 (43). – С. 30–38.
6. Горенбейн, Е. В. Сбои кодов АЛСН и их учет / Е. В. Горенбейн, С. В. Лукоянов, В. В. Вологжанин // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 7. – С. 18–22.
7. Григорьев, В. Л. Оптимизация электропроводности рельсового стыка при пропуске тяжеловесных поездов / В. Л. Григорьев, А. В. Котельников // Автоматика, связь, информатика. – 2005. – № 8. – С. 13–16.
8. Киякина, Т. Е. Причины сбоев в работе автоматической локомотивной сигнализации, методы решения проблем / Т. Е. Киякина, Д. И. Селиверов // Технические науки в России и за рубежом (12.11.2012) : материалы II междунар. науч. конф. – М. : Буки-Веди, 2012. – С. 47–49.
9. Леушин, В. Б. Анализ причин сбоев в системе АЛСН / В. Б. Леушин, К. Э. Блачев, Р. Р. Юсупов // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 4. – С. 20–25.
10. Лукоянов, С. В. Сбои кодов АЛСН на скоростном участке стало меньше / С. В. Лукоянов // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 9. – С. 22–25.
11. Лукоянов, С. В. Сбои кодов АЛСН на скоростном участке стало меньше / С. В. Лукоянов // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 11. – С. 34–36.
12. Найвельт, Г. С. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры : справочник / Г. С. Найвельт. – М. : Радио и Связь, 1986. – 576 с.
13. Причины сбоев в работе устройств АЛСН [Електронний ресурс] // Безопасное управление поездом. Характеристики опытных машинистов и их обучение. – 2013. – Режим доступу: <http://poezdpr.ru/prichiny-sboev-v-rabote-ustroystv-alsn/>. – Назва з екрана.
14. Путьевая блокировка и авторегулировка : учеб. для вузов / Н. Ф. Котляренко, А. В. Шишляков, Ю. В. Соболев и др. ; под ред. Н. Ф. Котляренко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1983. – 408 с.
15. Системы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира / под ред. Грегора Теега, Сергея Власенко. – М. : Интекст, 2010. – 488 с.
16. Шаманов, В. И. Асимметрия тяговых токов под катушками АЛС / В. И. Шаманов, Ю. А. Трофимов // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 11. – С. 37–39.
17. Шевердин, И. Н. Влияние тяжеловесных поездов на рельсовые цепи и АЛС / И. Н. Шевердин, В. И. Шаманов // Автоматика, связь, информатика. – 2004. – № 8. – С. 24–29.
18. Эксплуатационные основы автоматики и телемеханики : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Вл. В. Сапожников, И. М. Кокурин, В. А. Кононов и др. ; под ред. проф. Вл. В. Сапожникова. – М. : Маршрут, 2006. – 247 с.
19. Gavriluk, V. I. Telemetric system for the control of signal parameters of rail circuits / V. I. Gavriluk, T. N. Serdyuk // Transport systems telematics : II Intern. Conf. – Poland : Katowice-Ustron, 2002. – P. 185–190.
20. Gavriluk V. Computer simulation of electromagnetic interference from railway electric power system harmonics / V. Gavriluk, A. Zavgorodnyj // Arch. of transport system telematics. – 2009. – Vol. 2, № 1. – P. 33–37.

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

О. А. ГОЛОЛОБОВА<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта gololobova\_oksana@i.ua

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВХОДНЫХ УСТРОЙСТВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛОКОМОТИВНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

**Цель.** Исследовать работу системы автоматической локомотивной сигнализации (АЛС), выявить влияние внешних факторов на работу устройств и качество полученной кодовой информации из рельсовой цепи, а также обеспечить возможность моделирования сложных ситуаций, которые имеют вероятность появления в процессе эксплуатации. **Методика.** Для достижения этой цели рассмотрены основные помехи в работе АЛС и причины их появления, изучен принцип построения системы. Предложена математическая модель входных устройств системы автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа с числовым кодированием (АЛСН), разработанная с учетом всех типов кодовых сигналов: «З», «Ж», «КЖ» и эквивалентной схемы замещения фильтра частотой 50 Гц. **Результаты.** Изучена работа АЛСН с частотой сигнального тока 50 Гц. Разработана и предложена адекватная математическая модель входных устройств АЛСН с частотой сигнального тока 50 Гц. **Научная новизна.** Разработана компьютерная модель входных устройств системы АЛСН в среде MATLAB + Simulink. Приведены результаты компьютерного моделирования на выходе фильтра при подаче на вход всех видов кодовых комбинаций. **Практическая значимость.** Используя разработанную математическую модель работы АЛСН, есть возможность изучать, исследовать и определять поведение схемы во время нормального режима эксплуатации и во время действия помех. Также есть возможность в среде моделирования MATLAB + Simulink разрабатывать и применять разные схемные решения для уменьшения влияния помех на функциональную способность АЛС и моделировать появление вероятных сложных ситуаций.

**Ключевые слова:** входные устройства; система автоматической локомотивной сигнализации; математические модели; АЛС; помехи; сбой; отказ; напольные устройства; локомотивные устройства

О. О. GOLOLOBOVA<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail gololobova\_oksana@i.ua

## MATHEMATICAL MODELING OF THE UNPUT DEVICES IN AUTOMATIC LOCOMOTIVE SIGNALING SYSTEM

**Purpose.** To examine the operation of the automatic locomotive signaling system (ALS), to find out the influence of external factors on the devices operation and the quality of the code information derived from track circuit information, as well as to enable modeling of failure occurrences that may appear during operation. **Methodology.** To achieve this purpose, the main obstacles in ALS operation and the reasons for their occurrence were considered and the system structure principle was researched. The mathematical model for input equipment of the continuous automatic locomotive signaling system (ALS) with the number coding was developed. It was designed taking into account all the types of code signals “R”, “Y”, “RY” and equivalent scheme of replacing the filter with a frequency of 50 Hz. **Findings.** The operation of ALSN with a signal current frequency of 50 Hz was examined. The adequate mathematical model of input equipment of ALS with a frequency of 50 Hz was developed. **Originality.** The computer model of input equipment of ALS system in the environment of MATLAB + Simulink was developed. The results of the computer modeling on the outlet of the filter during delivering every type of code combination were given in the article. **Practical value.** With the use of developed mathematical model of ALS system operation we have an opportunity to study, research and determine behavior of the circuit during the normal operation mode and failure occurrences. Also, there is a possibility to develop and apply different scheme decisions in modeling environment MATLAB + Simulink for reducing the influence of obstacles on the functional capability of ALS and to model the occurrence of possible difficulties.

**Keywords:** input devices; automatic locomotive signaling; mathematical models; ALC; disturbances; failure; breakdown; floor facilities; locomotive devices

## REFERENCES

1. *Avtomaticheskaya lokomotivnaya signalizatsiya* (Automatic locomotive signaling), 2010. Available at: [http://pomogala.ru/tormoza/tormoza\\_39.html](http://pomogala.ru/tormoza/tormoza_39.html) (Accessed 20 November 2013).
2. Baluyev N.N. Razvitiye sredstv ZhAT. Strategiya i taktika [Evolution of the RAT. Strategy and Tactics]. *Avtomatika, svyaz, informatika – Automation, Communication, Computer Science*, 2012, no. 8, p. 2.
3. Bushuyev V.I., Bushueyv S.V. Yavleniye ferrezonansa v fazochuvstvitelnykh relsovykh tsepyakh chastotoy 50 Gts [Ferroresonance phenomenon in phase-sensitive rail circuits, frequency 50 Hz]. *Avtomatika, svyaz, informatika – Automation, Communication, Computer Science*, 2004, no. 3, pp. 31-32.
4. Goncharov K.V. Issledovaniye perekhodnykh protsessov v tonalnykh relsovykh tsepyakh [Investigation of transient processes in tonal track circuits]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 4 (46), pp 7-17.
5. Goncharov K.V. Sintez tsifrovogo lokomotivnogo priyemnika avtomaticheskoy lokomotivnoy signalizatsii [Synthesis of digital locomotive receiver of automatic locomotive signaling]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 1 (43), pp. 30-38.
6. Gorenbeyn Ye.V., Lukoyanov S.V., Vologzhanin V.V. Sboi kodov ALSN i ikh uchets [Failure of ALS codes and their accounting]. *Avtomatika, svyaz, informatika – Automation, Communication, Computer Science*, 2012, no. 7, pp. 18-22.
7. Grigoryev V.L., Kotelnikov A.V. Optimizatsiya elektroprovodnosti relsivogo styka pri propuske tyazhelovesnykh poyezdov [Conductivity optimization of rail joint during heavy-tonnage trains handling]. *Avtomatika, svyaz, informatika – Automation, Communication, Computer Science*, 2005, no. 8, pp. 13-16.
8. Kiyakina T.Ye., D.I. Seliverov. Prichiny sboev v rabote avtomaticheskoy lokomotivnoy signalizatsii, metody resheniya problem [Causes of failures in automatic locomotive signaling problems, solving techniques]. *Materialy II mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Tekhnicheskiye nauki v Rossii i za rubezhom»* [Proc. of the 2nd Int. Sci. and Practical Conf. «Engineering science in Russia and abroad»]. Moscow, 2012, pp. 47-49.
9. Leushin V.B., Blachev K.E., Yusupov R.R. Analiz prichin sboev v sisteme ALSN [Failures causes analysis in ALS system]. *Avtomatika, svyaz, informatika – Automation, Communication, Computer Science*, 2013, no. 4, pp. 20-25.
10. Lukoyanov S.V. Sboev kodov ALSN na skorostnom uchastke stalo menshe [ALS code failures on speed section have decreased]. *Avtomatika, svyaz, informatika – Automation, Communication, Computer Science*, 2011, no. 9, pp. 22-25.
11. Lukoyanov S.V. Sboev kodov ALSN na skorostnom uchastke stalo menshe [ALSN code failures on speed section have decreased]. *Avtomatika, svyaz, informatika – Automation, Communication, Computer Science*, 2011, no. 11, pp. 34-36.
12. Nayvelt G.S. *Istochniki elektropitaniya radioelektronnoy apparatury* [Power supplies of electronic equipment]. Moscow, Radio i Svyaz Publ., 1986, 576 p.
13. Prichiny sboev v rabote ustroystv ALSN (Failure causes of ALS devices operation). Bezopasnoye upravleniye poyezdom. Kharakteristiki opytnykh mashinistov i ikh obucheniye – Safe train control. Characteristics of experienced drivers and their training, 2013. Available at: <http://poezdpr.ru/prichiny-sboev-v-rabote-ustroystv-alsn/> (Accessed 20 November 2013).
14. Kotlyarenko N.F., Shishlyakov A.V., Sobolev Yu.V., Skrypin I.Z., Shishlyakov V.A. *Putevaya blokirovka i avtoregulirovka* [Block signalling and automatic train control]. Moscow, Transport Publ., 1983. 408 p.
15. Teeg Gregora, Vlasenko S. *Sistemy avtomatiki i telemekhaniki na zheleznykh dorogakh mira* [Systems of automatics and telemechanics on railways of the world]. Moscow, Intekst Publ., 2010. 488 p.
16. Shamanov V.I., Trofimov Yu.A. Assimetriya tyagovykh tokov pod katushkami ALS [Asymmetry of traction currents under ALS coils]. *Avtomatika, svyaz, informatika – Automation, Communication, Computer Science*, 2008, no. 11, pp. 37-39.
17. Sheverdin I.N., Shamanov V.I. Vliyaniye tyazhelovesnykh poyezdov na relsovyye tsepi i ALS [Heavy trains effect on track circuits and ALS]. *Avtomatika, svyaz, informatika – Automation, Communication, Computer Science*, 2004, no. 8, pp. 24-29.
18. Sapozhnikov V.I., Kokurin I.M., Kononov V.A., Lykov A.A., Nikitin A.B. *Ekspluatatsionnyye osnovy avtomatiki i telemekhaniki* [Operational bases of automation and telemechanics]. Moscow, Marshrut Publ., 2006. 247 p.



АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

---

19. Gavrilyuk V.I., Serdyuk T.N. Telemetric system for the control of signal parameters of rail circuits. II Int. Conf. «Transport systems telematics». Katowice, Katowice-Ustron Publ., 2002, pp.185-190.
20. Gavrilyuk V., Zavgorodnyj A. Computer simulation of electromagnetic interference from railway electric power system harmonics. *Archives of transport system telematics*, 2009, vol. 2, no. 1, pp. 33-37.

*Стаття рекомендована до публікації д.физ.-мат.н., проф. В. І. Гаврилюком (Україна); д.физ.-мат.н., проф. О. В. Коваленком (Україна)*

Надійшла до редколегії 07.02.2014

Прийнята до друку 24.03.2014

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

УДК. 656.224.078

Н. О. БОЖОК<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Облік, аудит та інтелектуальна власність», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 69, ел. пошта gaiduk-natalya@mail.ru

### МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ПРИВАБЛИВОСТІ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

**Мета.** Розробка методичного підходу для визначення привабливості пасажирських перевезень на базі факторів конкуренції. **Методика.** Для досягнення поставленої мети було виділено основні фактори конкуренції, що впливають на обсяги пасажирських перевезень. **Результати.** На ринку пасажирських транспортних послуг у дальньому сполученні фігурують 3 основні гравці: залізничний, автомобільний та авіаційний транспорт. До того ж конкуренція між ними загострюється. Тому виникла необхідність у визначенні привабливості саме залізничних перевезень. Для цього було виділено такі фактори конкуренції: цінова політика перевізника, швидкість руху транспортних засобів, термін та ритмічність поїздки, якість перевезень. Кожен із цих показників розглянуто окремо, що в результаті дало можливість побудувати інтегральний показник привабливості пасажирських перевезень. **Наукова новизна.** Запропонований методичний підхід до визначення привабливості пасажирських перевезень дає можливість оцінити її, а також враховує впровадження в Україні швидкісного руху. **Практична значимість.** Оцінка привабливості пасажирських перевезень залізничним транспортом у дальньому сполученні дозволить більш точно визначити обсяги пасажирських перевезень для підрахунку необхідної кількості рухомого складу на перспективу.

**Ключові слова:** конкуренція; фактори; ціни; швидкість; ритмічність; терміни поїздки; якість перевезень; коефіцієнт привабливості

#### Вступ

На сьогодні на ринку пасажирських транспортних послуг у дальньому сполученні фігурують 3 основні гравці: залізничний, автомобільний та авіаційний транспорт. При чому конкуренція між ними в боротьбі за пасажирів загострюється. Основними перевагами залізничного транспорту є його масовість та стабільність перевезень, високий рівень безпеки та надійності руху, мінімальна шкода для навколишнього середовища та використання різних видів енергії, можливість надання широкого діапазону комфорту і сервісу. Частка залізничного транспорту на ринку пасажирських перевезень скоротилась за останні 10 років майже на 13 %. Саме тому виникає необхідність дослідження привабливо-

сті залізничних перевезень безпосередньо для її підвищення.

#### Мета

Розробка методичного підходу щодо визначення привабливості пасажирських перевезень залізничного транспорту, який враховує вплив на обсяги пасажирських перевезень таких факторів конкуренції як: цінова політика перевізника, швидкість руху, термін та ритмічність поїздки, якість пасажирських перевезень.

#### Методика

Дослідження впливу факторів конкуренції на обсяги пасажирських перевезень виконується

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

виходячи з припущення, що пасажир обере максимально вигідний для себе транспорт з урахуванням факторів конкуренції. Розглянемо більш детально кожен з них.

### Результати

Як вже зазначалося, останнім часом залізничний транспорт втрачає свої позиції на ринку транспортних послуг. Основним конкурентом залізничного транспорту на середніх відстанях є автомобільний транспорт, оскільки більшість залізничних ліній мають паралельні автомобільні дороги. Посилює свої позиції й повітряний транспорт, який складає конкуренцію залізничному на далеких відстанях. Це сталося через те, що на обсяги пасажирських перевезень впливає група факторів конкуренції: цінова політика; швидкість руху транспортних засобів, термін та ритмічність руху; якість перевезень.

*Вплив цінової політики на обсяги пасажирських перевезень.* Тарифи на залізничні перевезення регулюються державою через їх соціальне значення. Проте пасажирські перевезення залізничним транспортом на сьогодні

є збитковими. Це приводить до необхідності час від часу збільшувати вартість проїзду залізничним транспортом. Зокрема протягом 2013 року ціни на квитки підвищувались 2 рази. Це викликало незадоволення серед пасажирів, оскільки низька ціна завжди була основною конкурентною перевагою залізничного транспорту. До того ж, автомобільний та авіаційний транспорт відвойовують пасажирів через більш досконалу тарифну політику. Наприклад, авіаційний транспорт за останні 5 років збільшив кількість перевезених пасажирів маже на 51 %. Це зумовлено використанням авіаперевізниками бюджетних авіаперельотів. Вартість такої поїздки інколи менша на 60 % за звичайну. Таке становище дозволяє повітряному транспорту захопити частку перевезень у внутрішньому та міжнародному сполученнях у залізничного транспорту. Отже, одним із основних факторів втрати пасажиропотоку залізничним транспортом є недосконала цінова політика. Для збереження конкурентоспроможності побудова цін на перевезення залізничним транспортом має враховувати ряд показників, які представлені на рис. 1.



Рис. 1. Фактори, що впливають на формування ефективної цінової політики на пасажирські перевезення залізничним транспортом

Fig. 1. Factors influencing the formation of effective price policy for passenger transportations by railway transport

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Залежно від цих показників тарифи на залізничні пасажирські перевезення будуть постійно змінюватись. Це, беззаперечно, буде впливати на привабливість пасажирських перевезень.

Отже, вдосконалення цінової політики може привести до суттєвого збільшення обсягів пасажирських перевезень залізничним транспортом через відвоювання пасажирів у інших видів транспорту.

*Вплив швидкості руху, терміну та ритмічності поїздки на обсяги пасажирських перевезень.* Протягом останніх років в Україні ведеться активне впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів. Рішенню цієї задачі постійно заважали різні проблеми. У зв'язку з проведенням Євро-2012 політичні рішення прискорили розв'язання цього питання та почалось активне виконання Державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху залізничних поїздів [5].

Впровадження швидкісного руху в Україні ставить за мету відвоювати значну частку перевезень на ринку транспортних послуг у автомобільного та авіаційного транспорту і, таким чином, мати додатковий дохід від підвищення обсягів перевезень. Для оцінки цього доходу було використано формулу (1) [11]:

$$ДС_{виш} = ДС_{пас} + \frac{Ц_{год}}{L_{cp}} \cdot (T_{пас} - T_{виш}), \quad (1)$$

де  $ДС_{виш}$  – середня дохідна ставка у високошвидкісному русі, грн/пас-км;  $ДС_{пас}$  – середня дохідна ставка у пасажирському русі, грн/пас-км;  $Ц_{год}$  – оцінка часу пасажирів, грн/пас.-год;  $L_{cp}$  – середня дальність перевезень у високошвидкісному русі, км;  $T_{пас}$  – середній час перебування пасажирів у дорозі на відстань, що дорівнює середній дальності перевезень у високошвидкісному русі, год;  $T_{виш}$  – середній час поїздки пасажирів у високошвидкісному русі на відстань, що дорівнює середній дальності перевезень у високошвидкісному русі, год.

На базі цієї формули було встановлено залежність середньої вартості поїздки від швидкості руху (табл. 1) [6].

Як бачимо із табл. 1, на вартість залізничного квитка без податку на додану вартість впливає не тільки швидкість пасажирського поїзда, але й коефіцієнт підвищення вартості поїздки.

Таблиця 1

Прогнозна середня вартість поїздки пасажирів у швидкісному та високошвидкісному поїзді [6]

Table 1

Expected average cost of passenger travel in high-speed trains [6]

Розрахункова швидкість пасажирського поїзда, км/год	Швидкість звичайного пасажирського поїзда, км/год	Приріст швидкості руху пасажирського поїзда, км/год	Економія терміну поїздки, год	Існуюча дохідна ставка, грн/пас.-км	Приріст дохідної ставки, грн/пас.-км	Нова дохідна ставка без врахування коефіцієнта швидкості, грн/пас.-км	Коефіцієнт підвищення вартості поїздки залежно від швидкості поїзда	Нова дохідна ставка з урахуванням коефіцієнта швидкості, грн/пас.-км	Середня вартість поїздки без ПДВ на 600 км, грн
85	75	10	1,0	0,17	0,029	0,199	1,2	0,2388	143,28
100	75	25	2,0	0,17	0,058	0,228	1,4	0,3192	191,52
120	75	45	3,0	0,17	0,087	0,257	1,6	0,4112	246,72
150	75	75	4,0	0,17	0,115	0,285	2,0	0,57	342
200	75	125	5,0	0,17	0,144	0,314	2,5	0,785	471
250	75	175	5,6	0,17	0,162	0,332	3,0	0,996	597,6
300	75	225	6,0	0,17	0,174	0,344	3,5	1,204	722,4

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

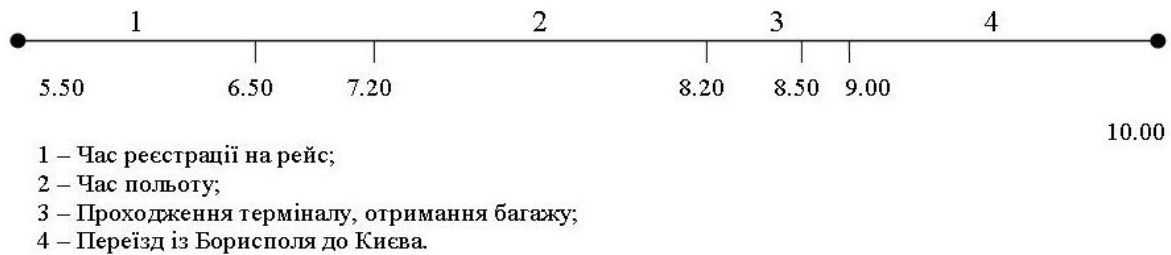


Рис. 2. Загальні витрати часу на переліт Дніпропетровськ–Київ

Fig. 2. Total time expenditures for flight Dnipropetrovsk–Kyiv

При цьому на величину цього показника впливають, собівартість швидкісних перевезень, платоспроможність населення та соціальна спрямованість перевезень. Отже, з підвищенням швидкості руху вартість на перевезення збільшується. А при швидкості 300 км/год вартість проїзду поїздом досягне рівня вартості перельоту. На перший погляд здається, що таке підвищення вартості поїздки не призведе до позитивних зрушень, однак це не так (рис. 2).

Як бачимо із рис. 2, загальний час поїздки із Дніпропетровська до Києва з використанням авіаційного транспорту сягає майже 4 годин. При цьому вартість польоту складає 1496 грн економ класом та 3415 грн бізнес класом. На сьогодні між Дніпропетровськом і Києвом курсує швидкісний потяг «Інтерсіті +», його час у дорозі 5 годин, а вартість проїзду – 241,20 грн. Тобто якщо порівняти загальний час поїздки під час використання авіаційного та залізничного транспорту, то різниця не суттєва – лише година, а різниця у вартості досить велика. За таких умов пасажир звичайно обере залізничний транспорт.

Ритмічність пасажирських перевезень та зручний графік руху також суттєво впливають на обсяги пасажирських перевезень. Доступність автомобільного та залізничного транспорту знаходиться на рівних умовах. При цьому автомобільний транспорт має ряд переваг. Наприклад, розглянемо такий напрям як Донецьк–Дніпропетровськ. Між цими містами курсує лише п'ять поїздів. Їх час у дорозі не перевищує 4,5 години, вартість проїзду коливається від 63,17 грн до 83,38 грн, залежно від класу поїзда, кількість зупинок складає 3–4 одиниці. При цьому населеність цих поїздів є досить низькою. Зовсім інша ситуація на автомобільному транспорті. Між Дніпропетровськом та Донець-

ком курсують 15 автобусів. Час у дорозі коливається від 4 до 5,5 годин, вартість проїзду – від 96,93 грн до 123 грн, а кількість зупинок складає від 2 до 4 одиниць. При цьому населеність автобусів сягає майже 90 %. Однією з причин такої нерівномірності є ритмічність курсування та час відправлення автобусів. На відміну від поїздів вони ходять кожної години з ранку до вечора. Тобто майбутній пасажир може їхати у будь-який зручний для нього час. Іншою суттєвою перевагою є можливість незапланованих зупинок. Через те цей вид транспорту є зручним для багатьох людей. Така ситуація спостерігається на багатьох маршрутах, оскільки розклад руху пасажирських поїздів не передбачає програмну оптимізацію кількості поїздів з урахуванням існуючого рухомого складу.

*Вплив якості на обсяги пасажирських перевезень.* Якість обслуговування пасажирів, які користуються залізничним транспортом, є важливою соціальною і економічною проблемою України.

Включення показників до системи оцінювання якості пасажирських перевезень вимагає виконання відповідного аналізу всіх окремих показників, які в змозі її визначити, а також узагальнюючого показника, що дозволяє визначити вагомість впливу кожної із складових на якість перевезень. Основні складові, що характеризують якість перевезень на залізничному транспорті, зображені на рис. 3.

Як бачимо з рис. 3, для оцінки було запропоновано чотири складові якості пасажирських перевезень: термін поїздки; зручність отримання поїздки; фізіологічні особливості перевезень; надійність пасажирських перевезень.

У нашому дослідженні для оцінки якості пасажирських перевезень ми обрали метод експертних оцінок, який дозволяє дати оцінку дослі-



## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

джуваному явищу у вигляді узагальненої думки фахівців [8]. Експертами, а у нашому випадку респондентами, виступають користувачі послугами залізничного транспорту – пасажери. Кількість респондентів визначалася за допомо-

гою методів загальної теорії статистики та склала 400 осіб. Подальше збільшення кількості респондентів не приводить до зміни результативних даних.



Рис. 3. Загальна схема оцінювання якості пасажирських перевезень

Fig. 3. General scheme of evaluating the quality of passenger transportations

Таблиця 2

## Вагомість показників якості пасажирських перевезень залізничним транспортом

Table 2

## The importance of quality indicators of passenger transportations by railway transport

Показник	Вагомість	
	Звичайний рух	Швидкісний рух
Термін поїздки	0,286	0,238
Зручність отримання поїздки	0,273	0,106
Фізіологічні особливості перевезень	0,290	0,167
Надійність пасажирських перевезень	0,150	0,099

Таблиця 3

## Шкала кількісно-якісних характеристик інтегрального показника комфортності пасажирських перевезень [8]

Table 3

## Scale of quantitative and qualitative characteristics of integral index of passenger transportations comfort [8]

Оцінка комфортності	Числові інтервали
Дуже висока	1,0–0,8
Висока	0,8–0,63
Середня	0,63–0,37
Низька	0,37–0,2
Дуже низька	0,2–0,0

Для дослідження було складено спеціальні анкети, у яких використано методику постановки питання, що заснована на рангових шкалах. У ході дослідження респонденти були опитані за допомогою цих анкет та визначили вагомість кожної складової для звичайних та швидкісних перевезень окремо (табл. 2).

Розрахунок узагальнюючого показника якості перевезень можна здійснити за формулою:

$$K_{\text{як}} = \sum_{i=1}^n a_i \times \frac{x_i}{x_{ei}}, \quad (2)$$

де  $K_{\text{як}}$  – інтегральний показник якості процесу перевезень залізничним транспортом;  $a_i$  – коефіцієнт вагомості  $i$ -го часткового показника;  $x_i$  – середнє значення  $i$ -го часткового показника;  $x_{ei}$  – еталонне (бажане, очікуване та практичне досягнене) значення  $i$ -го часткового показника.

Згідно з числовими розрахунками, які виконувались за допомогою програми Microsoft Excel, за результатами опитування 400 експертів узагальнюючий показник якості звичайних перевезень  $K_{\text{як}}^{\text{зв}} = 0,578$ , а узагальнюючий показник якості швидкісних перевезень  $K_{\text{як}}^{\text{шв}} = 0,61$ . Тобто середній показник якості пасажирських перевезень дорівнює:

$$K_{\text{як}} = \frac{0,578 + 0,61}{2} = 0,594.$$

Як бачимо, коефіцієнт якості швидкісних перевезень не набагато відрізняється від показника якості звичайних перевезень. Основними причинами цього є незадоволення поїздами

Hyundai Rotem, оскільки пасажирів очікували від них більшого комфорту та швидкості порівняно з поїздами типу «Столичний експрес». Незадоволення поїздами категорії «Інтерсіті +» пояснюється також незручним графіком їх курсування. Оцінку рівня якості перевезень виконано відповідно до вербально-числової шкали Харрінгтона (табл. 3).

За результатами розрахунків якості пасажирських перевезень можна оцінити як середню.

## Наукова новизна та практична значимість

На основі аналізу показників конкуренції, що впливають на обсяги перевезень, для оцінки привабливості залізничного транспорту було запропоновано коефіцієнт привабливості. Цей показник розраховується за формулою (3), яка складається із 3 коефіцієнтів і побудована як проста середня геометрична.

$$K_{\text{прив}} = \sqrt[3]{K_{\text{ц}} \times K_{\text{як}} \times K_{\text{шв}}}, \quad (3)$$

де  $K_{\text{ц}}$  – коефіцієнт підвищення вартості проїзду в пасажирському поїзді залежно від швидкості;  $K_{\text{як}}$  – коефіцієнт якості перевезень;  $K_{\text{шв}}$  – коефіцієнт, який враховує очікувану привабливість швидкісних перевезень для пасажирів різних категорій.

Коефіцієнт підвищення вартості проїзду в пасажирському поїзді враховує, на скільки збільшиться вартість проїзду залежно від зміни швидкості руху. Значення цього показника для швидкостей руху до 140 км/год приймалося

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

відповідно до діючої схеми побудови тарифів, для інших швидкостей – прогнозувалося з урахуванням європейського досвіду (табл. 1) [6, 11]. Коефіцієнт якості було визначено на базі формули (2).

Економічний ефект від впровадження швидкісного руху ( $K_{шв}$ ) можна визначити на основі формули (1). Така задача вже вирішувалась іншим науковцем [12], який виконав дослідження терміну поїздки пасажирів на величину очікуваної привабливості швидкісних перевезень для окремих груп пасажирів за формулою [12]:

$$\Delta D = \sum_{i=1}^K B^i \cdot КП^i (\Delta T + \Delta t), \quad (4)$$

де  $\Delta D$  – величина очікуваної привабливості швидкісних перевезень від підвищення швидкості руху будь-якого виду транспорту, грн;  $B^i$  – вартість однієї години для різних пасажирів, залежно від мети їх поїздки (бізнес-поїздка, відрядження, туристична подорож, поїздка на відпочинок та звичайна поїздка), грн/пас.-год;  $КП^i$  – кількість перевезених пасажирів у середньому за рік з різною метою поїздки (бізнес-поїздка, відрядження, поїздка на відпочинок, звичайна поїздка та ін.), осіб (пасажирів);  $\Delta T$  – економія терміну поїздки за рахунок підвищення швидкості руху будь-якого виду транспорту, год;  $\Delta t$  – економія терміну поїздки за рахунок зменшення очікування відправлення на вокзалах та терміну доставки пасажирів до вокзалу міським транспортом, год.

Для розрахунку величини  $B^i$  для різних груп пасажирів автором [12] встановлено критерії цінності для кожної з них. Наприклад, для середнього та великого бізнесу кожну годину економії терміну поїздки можна визначити як величину отриманого річного прибутку, віднесеному на одну годину роботи. Для менеджерів вищого та середнього рівня вказаних компаній критерієм є їх річна середня заробітна плата РЗП з урахуванням усіх видів винагород. Для пасажирів, що подорожують на відпочинок, критерієм цінності є вартість путівки або витрати на проживання, їжу та відпочинок у приватному секторі, віднесені на одну годину економії подорожі. Для пасажирів, що їдуть у відрядження, критерієм цінності є вартість відрядження, віднесена на одну годину економії

поїздки. Для інших пасажирів, які працюють, критерієм оцінки економії однієї години є середня річна заробітна плата по Україні, поділена на 2 077 годин (середня кількість робочого часу за рік) [12].

Враховуючи вищесказане, бачимо, що  $K_{шв}$  показує, на скільки збільшиться вигода пасажирів з позиції вартості 1 години при збільшенні швидкості руху, яка приводить до скорочення терміну поїздки (5).

$$K_{шв} = \frac{D_1}{D_0} = \frac{\sum_{i=1}^K B^i \cdot КП^i (T_1 + t_1)}{\sum_{i=1}^K B^i \cdot КП^i (T_0 + t_0)}, \quad (5)$$

де  $D_1, D_0$  – величина очікуваної привабливості швидкісних та звичайних перевезень відповідно, грн;  $B^i$  – вартість однієї години для різних пасажирів, залежно від мети їх поїздки (бізнес-поїздка, відрядження, туристична подорож, поїздка на відпочинок та звичайна поїздка), грн/пас.-год;  $КП^i$  – кількість перевезених пасажирів у середньому за рік з різною метою поїздки (бізнес-поїздка, відрядження, поїздка на відпочинок, звичайна поїздка та ін.), осіб (пасажирів);  $T_1, T_0$  – термін поїздки у швидкісному і звичайному поїзді відповідно, год;  $t_1, t_0$  – термін поїздки з урахуванням очікування відправлення на вокзалах та терміну доставки пасажирів до вокзалу міським транспортом, год.

Визначений інтегральний показник привабливості пасажирських перевезень описує вплив факторів конкуренції на поведінку споживача при виборі виду транспорту для подорожі. Зокрема пасажир серед можливих обере той вид транспорту, який найбільше задовольняє його потреби.

### Висновки

Запропонований у дослідженні методичний підхід до визначення привабливості пасажирських перевезень дає можливість визначити, за рахунок яких факторів конкуренції можна вплинути на обсяги пасажирських перевезень. Особливістю цього показника є те, що він враховує впровадження в Україні швидкісного руху та дає можливість оцінити привабливість швидкісних перевезень.

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Оцінка привабливості пасажирських перевезень залізничним транспортом у дальньому сполученні дозволить більш точно визначити обсяги пасажирських перевезень для підрахунку необхідної кількості рухомого складу на перспективу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гудков, О. М. Організаційно-економічний розвиток пасажирського комплексу залізничного транспорту України на основі системного підходу : дис. ... канд. економ. наук : 08.00.04 / Гудков Олександр Миколайович ; Харк. держ. акад. залізн. трансп. – Х., 2009. – 19 с.
2. Дикань, В. Л. Обеспечение конкурентоспособности предприятия : монография / В. Л. Дикань. – Х. : Основа, 1995. – 160 с.
3. Єлагін, Ю. В. Механізм забезпечення сталого розвитку : проблеми і задачі / Ю. В. Єлагін // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 41. – С. 258–260.
4. Карась, О. О. Формування сучасного механізму управління підприємствами в ринкових умовах (на прикладі пасажирського господарства залізничного транспорту) : дис. ... канд. економ. наук : 08.00.04 / Карась Олена Олександрівна ; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – 23 с.
5. Концепція Державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 31 грудня 2004 р. № 979-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/979-2004-p>. – Назва з екрана.
6. Момот, А. В. Методичні підходи до визначення ефективності курсування швидкісних та високошвидкісних поїздів / А. В. Момот // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 6 (48) – С. 45–62.
7. Момот, А. В. Методичний підхід до визначення раціональних швидкостей руху пасажирських поїздів та раціональних зон їх курсування / А. В. Момот // Проблеми економіки трансп. : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – Д., 2013. – Вип. 5 – С. 80–90.
8. Райхман, Э. Н. Экспертные методы в оценке качества товаров / Э. Н. Райхман, Г. Г. Асгальдов. – М. : Экономика, 1974. – 152 с.
9. Розробка концепції пасажирського руху на залізницях України в 2008-2015 роках (1 етап) : 44-24 / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ; кер. Бараш Ю. С. – Д., 2007. – 62 с. – Виконавці: Корженевич І. П., Гненний О. М., Копитко В. І., Мукмінова Т. А., Карась О. О. – № держреєстрації 0107U010380.
10. Транспортна стратегія України на період до 2020 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р. № 2174-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-p>. – Назва з екрана.
11. Чаркіна, Т. Ю. Дослідження впливу загального терміну поїздки пасажирів на доходи транспортних підприємств / Т. Ю. Чаркіна // Вісн. економіки трансп. і пром-сті. – Х. : Вид-во УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 39. – С. 180–183.
12. Чаркіна, Т. Ю. Управління конкурентоспроможністю залізничних пасажирських перевезень на ринку транспортних послуг : автореф. ... дис. канд. екон. наук : 08.00.04 / Чаркіна Тетяна Юріївна ; Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Х., 2013. – 22 с.
13. Barreira, A. Competitiveness of high-speed rail / A. Barreira, V. Reis, R. Macario // Transportation Research Record. – 2013. – № 2374. – P. 9–16.
14. Na, Chen. Modeling Demand for Rail Transport with Dynamic Econometric Approaches / Chen Na // Intern. Review of Business Research Papers. – 2007. – Vol. 3, № 2. – P. 85–96.
15. Noland, Robert, B. A review of the evidence for induced travel and changes in transportation and environmental policy in the US and UK / Robert B. Noland, Lewison L. Lem // Transportation Research. – 2002. – Part D7. – P. 1–16.

Н. А. БОЖОК<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Учет, аудит и интеллектуальная собственность», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 69, эл. почта gaiduk-natalya@mail.ru

## МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

**Цель.** Разработка методического подхода для определения привлекательности пассажирских перевозок на основе факторов конкуренции. **Методика.** Для достижения поставленной цели были выделены основные факторы конкуренции, влияющие на объемы пассажирских перевозок. **Результаты.** На рынке пассажирских транспортных услуг в дальнем сообщении фигурируют 3 основных игрока: железнодорожный, автомобильный и авиационный транспорт. Причем конкуренция между ними обостряется. Поэтому возникла необходимость в определении привлекательности именно железнодорожных перевозок. Для этого были выделены следующие факторы конкуренции: ценовая политика перевозчика, скорость движения транспортных средств, срок и ритмичность поездки, качество перевозок. Каждый из этих показателей рассмотрен отдельно, что в результате дало возможность построить интегральный показатель привлекательности пассажирских перевозок. **Научная новизна.** Предложенный методический подход к определению привлекательности пассажирских перевозок дает возможность оценить ее, а также учитывает внедрение в Украине скоростного движения. **Практическая значимость.** Оценка привлекательности пассажирских перевозок железнодорожным транспортом в дальнем сообщении позволит более точно определить их объемы для подсчета необходимого количества подвижного состава на перспективу.

**Ключевые слова:** конкуренция; факторы; цены; скорость; ритмичность; сроки поездки; качество перевозок; коэффициент привлекательности

N. A. BOZHOK<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Account, Audit and Intellectual Property», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 69, e-mail gaiduk-natalya@mail.ru

## METHODICAL APPROACH TO DETERMINATION OF PASSENGER TRANSPORTATION ATTRACTIVENESS ON RAILWAY TRANSPORT

**Purpose.** Development of a methodological approach to determine the attractiveness of passenger traffic on the basis of competition factors. **Methodology.** The major factors of competition affecting the passenger traffic volumes were pointed out to achieve this purpose. **Findings.** There are 3 chief players in the market of passenger transport services in the long-distance traffic: road, railway and air transport. Moreover, the competition between them is escalating. That is why there was a need for determination of railway transportation attractiveness. For this purpose the following factors of the competition were separated: price policy of a carrier; vehicle motion speed; term and rhythm of a trip; transportation quality. Each of these indicators is considered separately. As a result it gave the opportunity to construct an integrated indicator of passenger traffic attractiveness. **Originality.** The offered methodical approach to determine the passenger traffic attractiveness gives the opportunity to estimate it; as well it also considers the high-speed movement introduction in Ukraine. **Practical value.** The offered technique will give the opportunity to determine volumes of transportations more precisely. It is necessary for definition of quantity of a rolling stock for prospect.

**Keywords:** competition; factors; prices; speed; rhythm; trip terms; transportation quality; attractiveness coefficient

### REFERENCES

1. Hudkov O.M. *Orhanizatsiino-ekonomichnyi rozvytok pasazhyrskoho kompleksu zaliznychnoho transportu Ukrainy na osnovi systemnoho pidkhodu*. Kand. Diss. [Organizational and economic development of the passenger railway transport of Ukraine on the basis of a systematic approach. Cand. Diss.]. Kharkiv, 2009. 19 p.

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

2. Dikan V. L. *Obespecheniye konkurentosposobnosti predpriyatiya* [Promotion of undertaking competitiveness]. Kharkiv, Osnova Publ., 1995. 160 p.
3. Yelahn Yu.V. Mekhanizm zabezpechennia staloho rozvytku: problemy i zadachi [Support mechanisms of the sustainable development: problems and tasks]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 41, pp. 258-260.
4. Karas O.O. *Formuvannia suchasnoho mekhanizmu upravlinnia pidpriemstvamy v rynkovykh umovakh (na prykladi pasazhyrskoho hospodarstva zaliznychnoho transportu)*. Kand. Diss. [Formation of modern business operation mechanisms in market conditions (on the example of a passenger sector of railway transport) Cand. Diss.]. Dnipropetrovsk, 2008. 23 p.
5. *Kontsepsiia Derzhavnoi tsilovoi prohramy vprovadzhennia na zaliznytsiakh shvydkisnoho rukhu pasazhyrskykh poizdiv na 2005-2015 roky* (The concept of high-speed passenger trains implementation on the Ukrainian railways in 2005-2015 years), 2004. 43 p. Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/979-2004-p> (Accessed 17 February 2014).
6. Momot A.V. Metodichni pidkhody do vyznachennia efektyvnosti kursuvannia shvydkisnykh ta vysokoshvydkisnykh poizdiv [Methodological approaches to determining the effectiveness of high-speed trains running]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 6 (48), pp. 45-62.
7. Momot A.V. Metodichni pidkhid do vyznachennia ratsionalnykh shvydkostei rukhu pasazhyrskykh poizdiv ta ratsionalnykh zon yikh kursuvannia [Methodological approach to the definition of rational speed passenger trains and rational areas of there running]. *Problemy ekonomiky transportu* [Problems of Transport Economics], 2013, issue 5, pp. 80-89.
8. Raykhman E.N., Asgaldov G.G. *Ekspertnyye metody v otsenke kachestva tovarov* [Expert methods in assessment of goods quality]. Moscow, Ekonomika Publ., 1974. 152 p.
9. Barash Yu.S., Korzhenevych I. P., Hnennyi O.M., Kopytko V.I., Mukminova T.A., Karas O.O. *Rozrobka kontseptsii pasazhyrskoho rukhu na zaliznytsiakh Ukrainy v 2008-2015 rokakh (1 etap): 44-24* [Development of the concept of passenger traffic on the railways of Ukraine in 2008-2015 years]. Dnipropetrovsk, 2007. 62 p.
10. *Transportna stratehiia Ukrainy na period do 2020 roku* (Transport Strategy of Ukraine to 2012). Available at: <http://zakon.rada.gov.ua> (Accessed 17 February 2014).
11. Charkina T.Yu. Doslidzhennia vplyvu zahalnoho terminu poizdki pasazhyra na dokhody transportnykh pidpriemstv [The influence research of the passenger's traveling total period on incomes of transport undertakings]. *Visnyk ekonomiky, transportu i promyslovosti* [Bulletin of Economics, Transport and Industry], 2012, issue 39, pp. 180-183.
12. Charkina T.Yu. *Upravlinnia konkurentospromozhnistiu zaliznychnykh pasazhyrskykh perevezen na rynku transportnykh posluh*. Avtoreferat Diss. [Management of competitiveness of railway passenger services in the transport market. Author's abstract.]. Kharkiv, 2013. 22 p.
13. Barreira A., Reis V., Macario R. Competitiveness of high-speed rail. *Transportation Research Record*, 2013, no. 2374, pp. 9-16.
14. Na Chen. Modeling Demand for Rail Transport with Dynamic Econometric Approaches. *International Review of Business Research Papers*, 2007, vol. 3, no. 2, pp. 85-96.
15. Noland Robert B., Lem Lewison L. A review of the evidence for induced travel and changes in transportation and environmental policy in the US and UK. *Transportation Research.*, 2002, part D7, pp. 1-16.

Стаття рекомендована до публікації д.е.н., проф. Ю. С. Барашем (Україна); д.е.н., проф. Г. Д. Ейтутісом (Україна)

Надійшла до редколегії 06.02.2014

Прийнята до друку 13.03.2014



## УДК 656.225.078(477)

Л. В. МАРЦЕНЮК<sup>1\*</sup>, А. В. ВИШНЯКОВА<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Економіка та менеджмент», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (093) 934 18 03, ел. пошта gwinform1@rambler.ru

<sup>1</sup>Каф. «Економіка та менеджмент», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (066) 025 43 44, ел. пошта vishnyakova\_anastasiya@mail.ru

## ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ТА МЕХАНІЗМУ УПРАВЛІННЯ НИМИ

**Мета.** Для України як постсоціалістичної держави виникає об'єктивна необхідність проведення реформування на залізничному транспорті. Щоб задовольняти вимоги споживачів як всередині країни, так і за її межами, треба вчасно вирішувати транспортні проблеми та впроваджувати нові технології, не відстаючи від розвинених європейських держав. Метою статті є виявлення проблем у процесі вантажних перевезень та розробка шляхів їх подолання, формування принципів підвищення економічної ефективності використання вантажних вагонів за рахунок вдосконалення механізму управління вантажними перевезеннями в умовах реформування. **Методика.** У роботі використовувалися методи стратегічного планування, системного підходу для досліджень щодо вдосконалення механізму управління вантажними перевезеннями, а також організаційно-розпорядчий метод для побудови структури управління. **Результати.** Авторами досліджено проблеми, що виникають у процесі перевезення вантажів, та заходи, які дозволять підвищити ефективність цих перевезень. Розроблено удосконалений механізм управління вантажними перевезеннями для його застосування в умовах реформування залізничного транспорту, який ґрунтується на централізації управління. **Наукова новизна.** У статті досліджено основні фактори, які гальмують процес вантажних перевезень. Викладено принципи вдосконалення механізму управління вантажними перевезеннями, які засновані на об'єднанні комерційної та вагоноремонтної діяльності господарств. Все це дозволить значно зменшити оборот вагона шляхом зниження тривалості простоїв на залізничному транспорті, підвищити швидкість доставки вантажу й знизити транспортну складову в ціні доставленої продукції. **Практична значимість.** Запропоновані заходи дозволять підвищити ефективність використання рухомого складу залізниць та збільшити обсяги вантажообігу, сприятимуть розвитку зв'язків України із сусідніми країнами.

**Ключові слова:** механізм управління; вантажні перевезення; процес перевезень вантажу; реформування залізничного транспорту

### Вступ

Ефективність вантажних перевезень значною мірою залежить від дальності перевезень та кількості перевезених вантажів. У зв'язку з цим виникає необхідність виходу України на ринок міжнародних перевезень залізничним транспортом. Для цього є потреба у змінах нормативно-правових актів України, що регулюють процеси зовнішніх перевезень, оновлення рухомого складу.

### Мета

Сьогоденний стан транспортної інфраструктури дозволяє забезпечити потреби країни в перевезеннях, але показники економічної ефективності, рівня безпеки, технічні характеристики рухомого складу свідчать про те, що

залізничний транспорт України не відповідає вимогам європейських країн та потребує значних вдосконалень.

У зв'язку з цим Кабінетом Міністрів України затверджено Транспортну стратегію України на період до 2020 року. До складу пріоритетів розвитку залізничного транспорту входить реформування його системи управління [9].

### Методика

Метою роздержавлення залізничної транспортної галузі є пошук і залучення додаткових грошових коштів від інвесторів, адже держава не в змозі самостійно фінансувати таку капіталомістку сферу транспорту.

Реформування залізничного транспорту є однією з необхідних умов на шляху адаптації

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

українського залізничного транспорту до директив Європейського союзу, дає можливість виходу на ринок приватним компаніям та сприяє підвищенню конкурентоспроможності зазначеного виду транспорту [2].

Виявлення проблем у процесі вантажних перевезень та розробка шляхів їх подолання, вдосконалення структури управління вантажними перевезеннями дозволять досягти більш ефективного реформування, підвищити прибутковість вантажних перевезень та заохотити вкладення інвестицій у залізничний транспорт.

### Результати

Автором розроблено удосконалений механізм управління вантажними перевезеннями, суть якого полягає в об'єднанні комерційної та вагоноремонтної діяльності господарств, що дозволить значно зменшити оборот вагона шляхом зниження тривалості простоїв вагонів на залізничному транспорті, підвищити швидкість доставки вантажу та знизити транспортну складову у ціні готової транспортованої продукції.

Негативно впливають на ефективність як внутрішніх, так і транзитних вантажних перевезень такі фактори: доля зносу основних фондів становить близько 80–90 %; значна ділянка залізничних доріг залишається обладнаною дерев'яними шпалами, що негативно впливає на швидкість руху поїздів; на вантажно-розвантажувальні роботи відводиться вагома частка часу, яку можна було б використати доцільніше, і при цьому зменшити оборот вагона та підвищити продуктивність перевезень.

### Наукова новизна та практична значимість

Транспорт відноситься до сфери матеріального виробництва, забезпечуючи задоволення потреб національної економіки у вантажних перевезеннях та населення країни у пасажирських перевезеннях. Завдяки процесу транспортування здійснюється зв'язок товаровиробника зі споживачами, перевезення вантажів та пасажирів, національна та міждержавна торгівля як сировиною, так і готовою продукцією. Ефективне функціонування транспортної галузі сприяє підвищенню рівня життя населення та забезпеченню обороноздатності країни.

На залізничному транспорті особливо важливе місце займають вантажні перевезення,

адже завдяки їм Укрзалізниця отримує прибуток, скорочує збитки від обслуговування пасажирів. Розміри перевезень вантажів коливаються залежно від ринкової кон'юнктури, економічної та політичної ситуації в країні та інших факторів. На рис. 1 наведено динаміку перевезень вантажів за 2000–2012 рр.

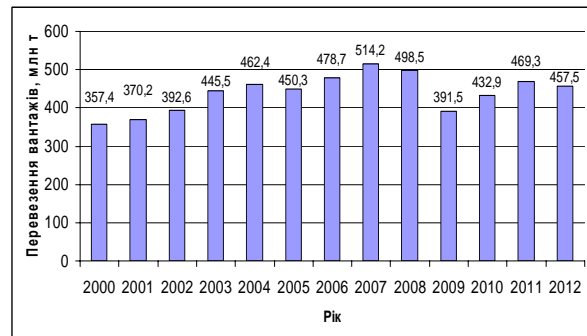


Рис. 1. Динаміка вантажних перевезень залізничним транспортом, млн т

Fig. 1. Dynamics of freight transportations by railway transport, mln. tn.

Актуальною є проблема поліпшення технології перевезення вантажів шляхом як запозичення досвіду інших країн, так і за допомогою власних новітніх розробок.

Практичні дослідження експедиторських компаній свідчать про те, що перевезення вантажів залізницею не дешевше, ніж автомобільним транспортом, навіть на далекі відстані. В Європейському Союзі ефективність залізничних перевезень, зазвичай, збільшується, коли відстань перевищує 500 км. Отже, оптимальною відстанню по Україні є проміжок від Одеси до Києва (468 км). При цьому, результати опитування свідчать, що перевезення залізницею не буде дешевшим, а якість буде гіршою, ніж при перевезенні автомобільним транспортом.

Таким чином, економічно ефективнішими є транзитні перевезення через Україну, які є доцільними, враховуючи вигідне геополітичне положення нашої країни.

На сучасному етапі розвитку транспортних технологій поширеним є використання технології мультимодальних перевезень за участю автомобільного і залізничного транспорту, яка дозволяє знизити час вантажно-розвантажувальних операцій на 15–20 %, зменшити викиди вуглецю в атмосферу, є одним із заходів удосконалення процесу вантажних перевезень.

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Мультимодальні перевезення дозволяють підвищити швидкість відправки вантажів, є найдешевшим різновидом транспортування вантажів. Ще однією з переваг цього виду перевезень є повне збереження цілісності вантажу за рахунок металевої упаковки, якою слугує контейнер [4].

При здійсненні міжнаціональних і транзитних перевезень ми стикаємося з такою перепорою, як різна ширина наших колій і західно-європейських (1 524 і 1 435 мм відповідно), що призводить до затримок на кордонах, додаткових витрат на утримання спеціальних станцій та викликає додаткові незручності.

Основним невирішеним питанням мультимодальних перевезень є суттєві відмінності між системами документації України та Європи. Європейський Союз керується правилами Конвенції щодо міжнародного транспортування товарів залізницею (COTIF), натомість Організація співробітництва залізниць, до якої входить і Україна, користується Угодою про міжнародні залізничні вантажні перевезення (SGMS). Застосування обох систем водночас неможливе, тому на кордоні всі залізничні накладні необхідно оформлювати знову. Несумісність і відмінності в оформленні перевізної документації ускладнюють європейські транзитні залізничні перевезення, і змушують шукати альтернативні види транспортування.

Функціонування контейнерних перевезень вимагає значних капітальних вкладень. Щоб перевезення були економічно ефективними, необхідні значні показники вантажообігу. Недоліком є те, що чим більшою є відстань перевезень, тим більш якісними та конкурентоспроможними стають автомобільні перевезення [1].

Лише значні зміни у підході до клієнтів та інвестування у рухомий склад Укрзалізниці можуть збільшити попит на контейнерні перевезення. На жаль, Укрзалізниця не пропонує потрібного клієнтам пакету послуг. Головним орієнтиром є зменшення вартості перевезень, в той час як клієнтам необхідна швидкість і надійність. Клієнти зауважують, що перевезення залізничним транспортом України є не тільки не швидкими й не надійними, а ще й не дешевими.

Використовуючи досвід європейських та постсоціалістичних країн, Україна проводить реформування залізничного транспорту, спря-

моване на створення такої системи управління, яка б дозволила:

1) зменшити оборот вантажного вагона, тим самим збільшивши коефіцієнт використання рухомого складу;

2) використовувати вагони компаній-банкротів замість їх простоїв на залізничних станціях, що знижує пропускну здатність залізничної мережі;

3) оновлювати рухомий склад залізниці за рахунок залучення додаткових інвестиційних коштів.

Оборот вагона характеризує тривалість виробничого циклу від одного навантаження вагона до наступного і складається з трьох елементів:

1) час перебування вагона на дільницях;

2) час перебування вагона на технічних станціях;

3) час перебування вагона під вантажними операціями.

Найбільший вплив на оборот вантажного вагона має простій вагонів на технічній станції (близько 61 %), а потім простій вагонів під однією вантажною операцією (20,2 %) [3]. Отже, для зменшення показника обороту вагона необхідно зменшити час перебування вантажного вагона на технічній станції та простій під вантажними операціями. Щоб цього досягти, можна побудувати таку структуру управління, яка б об'єднувала функції комерційного та вагонного господарств в одному підприємстві.

Вантажні перевезення мають свою специфіку, яка полягає в тому, що вони включають не тільки технологічний процес перевезення, а й підготовку вагонів до перевезень (екіпірування), технічне обслуговування і поточний ремонт вагонів, процес навантаження-вивантаження. Крім того, періодично вантажні вагони повинні направлятися у вагонні депо для виконання деповського ремонту, а в депо та заводи – для капітальних та капітального ремонту. Для цього вантажні компанії можуть включати у свою організаційну структуру пункти підготовки вагонів до перевезень, вагоноремонтні депо, інші структурні підрозділи вагонного господарства та деякі вагоноремонтні підприємства на різних умовах.

На основі цього запропоновано такий удосконалений механізм управління вантажними залізничними перевезеннями (рис. 2).



Рис. 2. Механізм управління вантажними вагонами

Fig. 2. Mechanism of freight cars management

Вдосконалення механізму вантажних перевезень полягає у тому, що він дозволяє поєднати управління вантажною і комерційною роботою залізничного транспорту та управляти вантажними парками на умовах договорів (рис. 3). Централізоване управління цими процесами дозволить зменшити тривалість поставки вантажу до замовника, оптимізувати оборот вантажного вагона, удосконалити технологічний процес перевезень.

Слід зазначити, що вагоноремонтна база перевищує потреби залізничної дороги в ремонті, тому частину депо можна продати або здавати в оренду. Пункти технічного обслуговування (ПТО), пункти контрольно-технічного обслуговування (ПКТО) належать до залізничної інфраструктури й тому не можуть бути передані до конкурентного середовища [6].

Рациональність використання вантажних вагонів компаній-операторів залежить і від державного законодавства стосовно управління перевезеннями вантажів у країні.

Європейське законодавство є більш практичним з точки зору використання вантажовласниками залізничної інфраструктури та рухомого складу. Натомість, процедура організації вантажних перевезень в Україні ускладнена та недосконала, вимагає значних витрат від вантажоперевізників, а отже, збільшує транспортну складову у вартості продукції для кінцевих споживачів.

Звісно, застосування електронних засобів комунікації спрощує систему перевезень та приводить до оптимізації витрат Укрзалізниці, але така методика ще не отримала належного поширення серед усіх вантажовласників. Слід зазначити, що наближення українського законодавства до європейського є важливою передумовою інтеграції української транспортної системи в світову, однією зі складових реформування залізничного транспорту.

Для підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту необхідно застосовувати такі заходи:

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

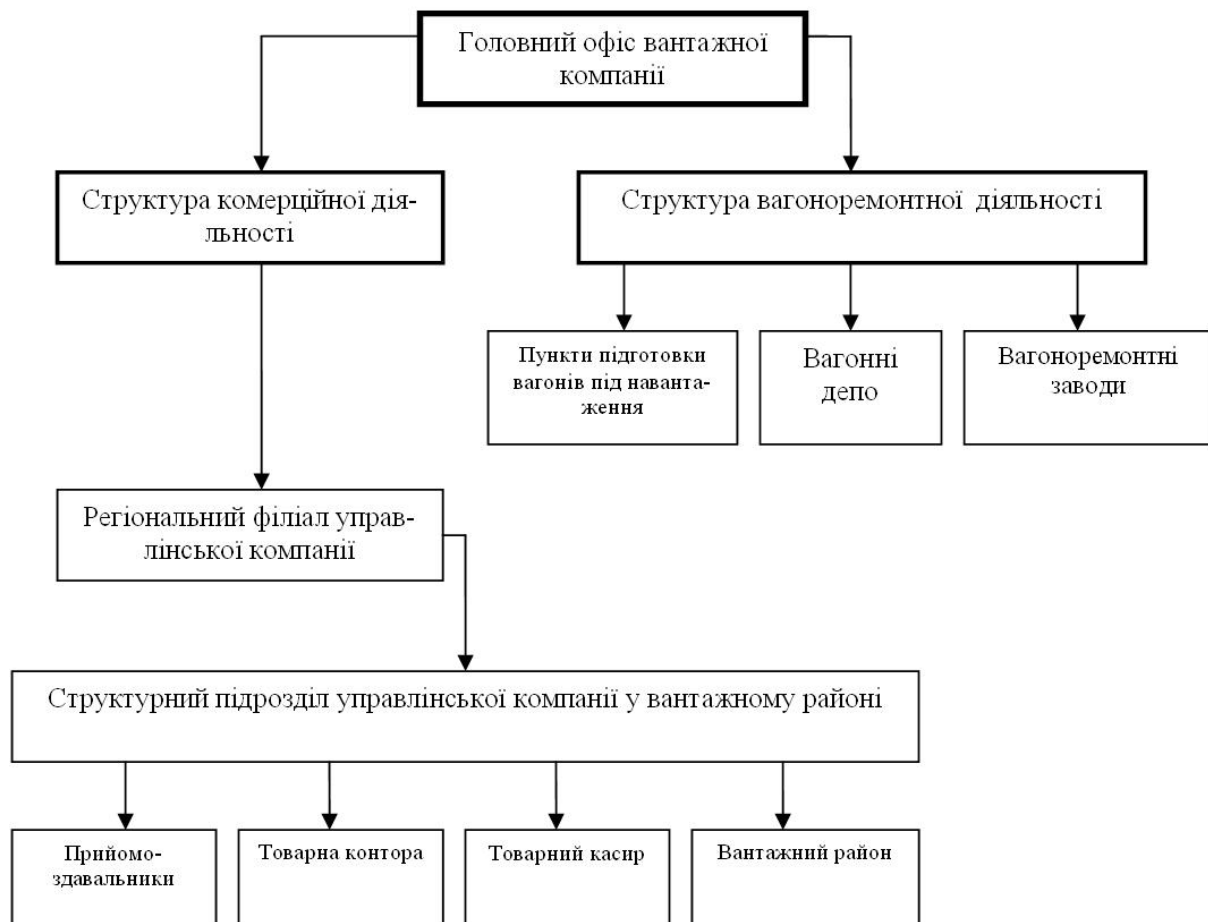


Рис. 3. Структура управління, спрямована на централізацію вантажного та комерційного господарств

Fig. 3. Management structure directed on centralization of freight and commercial economies

1. Укласти та затвердити нормативно-правові акти, які будуть регулювати та підвищувати ефективність роботи залізничного транспорту.

2. За рахунок залучення інвестицій оновити рухомий склад Укрзалізниці, закупивши нові вантажні вагони.

3. Використовувати контейнерні перевезення у внутрішньому (на середні та далекі відстані) та міжнародному сполученнях.

4. Сприяти створенню логістичних центрів, які дозволять зменшити витрати на транспортування і тривалість доставки вантажу, підвищити ефективність використання вагонів та зменшити оборот вагона.

Серйозною перепорою для залучення інвестицій є перехресне субсидіювання пасажирських перевезень за рахунок вантажних, що знижує реальний рівень доходів від вантажних перевезень. Якість послуг на залізничному транспорті не від-

повідає встановленим європейським стандартам, пасажирів не задовольняють такі параметри як ціна, швидкість і час поїздки, що знижує попит серед споживачів транспортних послуг.

Важливим заходом є збільшення кількості функціонуючих контейнерних поїздів, які прискорюють доставку, сприяють зменшенню навантажень на автомобільні дороги, забезпечують схоронність вантажу. На жаль, в Україні функціонують лише два поїзди такого типу: «Вікінг» та «Ярослав». Проте їх курсування ускладнюється низьким попитом, складністю при проходженні митниць та значними відмінностями у законодавстві України та Європейського Союзу. В нашій країні немає державної підтримки та розвинутої нормативно-правової бази щодо контейнерних перевезень, на відміну від розвинених європейських країн, в яких впровадження нових транспортних технологій стимулюється державою.

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

У зв'язку з переходом України до ринкової економіки важливо вдосконалювати процес перевезень вантажу, забезпечуючи одночасно безпеку та цілісність вантажів, своєчасність доставки, економічність та мінімальну шкоду навколишньому середовищу.

## Висновки

Українським урядом затверджено декілька програмних документів, спрямованих на реформування залізничної інфраструктури (Транспортна стратегія України до 2020 року, Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010–2015 роки та ін.). Зміни в структурі управління залізничним транспортом об'єктивно необхідні, оскільки держава не може самостійно фінансувати галузь, яка вимагає значних капітальних вкладень.

Це дослідження спрямоване на розробку удосконаленого механізму управління вантажними перевезеннями, суть якого полягає в об'єднанні комерційної та вагоноремонтної діяльності господарств, що дозволить значно зменшити оборот вагона шляхом зниження тривалості простоїв вагонів на залізничному транспорті, підвищити швидкість доставки вантажу та знизити транспортну складову у ціні готової транспортованої продукції.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Андрущенко, В. О. Удосконалення процесів експлуатації вагонних парків з урахуванням особливостей обліку і використання : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / Андрущенко Вадим Олександрович ; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – 20 с.
- Державна цільова програма реформування залізничного транспорту України на 2010–2015 роки, затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 року № 1390 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/-laws/show/1390-2009-п>. – Назва з екрана.
- Марценюк, Л. В. Вплив залізничного транспорту на розвиток національної економіки України / Л. В. Марценюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 274–278.
- Петренко, Е. А. Реформирование железнодорожного транспорта Украины: состояние и перспективы / Е. А. Петренко // Вагон. парк. – 2010. – № 1. – С. 41–43.
- Положення про Головне комерційне управління Державної адміністрації залізничного транспорту України : матеріали Укрзалізниці. – К. : Укрзалізня. – Наказ Держ. адмін. залізн. трансп. України (Укрзалізня) № 457-Ц від 19.08.2009 р. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.uz.gov.ua/about/general\\_information/main\\_departments/of\\_business\\_administration/](http://www.uz.gov.ua/about/general_information/main_departments/of_business_administration/). – Назва з екрана.
- Положення про Головне управління вагонного господарства Державної адміністрації залізничного транспорту України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://wap.uz.gov.ua/index.php?m=info.normdocs.otherdocs&f=Doc.View&p=prav\\_CVIZ&lng=uk](http://wap.uz.gov.ua/index.php?m=info.normdocs.otherdocs&f=Doc.View&p=prav_CVIZ&lng=uk). – Назва з екрана.
- Про залізничний транспорт : закон України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/-273/96-вр>. – Назва з екрана.
- Пішінко, О. М. Критерій для порівняння альтернативних варіантів управління парками вантажних вагонів / О. М. Пішінко, Л. В. Марценюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 35. – С. 253–257.
- Стратегія розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uz.gov.ua/m=all.structure.tomorrow&lng=uk> – Назва з екрана.
- Транспортна політика України та її наближення до норм Європейського союзу. Аналітично-дорадчий центр Блакитної стрічки [Електронний ресурс]. – К., 2010. – С. 21–34. – Режим доступу: [http://www.undp.org.ua/files/en\\_76033\\_Transport\\_System\\_Reform\\_Jun2010.pdf](http://www.undp.org.ua/files/en_76033_Transport_System_Reform_Jun2010.pdf). – Назва з екрана.
- Kurosaki, F. Railways and The Environment (part 3) / F. Kurosaki // Japanese Railways and Their Outlook : An Environmental Perspective. – Japan Railway & Transport Review. – 2009. – № 51. – P. 12–17.
- Review of Developments in Transport in Asia and the Pacific. United Nations publication [Електронний ресурс]. – Bangkok, Thailand, 2011. – 123 p. – Режим доступу: <http://www.unescap.org/ttdw/review/files/review2011.pdf>. – Назва з екрана.
- Slack, B. The geography of transport systems. Third edition / B. Slack, Jean-Paul Rodrigue. – New York : Routledge, 2013. – 416 p. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch9en/appl9en/ch9a1en.html>. – Назва з екрана.



Л. В. МАРЦЕНЮК<sup>1\*</sup>, А. В. ВИШНЯКОВА<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Економіка и менеджмент», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (093) 934 18 03, эл. почта gwinform1@rambler.ru

<sup>1</sup>Каф. «Економіка и менеджмент», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (066) 025 43 44, эл. почта vishnyakova\_anastasiya@mail.ru

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК И МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ ИМИ

**Цель.** Для Украины как постсоциалистического государства возникает объективная необходимость проведения реформирования на железнодорожном транспорте. Чтобы удовлетворять требования потребителей как внутри страны, так и за ее пределами, нужно вовремя решать транспортные проблемы и внедрять новые технологии, не отставая от развитых европейских государств. Целью статьи является выявление проблем в процессе грузовых перевозок и разработка путей их преодоления, формирование принципов повышения экономической эффективности использования грузовых вагонов за счет совершенствования механизма управления грузовыми перевозками в условиях реформирования. **Методика.** В работе использовались методы стратегического планирования, системного подхода для исследований по совершенствованию механизма управления грузовыми перевозками, а также организационно-распорядительный метод для построения структуры управления. **Результаты.** Авторами исследованы проблемы, возникающие в процессе перевозки грузов, и меры, которые позволяют повысить эффективность этих перевозок. Разработан усовершенствованный механизм управления грузовыми перевозками для его применения в условиях реформирования железнодорожного транспорта, основанный на централизации управления. **Научная новизна.** В статье исследованы основные факторы, которые тормозят процесс грузоперевозок. Изложены принципы совершенствования механизма управления грузовыми перевозками, которые основаны на объединении коммерческой и вагоноремонтной деятельности хозяйств. Все это позволит значительно уменьшить оборот вагона путем снижения продолжительности простоев на железнодорожном транспорте, повысить скорость доставки груза и снизить транспортную составляющую в цене доставленной продукции. **Практическая значимость.** Предложенные меры позволят повысить эффективность использования подвижного состава железных дорог и увеличить объемы грузооборота, способствовать развитию связей Украины с соседними странами.

**Ключевые слова:** механизм управления; грузовые перевозки; процесс перевозок груза; реформирование железнодорожного транспорта

L. V. MARTSENYUK<sup>1\*</sup>, A. V. VYSHNIAKOVA<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Economics and Management», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (093) 934 18 03, e-mail rwinform1@rambler.ru

<sup>1</sup>Dep. «Economics and Management», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 025 43 44, e-mail vishnyakova\_anastasiya@mail.ru

## IMPROVEMENT OF FREIGHT TRANSPORTATIONS PROCESS AND THEIR MANAGEMENT MECHANISM

**Purpose.** For Ukraine as for a post-socialist state there is an objective need of reforming on railway transport. In order to meet the requirements of consumers both within the country and outside of it, it is necessary to solve transport problems in time and to introduce new technologies, without lagging behind the developed European states. The purpose of this article is identification of problems in the process of freight transportations and development of ways of their overcoming, formation of the principles of economic efficiency increase for the use of freight cars using the improvement of management mechanism of freight transportations in the conditions of reforming. **Methodology.** Methods of strategic planning, system approach for research on improvement of the management mechanism of freight transportations, as well as the organizational-administrative method for structure of management construction were used in this research. **Findings.** Authors have explored the problems arising in the process of transportation of goods and measures, which will increase the efficiency of goods transportation. Advanced mechanism of freight transportation management for its application in the conditions of the railway transport reforming was developed. It is based on management centralization.

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

**Originality.** The major factors, which slow down process of cargo transportations, are investigated in the article. The principles of management mechanism improvement of freight transportations are stated. They are based on association of commercial and car-repair activity of depots. All this will allow reducing considerably a car turn by decrease in duration of idle times on railway transport, increasing the speed of freight delivery and cutting down a transport component in the price of delivered production. **Practical value.** The offered measures will improve the efficiency of rolling stock use and increase cargo volumes turnover, promote links of Ukraine with neighboring countries.

**Keywords:** management mechanism; freight transportations; process of freight transportations; reforming of railway transport

## REFERENCES

1. Andrushchenko V.O. *Udoskonalennia protsesiv ekspluatatsii vahonnykh parkiv z urakhuvanniam osoblyvostei obliku i vykorystannia*. Avtoreferat Diss. [Improving the processes of wagon fleet operation taking into account records and use characteristics. Author's abstract.]. Dnipropetrovsk, 2008. 20 p.
2. *Derzhavna tsilova prohrama reformuvannia zaliznychnoho transportu Ukrainy na 2010-2015 roky* [State program of railway transport reforming in Ukraine for 2010-2015 years]. Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/-laws/show/1390-2009-p> (Accessed 11 November 2013).
3. Martsenyuk L.V. Vplyv zaliznychnoho transportu na rozvytok natsionalnoi ekonomiky Ukrainy [Effect of railway transport on the development of Ukrainian national economics]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 274-278.
4. Petrenko Ye.A. Reformirovaniye zheleznodorozhnogo transporta Ukrainy: sostoyaniye i perspektivy [Railway transport reform in Ukraine: state and prospects]. *Vagonnyy park – Wagon fleet*, 2010, no. 1, pp. 41-43.
5. *Polozhennia pro Holovne komertsiiine upravlinnia Derzhavnoi administratsii zaliznychnoho transportu Ukrainy* [The main provisions of the Commercial Department of the Railway Transport State Administration of Ukraine]. Available at: [http://www.uz.gov.ua/about/general\\_information/main\\_departments/of\\_business\\_administration/](http://www.uz.gov.ua/about/general_information/main_departments/of_business_administration/) (Accessed 11 November 2013).
6. *Polozhennia pro Holovne upravlinnia vahonnoho hospodarstva Derzhavnoi administratsii zaliznychnoho transportu Ukrainy* [The provisions of the General Management of rolling stock department of the State Administration of Railway Transport in Ukraine]. Available at : [http://wap.uz.gov.ua/index.php?m=info.normdocs.otherdocs&f=Doc.View&p=prav\\_CVIZ&lng=uk](http://wap.uz.gov.ua/index.php?m=info.normdocs.otherdocs&f=Doc.View&p=prav_CVIZ&lng=uk) (Accessed 11 November 2013).
7. *Pro zaliznychnyi transport: zakon Ukrainy* [On Railway Transport: Ukrainian law]. Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/-laws/show/-273/96-vr> (Accessed 11 November 2013).
8. Pshinko O.M., Martsenyuk L.V. Kryterii dlia porivniannia alternatyvnykh variantiv upravlinnia parkamy vantazhnykh vahoniv [Criteria for comparing of alternative management options with freight wagons fleets]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 35, pp. 253-257.
9. *Stratehiia rozvytku zaliznychnoho transportu na period do 2020 roku* [Development strategy of railway transport in the period to 2020]. Available at: <http://www.uz.gov.ua/m=all.structure.tomorrow&lng=uk> (Accessed 11 November 2013).
10. *Transportna polityka Ukrainy ta yii nablyzhennia do norm Yevropeiskoho soiuzu* [Transport Policy of Ukraine and its approach to European Union Norms]. Kyiv, 2010, pp. 21-34. Available at: [http://www.undp.org.ua/files/en\\_76033Transport\\_System\\_Reform\\_Jun2010.pdf](http://www.undp.org.ua/files/en_76033Transport_System_Reform_Jun2010.pdf) (Accessed 11 November 2013).
11. Kurosaki F. Railways and The Environment (part 3). *Japanese Railways and Their Outlook : An Environmental Perspective. – Japan Railway & Transport Review*, 2009, no. 51, pp. 12-17.
12. Review of Developments in Transport in Asia and the Pacific. United Nations publication. Bangkok, Thailand, 2011, 123 p. Available at: <http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch9en/app19en/ch9a1en.html> (Accessed 11 November 2013).
13. Slack B., Jean-Paul Rodrigue. The geography of transport systems. Third edition. New York, Routledge, 2013. 416 p. Available at: <http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch9en/app19en/ch9a1en.html> (Accessed 11 November 2013).

Стаття рекомендована до публікації д.е.н., проф. Ю. С. Барашом (Україна); д.е.н., проф. Н. І. Верхоглядом (Україна)

Надійшла до редколегії 06.02.2014

Прийнята до друку 25.03.2014

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК [621.423:621.3.024] : 62.332.3.011.3

О. О. КАРЗОВА<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Електротехніка та електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 47, ел. пошта karzova@i.ua

### ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ НА ЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ЗРОСТАННЯ СТРУМУ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМИКАННЯХ У СИЛОВИХ КОЛАХ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

**Мета.** Дослідження впливу параметрів контактної мережі на значення швидкості зростання струму при короткому замиканні, а також на різницю значень цих параметрів за різних схем з'єднання тягових електродвигунів у силовому колі. **Методика.** Запропоновано математичну модель і методику для визначення впливу параметрів контактної мережі, а саме індуктивності та активного опору контактної дроту, на швидкість зростання струму при короткому замиканні. Окрім цього визначається вплив швидкостей зростання струму на їх різницю в силових колах електровозу постійного струму за різних точок виникнення короткого замикання, різних варіантів з'єднання тягових електродвигунів і різних відстаней електровозу від тягової підстанції. Запропоновані модель та методика можуть бути використані для будь-якого типу електровозу постійного струму при будь-якій точці виникнення короткого замикання в колі тягових двигунів. **Результати.** Встановлено якісний і кількісний вплив параметрів контактної мережі на значення швидкості зростання струму при короткому замиканні та на значення різниці цих параметрів за різних схем з'єднання тягових електродвигунів. **Наукова новизна.** Вперше запропоновано метод дослідження з визначення впливу параметрів контактної мережі на швидкість зростання струму короткого замикання та на різницю цих параметрів при різних відстанях електровозу від тягової підстанції. **Практична значимість.** Отримані результати можуть бути використані при виборі установки захисних пристроїв силових кіл електрорухомого складу, в яких в якості контролюваного параметру виступає швидкість зростання струму у разі короткого замикання.

**Ключові слова:** параметри контактної мережі; коротке замикання; швидкість зростання струму; індуктивність; активний опір; електровози; тягова підстанція; тягові електродвигуни

#### Вступ

Виникнення режиму короткого замикання (КЗ) в силових колах електрорухомого складу (ЕРС) призводить до значних пошкоджень та виходу з ладу електрообладнання, якщо захисні пристрої не спрацюють достатньо швидко і чітко. Тому поглиблені дослідження вказаного режиму з метою використання найновішої елементної бази для вдосконалення захисних пристроїв є завжди актуальними.

#### Мета

Метою цієї роботи є дослідження впливу параметрів контактної мережі на значення швидкості зростання струму ( $\frac{di_k}{dt}$ ), а також на різницю значень цього параметру при різних схемах з'єднання тягових електродвигунів у силовому колі.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

## Методика

Як параметри контактної мережі (КМ) постійного струму в роботі прийняті індуктивність контактної мережі ( $L_{\text{км}}$ ) та активний опір контактної дроту мережі ( $R_{\text{км}}$ ) залежно від відстані між живлячою тяговою підстанцією (ТП) та електрорухомим складом.

Для досягнення поставленої мети в роботі виконані дослідження за двома варіантами [7]:

1) коротке замикання виникло у певній точці кола тягових електродвигунів (ТЕД) електровоза постійного струму при номінальній напрузі джерела живлення ( $U_{\text{дж1}} = 3\,000\text{ В}$ ). Тобто у цьому випадку перехідний процес досліджено за умови, що параметри контактної мережі не враховуються;

2) коротке замикання виникло у тій же точці силового кола ЕРС при номінальній напрузі джерела живлення ( $U_{\text{тп}} = 3\,300\text{ В}$ ) (напруга на шинах тягової підстанції). Тобто, у цьому випадку перехідний процес досліджено з урахуванням параметрів контактної мережі.

Для першого варіанта досліджень створена математична модель (1) [2, 4, 5, 9].

$$\begin{cases} \frac{dI_{\text{я}}}{dt} = \frac{U_{\text{дж1}} - n_{\text{дв}} k \Phi \omega_{\text{дв}} - n_{\text{дв}} (R_{\text{я}} + R_{\text{зб}}) I_{\text{я}}}{n_{\text{дв}} (L_{\text{я}} + 2 p w_{\text{оз}} (\sigma - 1) \frac{d\Phi}{dI_{\text{я}}})}; \\ 1,23R_{\text{м1}}\Phi_1 + g_{\mu} \frac{d\Phi_1}{dt} + \Phi(R_{\text{ми}} - R_{\text{м1}}) = w_{\text{екв}} I_{\text{оз}} + F_{\text{нлк}}; \\ 5,29R_{\text{м1}}(\Phi - \Phi_1) + 0,477g_{\mu} \frac{d(\Phi - \Phi_1)}{dt} + \Phi(R_{\text{mk}} - R_{\text{м1}}) = w_{\text{екв}} I_{\text{оз}} + F_{\text{нлк}}; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \frac{dI_{\text{я}}}{dt} = \frac{U_{\text{дж2}} - n_{\text{дв}} k \Phi \omega_{\text{дв}} - n_{\text{дв}} (R_{\text{я}} + R_{\text{зб}}) I_{\text{я}}}{n_{\text{дв}} (L_{\text{я}} + 2 p w_{\text{оз}} (\sigma - 1) \frac{d\Phi}{dI_{\text{я}}}) + L_{\text{км}}}; \\ 1,23R_{\text{м1}}\Phi_1 + g_{\mu} \frac{d\Phi_1}{dt} + \Phi(R_{\text{ми}} - R_{\text{м1}}) = w_{\text{екв}} I_{\text{оз}} + F_{\text{нли}}; \\ 5,29R_{\text{м1}}(\Phi - \Phi_1) + 0,477g_{\mu} \frac{d(\Phi - \Phi_1)}{dt} + \Phi(R_{\text{mk}} - R_{\text{м1}}) = w_{\text{екв}} I_{\text{оз}} + F_{\text{нли}}. \end{cases} \quad (2)$$

У формулі (1)  $n_{\text{дв}}$  – кількість тягових електродвигунів;  $I_{\text{я}}$  – струм якоря силового кола

ЕРС;  $p$  – число пар головних полюсів ТЕД;

$L_{\text{я}} + 2 p w_{\text{оз}} (\sigma - 1) \frac{d\Phi}{dI_{\text{я}}} = L_{\text{дин}}$  – динамічна індуктивність, під якою розуміється індуктивність обмоток збудження головних полюсів з урахуванням динаміки зміни струму збудження в режимі короткого замикання;  $w_{\text{оз}}$  – кількість витків котушки збудження головного полюсу;  $\sigma$  – коефіцієнт розсіювання головних полюсів;  $w_{\text{екв}} I_{\text{оз}}$  – магніторушійна сила збудження головних полюсів;  $F_{\text{нлк}}$  – частина магніторушійної сили  $k$ -ї ділянки магнітної характеристики ГП, що створює магнітний потік головних полюсів.

Модель (1) враховує дію вихрових струмів в магнітопроводі ТЕД та динамічної індуктивності обмоток збудження на величину  $\frac{di_{\text{к}}}{dt}$  при різних варіантах з'єднання тягових електродвигунів (послідовному «С», послідовно-паралельному «СП» та паралельному «П») та різних точках виникнення КЗ в силовому колі.

Для визначення впливу параметрів контактної мережі на значення  $\frac{di_{\text{к}}}{dt}$  при коротких за-

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

миканнях в силових колах електрорухомого складу постійного струму за варіантом 2 модель (1) набуде вигляду (2), де  $U_{дж2}$  – номінальна напруга на шинах тягової підстанції з урахуванням падіння напруги від активного опору контактної дроту [6]:

$$U_{дж2} = U_{тп} - I_{я} R_{км}. \quad (3)$$

Індуктивність контактної мережі  $L_{км}$  визначається за формулою [6]:

$$L_{км} = L_0 l, \quad (4)$$

де  $L_0 \approx 1,2$  мГн/км – питома індуктивність контактної мережі постійного струму [1];  $l$  – розрахункова відстань від живлячої ТП до електровоза.

При дослідженні прийнято  $l = 0, 5, 10, 15, 20$  км.

Для прикладу використано дані для магістрального електровоза постійного струму ДЕ1 [10]. Тому номінальний струм якоря дорівнює:  $I_{я,ном} = 565$  А.

При питомому активному опорі контактної дроту мережі  $\rho_{км} \approx 0,04$  Ом/км розрахунковий активний опір контактної мережі буде дорівнювати [1]:

$$R_{км} = \rho_{км} l. \quad (5)$$

Результати розрахунку за (3)–(5) наведені в табл. 1.

Таблиця 1

## Параметри контактної мережі постійного струму

Table 1

## Parameters of contact network of direct current

$l$ , км	5	10	15	20
$U_{дж}$ , В	3187	3074	2961	2848
$R_{км}$ , Ом	0,2	0,4	0,6	0,8
$L_{км}$ , Гн	0,006	0,012	0,018	0,024

При використанні математичних моделей (1) та (2) і наведених в табл. 1 даних отримано криві залежності струму КЗ від часу  $i_k = f(t)$  при виникненні короткого замикання в точці 3

силового кола ЕРС (рис. 1) без урахування впливу параметрів КМ (за математичною моделлю (1) та з урахуванням впливу параметрів КМ (за математичною моделлю (2)) [3].

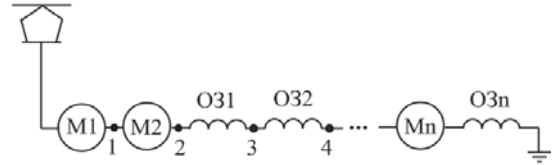


Рис. 1. Варіанти виникнення короткого замикання при послідовному з'єднанні ТЕД частини секції електровоза постійного струму

Fig. 1. Variants of short circuit occurring with series connection of traction electric engine of the part of DC electric locomotive section

Дослідження виконані при послідовному з'єднанні ТЕД. Також прийнято, що КЗ виникло в той момент часу, коли швидкість електровоза відповідала швидкості, при якій здійснюється перехід з одного з'єднання ТЕД на інше (у цьому випадку з послідовного з'єднання на послідовно-паралельне). Тому  $V = 3,14$  м/с. Струм якоря при цьому прийнято номінальному значенню.

Результати досліджень у вигляді кривих наведені на рис. 2:

$i_{k0} = f(t)$  – крива залежності струму короткого замикання від часу за умови, що електровоз знаходиться біля тягової підстанції ( $l = 0$  км);

$i_{k5} = f(t)$  – крива залежності струму КЗ від часу за умови, що електровоз знаходиться на відстані 5 км від ТП;

$i_{k10} = f(t)$  – крива залежності струму КЗ від часу за умови, що електровоз знаходиться на відстані 10 км від ТП;

$i_{k15} = f(t)$  – крива залежності струму КЗ від часу за умови, що електровоз знаходиться на відстані 15 км від ТП;

$i_{k20} = f(t)$  – крива залежності струму КЗ від часу за умови, що електровоз знаходиться на відстані 20 км від ТП.

Взаємне розташування кривих на рис. 2 зумовлене співвідношенням впливів  $L_{дин}$ ,  $R_{км}$  та  $L_{км}$ .

$\frac{di_k}{dt}$  визначено на трьох ділянках наведених на рис. 2 характеристик: прямолінійній, «коліній» та ділянці, близькій до сталого значення.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

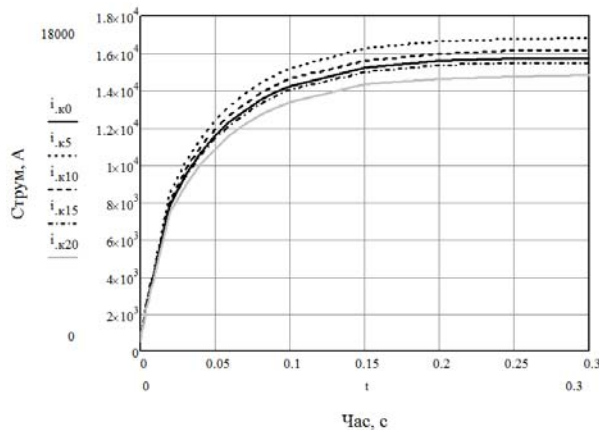


Рис. 2. Криві залежності струму короткого замикання від часу за різних варіантів параметрів контактної мережі при «С» з'єднанні ТЕД

Fig. 2. Dependence curves of short circuit current on the time in different variants of contact networks parameters with «S» connection of electric traction engine

З рис. 2 видно, що прямолінійна ділянка займає проміжок часу від 0 до 0,01 с, «коліно» – від 0,01 до 0,1 с., після часу 0,1 с починається ділянка, близька до сталого значення.

На рис. 3 зображена, як приклад, збільшена за масштабом прямолінійна ділянка кривих залежностей струму КЗ від часу.

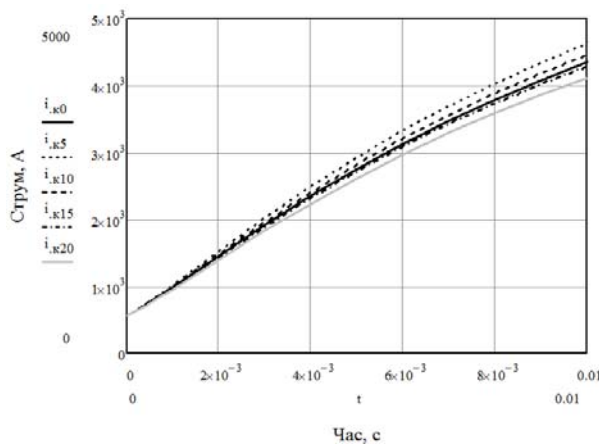


Рис. 3. Збільшена за масштабом прямолінійна ділянка кривих залежностей струму короткого замикання від часу

Fig. 3. Increased on a scale tangent section of curves of short circuit current on time

Швидкість зростання струму короткого замикання визначена на початку кожної з трьох ділянок за час 0,0001 с, як час реагування сучасних мікроконтролерів [8, 11–13] за такою формулою:

$$\frac{di_k}{dt} = \frac{i_{kt} - i_k(t - \Delta t)}{\Delta t}, \quad (6)$$

де  $i_k$  – зростання струму короткого замикання при зміні часу  $\Delta t = 0,0001$  с.

Як приклад наведена розрахована за (6) швидкість зростання струму при КЗ на прямолінійній ділянці для варіанта, коли не враховуються параметри контактної мережі (рис. 4).

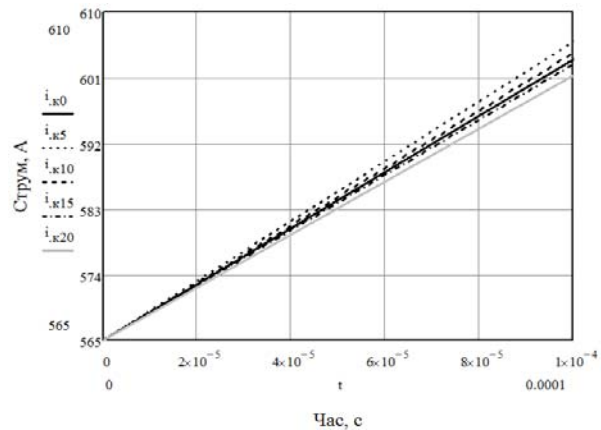


Рис. 4. Збільшений за масштабом початок прямолінійної ділянки кривих залежностей струму короткого замикання від часу

Fig. 4. Increased on a scale beginning of tangent section of curve dependences of short circuits current on time

$$\frac{di_k}{dt} = \frac{603,4 - 565}{0,0001} = 384\,000 \text{ А/с.}$$

Для порівняння значення  $\frac{di_k}{dt}$  у двох варіантах дослідження використана така формула:

$$\gamma_1 = \frac{\left(\frac{di_k}{dt}\right)_{l \neq 0}}{\left(\frac{di_k}{dt}\right)_{l=0}} 100, \%. \quad (7)$$

Різниця швидкості зростання струму при КЗ знаходиться за виразом (8):

$$\gamma_2 = \left| \frac{\left(\frac{di_k}{dt}\right)_{l \neq 0} - \left(\frac{di_k}{dt}\right)_{l=0}}{\left(\frac{di_k}{dt}\right)_{l=0}} \right| 100, \%. \quad (8)$$

Якщо порівняти, наприклад,  $\frac{di_k}{dt}$  у варіанті, коли  $l=0$ , та у варіанті, коли  $l=5$  км, на прямолінійній ділянці за (7) та (8), то отримаємо:



Таблиця 2

## Результати досліджень при «С» з'єднанні ТЕД

Table 2

## Research results with «S» connection of electric traction engine

Варіант	$U_{дж}$ , В	$l$ , км	Прямолінійна ділянка				«Коліно»				Ділянка, близька до сталого значення			
			$\Delta i_k$ , А	$di_k/dt$ , А/с	$\gamma_1$ , %	$\gamma_2$ , %	$\Delta i_k$ , А	$di_k/dt$ , А/с	$\gamma_1$ , %	$\gamma_2$ , %	$\Delta i_k$ , А	$di_k/dt$ , А/с	$\gamma_1$ , %	$\gamma_2$ , %
1	3000	0	603,4	384000	—	—	26	260000	—	—	0,58	5800	—	—
2	3187	5	605,9	409000	106,5	6,5	27,2	272000	104,6	5,7	0,6	6000	103,4	3,4
	3074	10	604,4	394000	102,6	2,6	27	270000	103,8	3,8	0,59	5900	101,7	1,7
	2961	15	602,8	378000	98,4	1,6	25	250000	96,1	3,8	0,56	5600	96,5	3,4
	2848	20	601,3	363000	94,5	5,5	24,5	245000	94,2	5,7	0,55	5500	94,8	5,1

$$\gamma_1 = \frac{409\,000}{384\,000} 100 = 106,5\%;$$

$$\gamma_2 = \left| \frac{250\,000 - 234\,000}{250\,000} \right| 100 \approx 6,4\%.$$

Аналогічно знайдена швидкість зростання струму на двох інших ділянках залежностей  $i_k = f(t)$  та виконані розрахунки за (7) та (8).

## Результати

Результати визначення  $\Delta i_k$  (зміни струму короткого замикання при зміні часу 0,0001 с), а також розрахунку за (6)–(8) внесені до табл. 2

При порівнянні варіанту при  $l = 0$  км та варіанту, коли електровоз знаходиться на якійсь відстані від ТП, різниця швидкості зростання струму КЗ (табл. 2) при всіх ділянках характеристик буде складати приблизно 6,5 % і менше. Більша різниця буде на прямолінійній ділянці.

Значення швидкості зростання струму при короткому замиканні більшим буде теж на прямолінійній ділянці.

Тому в подальшому значення  $\gamma_1$  та  $\gamma_2$  при різних з'єднаннях тягових електродвигунів у силовому колі ЕРС визначені тільки на прямолінійних ділянках залежності  $i_k = f(t)$ .

При використанні моделей (1) та (2) для дослідження впливу параметрів контактної мережі на значення та різницю швидкості зростання

струму КЗ при «СП» та «П» з'єднанні ТЕД прийнято, що КЗ виникло в тій же точці силового кола, що і при «С» з'єднанні ТЕД, а швидкість електровоза дорівнює  $V = 6,8$  м/с та  $V = 14,36$  м/с відповідно. Дослідження для паралельного з'єднання ТЕД виконано при повному збудженні.

Результати досліджень у вигляді кривих наведені на рис. 5 та рис. 6.

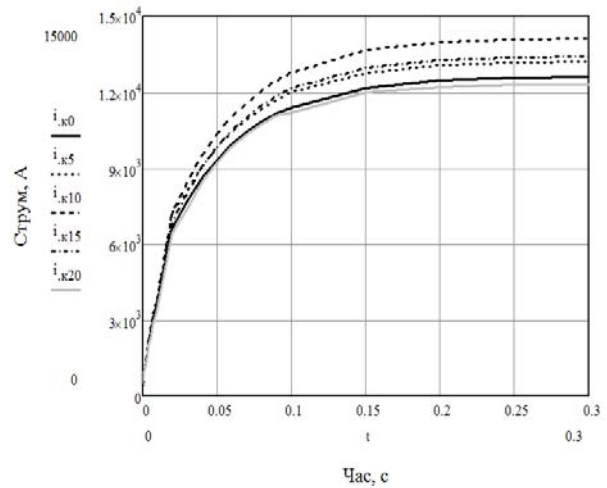


Рис. 5. Криві залежності струму короткого замикання від часу при різних варіантах параметрів контактної мережі при «СП» з'єднанні ТЕД

Fig. 5. Curves of dependence of short circuit current on time with different variants of contact network parameters with «SP» connection of electric traction engine

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

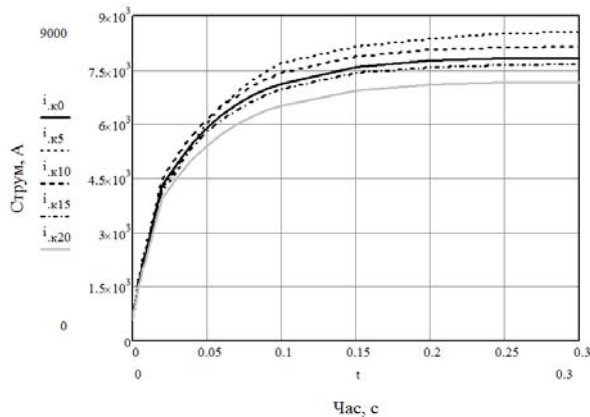


Рис. 6. Криві залежності струму короткого замикання від часу за різних варіантів параметрів контактної мережі при «П» з'єднанні ТЕД

Fig. 6. Curve dependence of short circuit current on time with different variants of contact network parameters with «P» connection of electric traction engine

Результати розрахунків за (6)–(8) внесені в табл. 3 та 4.

Таблиця 3

Результати досліджень при «СП» з'єднанні ТЕД

Table 3

Research results with «SP» connection of electric traction engine

Варіант	$U_{дж}, В$	$l, км$	$\Delta i_k, А$	$\frac{di_k}{dt}, А/с$	$\gamma_1, \%$	$\gamma_2, \%$
1	3000	0	599,1	341000	—	—
2	3187	5	600,9	359000	105,3	5,2
	3074	10	599,3	343000	100,5	0,6
	2961	15	597,8	328000	96,2	3,8
	2848	20	596,3	313000	91,8	8,2

Таблиця 4

Результати досліджень при «П» з'єднанні ТЕД

Table 4

Research results with «P» connection of electric traction engine

Варіант	$U_{дж}, В$	$l, км$	$\Delta i_k, А$	$\frac{di_k}{dt}, А/с$	$\gamma_1, \%$	$\gamma_2, \%$
1	3000	0	588	23000	—	—
2	3187	5	590,6	25600	111,3	11,3

Продовження табл. 4

End of table 4

Варіант	$U_{дж}, В$	$l, км$	$\Delta i_k, А$	$\frac{di_k}{dt}, А/с$	$\gamma_1, \%$	$\gamma_2, \%$
	3074	1	589	24000	104,3	4,3
	2961	1	587,5	22500	97,8	2,2
	2848	2	586	21000	91,3	8,7

Подібні дослідження можна виконати для напруг контактної мережі 2 200 В та 4 000 В [1].

### Наукова новизна та практична значимість

Вперше запропоновано метод дослідження з визначення впливу параметрів контактної мережі на швидкість зростання струму короткого замикання та на різницю цього параметра при різних відстанях електровоза від тягової підстанції. Отримані результати мають практичне значення. Вони можуть бути використані під час вибору вставки захисних пристроїв силових кіл, в яких в якості контролюємого параметру виступає  $\frac{di_k}{dt}$ .

### Висновки

Вплив параметрів контактної мережі на значення  $\frac{di_k}{dt}$  та на значення різниці цього параметра при різних з'єднаннях тягових електродвигунів найбільший на прямолінійній частині залежності  $i_k = f(t)$ . Наприклад, для електровоза ДЕ1 ця різниця знаходиться в межах від 0,6 % ( $\gamma_2$  в табл. 3) до 11,3 % ( $\gamma_2$  табл. 4);  $\gamma_1$  при цьому дорівнює від 91,3 % до 111,3 % (табл. 4).

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Большая энциклопедия транспорта : в 8 т. / — М. : Науч. изд-во «Большая Российская энциклопедия», 2003. — Т. 4. — 1039 с.
2. Дубинець, Л. В. Швидкість зміни струму при короткому замиканні в силових колах електропрухомого складу з урахуванням вихрових струмів / Л. В. Дубинець, О. О. Карзова, Ю. С. Бондаренко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. — Д., 2010. — Вип. 34. — С. 69–72.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

3. Дьяконов, В. Maple 7 : учеб. курс / В. Дьяконов. – СПб. : Питер, 2002. – 672 с.
4. Карзова, О. О. Визначення швидкості зміни струму у колах тягових двигунів електрорухомого складу при різних режимах роботи / О. О. Карзова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – Вип. 24. – С. 57–60.
5. Копылов, И. П. Математическое моделирование электрических машин : учеб. для вузов / И. П. Копылов. – 3-е изд., перер. и доп. – М. : Высш. шк., 2001. – 327 с.
6. Преобразовательные устройства электропоездов с асинхронными тяговыми двигателями / А. М. Солодунов, Ю. М. Иньков, Г. Н. Коваливкер, В. В. Литовченко. – Рига : Зинантне, 1991. – 351 с.
7. ГОСТ 6962-75. Транспорт электрифицированный с питанием от контактной сети. Ряд напряжений. – Введ. 1977-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 6 с.
8. Устименко, Д. В. Сучасні мікроконтролери в схемах рухомого складу / Д. В. Устименко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – Вип. 15. – С. 47–49.
9. Чорний, О. П. Моделирование электромеханических систем / О. П. Чорний, А. В. Луговий, Д. Й. Родькін. – Кременчук, 2001. – 410 с.
10. Электровоз магистральный ДЭ-1. Техническое описание. ЗТП.000.020-03 ТО. – 1999. – 188 с.
11. Pearce, J. M. Open-Source Lab. How to Build Your Own Hardware and Reduce Research Costs / Joshua M. Pearce. – Elsevier Science, 2014. – 244 p.
12. Measurement of Power Frequency with Higher Accuracy Using PIC Microcontroller / K. Alama, T. Chakraborty, S. Pramanik (Chaudhury) et al. // Computational Intelligence: Modeling Techniques and Applications (CIMTA) 2013 (27.09–28.09.2013). – Kalyani : Procedia Technology, 2013. – P. 849–855.
13. Studying the effects of intermittent faults on a microcontroller / D. Gil-Tomás, J. Gracia-Morán, J.-Carlos Baraza-Calvo et al. – Microelectronics Reliability. – 2012. – Iss. 11. – P. 2837–2846.

О. А. КАРЗОВА<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Электротехника и электромеханика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 47, эл. почта karzova@i.ua

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА ЗНАЧЕНИЕ СКОРОСТИ НАРАСТАНИЯ ТОКА ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ В СИЛОВЫХ ЦЕПЯХ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

**Цель.** Исследование влияния параметров контактной сети на значения скорости нарастания тока при коротком замыкании, а также на разницу значений этих параметров при различных схемах соединения тяговых электродвигателей в силовой цепи. **Методика.** Предложена математическая модель и методика для определения влияния параметров контактной сети, а именно индуктивности и активного сопротивления контактного провода, на скорость нарастания тока при коротком замыкании. Помимо этого, определяется влияние скоростей роста тока на их разницу в силовых цепях электровоза постоянного тока при различных точках возникновения короткого замыкания, различных вариантах соединения тяговых электродвигателей и различных расстояниях электровоза от тяговой подстанции. Предложенные модель и методика могут быть использованы для любого типа электровоза постоянного тока при любой точке возникновения короткого замыкания в цепи тяговых двигателей. **Результаты.** Установлены качественное и количественное влияния параметров контактной сети на значения скорости нарастания тока при коротком замыкании и на значение разности этих параметров при различных схемах соединения тяговых электродвигателей. **Научная новизна.** Впервые предложен метод исследования по определению влияния параметров контактной сети на скорость нарастания тока короткого замыкания и на разницу этих параметров при различных расстояниях электровоза от тяговой подстанции. **Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы при выборе установки защитных устройств силовых цепей электроподвижного состава, в которых в качестве контролируемого параметра выступает скорость нарастания тока при коротком замыкании.

**Ключевые слова:** параметры контактной сети; короткое замыкание; скорость нарастания тока; индуктивность; активное сопротивление; электровозы; тяговая подстанция; тяговые электродвигатели

O. A. KARZOVA<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Electrical Engineering and Electromechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 47, e-mail karzova@i.ua

## INFLUENCE OF CONTACT NETWORK PARAMETERS ON VALUE OF CURRENT RISE SPEED DURING SHORT CIRCUIT IN POWER CIRCUITS OF ELECTRIC ROLLING STOCK

**Purpose.** Influence investigation of contact system parameters on current rate of rise during short circuit, and the difference of these parameter values under different connection diagrams of traction motors in the power circuit. **Methodology.** The mathematical model and method for determining the effect of the contact system parameters, such as inductance and active resistance of the contact wire, on rise speed during the short circuit current were offered. Besides that, it is determined the influence of current speeds on their difference in power circuits of DC electric locomotive in different points of short circuit, different variants of traction electric engines connection and different distances of electric locomotives from the traction substation. The proposed model and method can be used for any type of electric DC locomotive at any point of a short circuit in traction engine circuit. **Findings.** Qualitative and quantitative influence of contact system parameters on values of current rise speed during short circuit and on the differences value of these parameters with different connection diagram of traction electric engines was established. **Originality.** The investigation method concerning determination of the influence of contact system parameters on current rise speed in short circuit and on the difference of these parameters on different distances of electric locomotives from traction substation was proposed. **Practical value.** The results can be used in selection of protective devices of rolling stock power circuits, where the main parameter is the current rise speed during the short circuit.

**Keywords:** contact system parameters; short circuit; current rise speed; inductance; active resistance; electric locomotives; traction substation; electric traction engines

### REFERENCES

1. *Bolshaya entsiklopediya transporta* [Large transport encyclopedia]. Moscow, Nauchnoye izdatelstvo «Bolshaya Rossiyskaya entsiklopediya» Publ., 2003, vol. 4, 1039 p.
2. Dubynets L.V., Karzova O.O., Bondarenko Yu.S. Shvydkist zminy strumu pry korotkomu zamykanni v sylovykh kolakh elektrorukhomoho skladu z urakhuvanniam vykhrovykh strumiv [Rate of change of short circuit current in the power circuits of electric rolling stock, taking into account the eddy currents]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 34, pp. 69-72.
3. Dyakonov V. Maple 7. Saint Petersburg, Piter Publ., 2002. 672 p.
4. Karzova O.O. Vyznachennia shvydkosti zminy strumu u kolakh tiahovykh dvyhuniv elektrorukhomoho skladu pry riznykh rezhymakh roboty [Determination of current change rate in circuits of traction motors of electric rolling stock under different operating conditions]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 24, pp. 57-60.
5. Kopylov I.P. *Matematicheskoye modelirovaniye elektricheskikh mashin* [Mathematical modeling of electrical machines]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 2001. 327 p.
6. Solodunov A.M., Inkov Ju.M., Kovalivker G.N., Litovchenko V.V. *Preobrazovatelnyye ustroystva elektropoyezdov s asinkhronnymi tyagovymi dvigatelyami* [Converting electric devices with asynchronous traction motors]. Riga, Zinantne Publ., 1991. 351 p.
7. *GOST 6962-75. Transport elektrifitsirovanny s pitaniyem ot kontaktnoy seti. Ryad napryazheniy* [State Standard 6962-75. Electrified transport with overhead catenary supply. Contact series]. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1978. 6 p.
8. Ustyomenko D.V. Suchasni mikrokontrolery v skhemakh rukhomoho skladu [Modern microcontrollers in the schemes of rolling stock]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 15, pp. 47-49.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

---

9. Chornyi O.P., Luhovyi A.V., Rodkin D.Y. *Modeliuvannia elektromekhanichnykh system* [The modeling of electromechanical systems]. Kremenchuk, 2001. 410 p.
10. *Elektrovoz magistralnyy DE1. Tekhnicheskoye opisaniye. 3TP.000.020-03 TO* [Main line electric locomotive DE1. Technical description. 3TP.000.020 TO-03.]. 1999. 188 p.
11. Pearce Joshua M. Open-Source Lab. How to Build Your Own Hardware and Reduce Research Costs. Elsevier Science Publ., 2014. 244 p.
12. Alama K., Chakraborty T., Pramanik (Chaudhury) S., Sarddara D., Mal S. Measurement of Power Frequency with Higher Accuracy Using PIC Microcontroller. *Computational Intelligence: Modeling Techniques and Applications (CIMTA)*. Kalyani, 2013, pp. 849-855.
13. Gil-Tomás D, Gracia-Morán J. J.-Carlos Baraza-Calvo, Luis-J. Saiz-Adalid, Pedro-J. Gil-Vicente. Studying the effects of intermittent faults on a microcontroller. *Microelectronics Reliability*, 2012, issue 11, pp. 2837-2846.

*Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Л. В. Дубинцем (Україна); д.т.н., проф. Ф. П. Шкрабцем (Україна)*

Надійшла до редколегії 05.02.2014

Прийнята до друку 24.03.2014

## УДК 658.345:656.2

О. А. НИКИФОРОВА<sup>1</sup>, Г. Г. СИДОРЕНКО<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Каф. «Безпека життєдіяльності», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 81, ел. пошта nikiforova76@mail.ru

<sup>1\*</sup>Каф. «Безпека життєдіяльності», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (066) 393 42 90, ел. пошта \_annuschka\_@mail.ru

## ОЦІНКА ПРОФЕСІЙНОГО РИЗИКУ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ СЛУЖБОВИХ ОBOB'ЯЗКІВ СТАНЦІЙНИХ ДИСПЕТЧЕРІВ ПРИДНІПРОВСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ

**Мета.** На основі аналізу помилкових дій станційних диспетчерів Придніпровської залізниці та літературних даних необхідно обґрунтувати важливість застосування методів психофізіологічного відбору для профілактики безпеки руху, підвищення надійності людського чинника. **Методика.** Дослідження були проведені серед працівників операторського типу (станційні диспетчери) ( $n = 62$ ), з яких 32 – жінки, 30 – чоловіки. Для проведення досліджень було використано метод соціологічного опитування, психологічні методики із застосуванням особистісного, «НПН-А» (нервово-психічна нестійкість – акцентуації) та індивідуально-типологічного опитувальників. **Результати.** Проаналізовано типові помилки працівників операторського профілю Придніпровської залізниці. Виявлено, що велика група помилок пов'язана з недотриманням персоналом вимог посадових інструкцій та інструкцій із охорони праці, недбалістю і неуважністю, безвідповідальним ставленням до своїх обов'язків, а також недостатньою підготовкою й тренуваністю персоналу. **Наукова новизна.** Обґрунтовано необхідність розробки новітніх підходів до систематизованого аналізу на кількісній основі питань управління та визначення надійності людського чинника, яку може забезпечити професійний психофізіологічний відбір осіб, пов'язаних із безпекою руху. **Практична значимість.** Отримано результати аналізу, які покладено в основу розробки нових методів психофізіологічних обстежень стосовно профвідбору залізничників провідних професій, що дозволить досить точно прогнозувати успішність і надійність роботи операторів та дасть можливість виявити протипоказання щодо професійної діяльності.

**Ключові слова:** професійний психофізіологічний відбір; людина-оператор; психологічний аналіз; функціональний стан; помилкові дії

### Вступ

Як показує досвід роботи санітарно-епідеміологічних станцій, існуюча система державного санітарного нагляду за умовами праці операторів залізничного транспорту потребує удосконалення, з урахуванням того, що коли йдеться про оцінку професійного ризику, перспективним напрямком досліджень є вивчення впливу факторів умов і характеру праці на функціональний стан (ФС) та психофізіологічні якості організму, рівень здоров'я диспетчерів, працюючих в умовах підвищеного рівня психо-емоційної напруги [8]. Це, в першу чергу, пов'язано з появою нових факторів, що впливають на операторів: більш жорсткі вимоги до безперебійного виконання перевезень, збільшення потужностей агрегатів одночасно зі значною зношеністю устаткування.

Технічний прогрес в транспортній галузі супроводжується безперервним підвищенням вимог до ефективності та якості операторської діяльності, що в свою чергу передбачає підвищення вимог до особистості оператора і його професійно важливих якостей, які є необхідною складовою надійної роботи системи «людина-техніка» [4, 7, 8, 10, 11].

Вивчення аварійності і травматизму на Укрзалізниці за 2011–2013 роки показало, що їх причиною майже у 21 % випадків є «людський чинник», тобто людина, що допустила неправильні, несвоєчасні, помилкові рішення та дії [1, 5]. За даними статистики, принаймні у двох з трьох нещасних випадків, головним винуватцем є ні техніка, ні технологічний процес, а сам працівник, який, з тих чи інших причин, не дотримувався правил безпеки, порушував нор-

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

мальний перебіг трудового процесу тощо [17–19]. Тому, в умовах подальшої інтенсифікації залізничного транспорту надійності людського чинника надається дедалі більшого значення. З огляду на наведене, особливої актуальності набуває забезпечення професійної надійності робітників операторської направленості. За даними Б. П. Дядько та С. В. Юрчишина [8], причинами більшості помилок людей операторської професії є експлуатаційний фактор. Це помилкові дії оперативного персоналу, помилкові дії керівника та незадовільна організація технічного обслуговування. Як правило, помилкові та невчасні дії операторів призводять не тільки до зриву вирішення завдання і недосягнення мети, а й є причиною поломок, відмов у роботі устаткування і виникнення аварійних ситуацій.

Розглядаючи людину-оператора як слабку ланку в системі залізничних перевезень, слід визначити, що її можливості обмежені фізіологією організму та психологічними особливостями кожної людини. Порушення фізіологічної надійності найбільш часто виражається у вигляді стомлення, захворювання, травми, а психологічної надійності – у неточному, неправильному або несвоєчасному виконанні окремих операцій. Тому в центрі уваги перебуває проблема профілактики перевантажень, перенапруг і емоційних стресів, що виникають у тих випадках, коли сукупність чинників виробничого середовища й трудового процесу пов'язані з високою напруженістю праці. Такі умови досить характерні для багатьох професій, які забезпечують перевізний процес на залізниці [12].

### Мета

Метою роботи є обґрунтування важливості психофізіологічного відбору для профілактики безпеки руху, підвищення надійності людського чинника на основі аналізу помилкових дій працівників операторського профілю Придніпровської залізниці та літературних даних.

### Методика

Дослідження були виконані за участю працівників операторського типу (станційні диспетчери) ( $n = 62$ ), з яких 32 – жінки, 30 – чоловіки. Використовували методи соціологічного опитування, психологічних методик за особистісним опитувальником «НПН-А» (нервово-

психічна нестійкість – акцентуації) [3] та індивідуально-типологічним опитувальником [16]. Отримані дані обробляли статистично методом парних порівнянь за критерієм Ст'юдента. Результати оцінювались як вірогідні при  $p < 0,05$ .

### Результати

Психологічний аналіз професійної діяльності станційних диспетчерів дозволяє виділити деякі характерні особливості, а саме:

- оператор керує одночасно декількома об'єктами, часто виконуючи низку несхожих між собою завдань;

- оператор віддалений від керованого об'єкта – між оператором та об'єктом існують системи дистанційної передачі, тобто інформацію про стан об'єкта він отримує у вигляді закодованих повідомлень, а дії оператора здійснюються за допомогою дистанційного керування;

- різним є навантаження на органи чуття оператора. При безпосередній взаємодії з об'єктом керування оператор, спираючись на закони роботи органів зору, слуху, кінестетичного апарату робить висновок про його стан;

- у системі керування перевізним процесом оператор діє в умовах дефіциту часу. Необхідність оперативної та невідкладної роботи оператора вимагає від нього швидкої реакції в управлінні об'єктами;

- професійна діяльність оператора носить колективний характер. У процесі діяльності відбувається активна взаємодія безпосередньо між операторами зміни та обслуговуючим технічним персоналом станції.

Також слід звернути увагу на те, що вважається помилкою оператора. Згідно з дослідженнями М. А. Котика, помилкою розглядається як повна або часткова втрата працездатності, в результаті якої він перестає задовольняти одному з заданих критеріїв ефективності [6, 11]. Тому про помилку в діях оператора можна говорити тільки тоді, коли його дія, нормована обмеженнями, відхиляється від цих меж. Помилково може діяти й технічний пристрій, і доки оператор, керуючись системою, витримує значення регульованих параметрів у встановлених межах, не виходячи за межі «передбаченого коридору», такі відхилення розцінюються як похибка в управлінні.

Узагальнюючи дані, наведені в науково-психологічній літературі з цього питання, можна відмітити, що:



## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

– похибки, які допускаються оператором в межах заданих значень регульованих параметрів, не порушують нормального функціонування систем «людина-техніка» і є нормативним явищем;

– помилки оператора завжди розцінюються, як явище ненормальне, оскільки вони можуть викликати різні порушення у функціонуванні систем;

– відмова оператора виявляється або в невірних діях, які призводять до відмови технічних засобів, або у виході за допустимі межі важливих показників його життєдіяльності.

Тому одним з основних напрямів вивчення надійності людини-оператора є аналіз причин виникнення помилок.

Питанням походження типових помилок людини-оператора та їх класифікації присвячено чималу кількість досліджень. Результати даних досліджень були покладені в основі концепції про «особистісний фактор» [2], згідно з якою помилкові дії в однакових умовах допускають далеко не всі оператори. На появу помилок впливають як індивідуальні характеристики конкретної людини, так і зміст, умови й організація її діяльності. Виходячи з цього, необхідно враховувати так звані об'єктивні чинники, під якими ми розуміємо сукупність професійно значущих психологічних, фізіологічних, антропометричних і соціальних особливостей операторської діяльності певного профілю і які визначають особливості конкретних технічних засобів і окремих їх компонентів.

На підставі експертних оцінок та аналізу літературних даних нами було виконано аналіз помилкових дій станційних диспетчерів Придніпровської дороги. На першому етапі досліджень ми проаналізували відмінності між психофізіологічними особливостями поведінки жінок та чоловіків під час виконання професійних обов'язків з застосуванням t-критерію Стюдента. В цьому випадку для визначення емпіричного значення t-критерію використовують формулу

$$t = \frac{|M_1 - M_2|}{\sqrt{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}},$$

де  $n_1, n_2$  – кількість досліджуваних в 1-й та 2-й виборках;  $\overline{M_1}, \overline{M_2}$  – середні арифметичні значення в 1-й та 2-й виборках;  $\sigma_1, \sigma_2$  – стандартні відхилення в 1-й та 2-й виборках.

Отримане емпіричне значення t-критерію перевищує критичне для  $\alpha = 0,05$ , але виявляється меншим критичного для  $\alpha = 0,01$ , тобто  $2,0 < t < 2,66$ .

$$t = \frac{|103 - 110|}{\sqrt{29 \cdot 10^2 + 31 \cdot 12^2}} \sqrt{\frac{30 \cdot 32 (30 + 32 - 2)}{30 + 32}} \approx 2,486$$

Таким чином, можна зробити висновок про те, що статистичні розбіжності середніх арифметичних значень були вірогідними для  $p < 0,05$ . Також слід зазначити, що частота помилок, які зафіксовані у жінок, була вищою у  $2,16 \pm 0,01$  рази ( $p < 0,05$ ), ніж у чоловіків за нестандартних умов. Виявлено, що велика група помилок пов'язана з недотриманням персоналом вимог посадових інструкцій та інструкцій з охорони праці, недбалістю і неухважністю, безвідповідальним ставленням до своїх обов'язків, а також недостатньою підготовкою і тренуваністю. Додатковими чинниками, які сприяли помилкам або їх розвитку, були неефективність застережливої сигналізації, несправність вимірювальних приладів або системи відображення інформації. Більшість помилок допускав персонал на початку або наприкінці зміни і через недостатній досвід роботи [14–15].

Узагальнюючи результати цього аналізу, можна виділити причини помилок операторів за суб'єктивними і об'єктивними факторами (табл. 1 та 2).

Таблиця 1

**Причини помилок працівників операторського профілю залізниці**

Table 1

**Error reasons of operator profile workers of the railway**

Тип причин	Зміст причини
1. Професійні якості	<ul style="list-style-type: none"> <li>– низький рівень професійних знань;</li> <li>– недоліки в розвитку й реалізації професійних умінь і навиків;</li> <li>– відсутність готовності до ухвалення рішень;</li> <li>– відсутність або недостатність професійного досвіду;</li> </ul>

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Закінчення табл. 1

End of table 1

Тип причин	Зміст причини
2. Особистісні особливості	– невідповідність до використання спеціальних прийомів підтримки працездатності (економічне витрачання сил, самокоригування техніки виконання рухових актів, зосередженість й готовність до ухвалення оптимальних рішень, включення прийомів самомотивації тощо)
	– несприятлива направленість на професію (професійні інтереси, ідеали, ціннісні орієнтації); – недоліки в розвитку професійно важливих психофізіологічних якостей (швидкість реакцій, особливості сприйняття, уваги, пам'яті, мислення тощо); – несприятливі особливості особистості оператора (нетовариськість, невпевненість, запальність, некоммунікбельність, агресивність тощо); – несприятливі психічні стани (емоційна нестійкість, психічна напруженість, тривожність, стомлення, стрес)
3. Фізіологічні особливості	– зниження чутливості аналізаторів; – загострення хронічних і гострих захворювань; – порушення звичного режиму добової життєдіяльності
4. Фізичні особливості	– несприятливі антропометричні і біомеханічні особливості оператора; – недоліки розвитку сили, швидкості, витривалості.

Вказані типові помилки відображають ступінь реалізації професійно важливих вимог до якостей людини-оператора і виявляються в умовах взаємодії оператора з системами керування і відповідно визначають ефективність і якість праці.

Також хотілось би наголосити на необхідність психологічного та психофізіологічного відбору молодих спеціалістів операторського профілю на залізниці. В умовах об'єктивної складності транспортних ситуацій рівень надій-

ності працівників визначається природними психологічними можливостями людського організму та психологічними можливостями особистості, які повинні прогнозуватися на стадії професійного психофізіологічного відбору. Звертає на себе увагу й те, з якої причини відбувається вибір професії сучасних спеціалістів.

Таблиця 2

**Можливі причини помилок працівників  
Придніпровської залізниці за об'єктивним  
фактором**

Table 2

**Possible causes of errors of Prydniprovsk Railway  
workers according to objective factor**

Тип причин	Зміст причин
1. Умови діяльності	– незадовільні параметри мікроклімату виробничого приміщення (освітленість, наявність вібрації, шуму тощо); – внутрішньогрупові конфлікти, психологічна несумісність операторів чергової зміни; – порушення індивідуальних геометричних розмірів елементів робочого місця, досяжності
2. Зміст діяльності	– надмірне інформаційне навантаження; – оператор віддалений від керованого об'єкта; – різний ступінь одночасного навантаження органів чуття оператора (в основному на зоровий аналізатор); – надмірно високий темп роботи або моногонія; – робота оператора в умовах дефіциту часу
3. Організація діяльності	– не завжди коректне (неоднозначне) формулювання інструкцій, письмових розпоряджень; – недоліки в керуванні і забезпеченні діяльності (невірно запланований термін ремонтно-технічних робіт на ділянці тощо); – надмірне завантаження протягом зміни; – невідповідність періодичності обороту змін фізичним можливостям оператора;

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Закінчення табл. 2

End of table 2

Тип причин	Зміст причин
4. Методи і критерії оцінки стану оператора	– відсутність якісних тренувальних програм
	– низька ефективність медичного контролю;
	– практично повна відсутність психологічного контролю;
	– відсутність розробленої системи професійного відбору

За результатами опитування молодих спеціалістів, які прийшли на роботу, співробітниками відділу охорони праці Придніпровської залізниці було з'ясовано, що більшість опитуваних зробили вибір за порадою батьків або випадково.

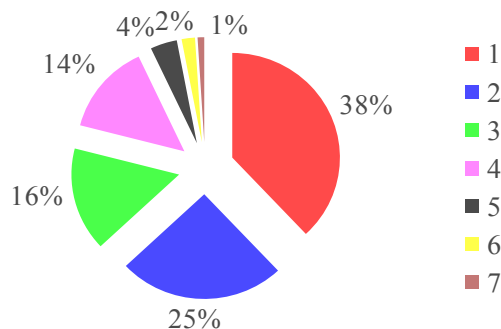


Рис. 1. Вибір професійного шляху:

- 1 – зробили вибір за порадою батьків (38 %);  
 2 – зробили вибір самі (25 %); 3 – вибрали випадково, але не шкодують (16 %); 4 – цікава робота (14 %);  
 5 – головне отримати вищу освіту (4 %); 6 – не знають чому зробили такий вибір (2 %); 7 – порадили випускники даного ВУЗу (1 %)

Fig. 1. Professional choice:

- 1 – made the choice according to parents advice (38%);  
 2 – made the choice individually (25%); 3 – random choice but they don't regret (16%); 4 – interesting job (14%);  
 5 – the main purpose is to get higher education (4%);  
 6 – they don't know why they made this choice (2%);  
 7 – graduates recommended this university (1%)

Таким чином, ми бачимо, що виникають передумови до несерйозного підходу з виконання своїх обов'язків або неможливості виконувати свої обов'язки у повному обсязі. З іншого боку, у процесі своєї діяльності людина використовує не тільки свої фізичні можливості, а й витрачає значні психологічні зусилля, такі як особливості характеру, волю, розумові здібності тощо. А оскільки психофізіологічної експертизи не

проводять на більшості видах робіт на залізниці, цей вид небезпек виходить на перше місце.

Психофізіологічні небезпеки у сучасному світі є чинниками цілісності чи розладу, стійкості чи дисгармонії, спокою чи тривоги, успіху чи невдач, фізичного та морального благополуччя, особливо у молодих спеціалістів. На сьогодні не існує жодного фактора психофізіологічних небезпек, що не впливав би на людину. Кожен з цих факторів залежно від тривалості дії можна віднести до постійних чи тимчасових.

Психофізіологічними факторами потенційної небезпеки постійної дії слід вважати:

1) недоліки органів відчуття (дефекти зору, слуху тощо);

2) порушення зв'язків між сенсорними та моторними центрами, внаслідок чого людина не здатна реагувати адекватно на ті чи інші зміни, що сприймаються органами відчуття;

3) дефекти координації рухів (особливо складних рухів та операцій, прийомів тощо);

4) підвищена емоційність;

5) відсутність мотивації до трудової діяльності (незацікавленість в досягненні цілей, невдоволення оплатою праці, монотонність праці, відсутність пізнавального моменту, тобто нецікава робота, тощо).

Психофізіологічними факторами потенційної небезпеки тимчасової дії є:

1) недостатність досвіду (поява імовірної помилки, невірні дії, напруження нервово-психічної системи, побоювання допустити помилку);

2) необережність (може призвести до ураження не лише окремої людини, а й всього колективу);

3) втома (розрізняють фізіологічне та психологічне стомлення);

4) емоційні явища (особливо конфліктні ситуації, душевні стреси, пов'язані з побутом, сім'єю, друзями, керівництвом. Тому на робочому місці людина повинна вміти визначити для себе пріоритети в діяльності в певний конкретний момент. Зазвичай, такі здібності напружуються протягом тривалого стажу під час виконання типового виду роботи.

В умовах росту складності і напруги операторської роботи надійність людини зменшується і часом навіть дуже суттєво. Це призводить до того, що збільшення надійності технічної частини системи управління частіше

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

всього втрачає сенс, оскільки надійність всієї системи лімітується характеристиками цієї властивості у людини-оператора. Це, в свою чергу, створює об'єктивні умови для збільшення ризику виникнення позаштатних і аварійних ситуацій. Джерелами небезпеки й аварійної ситуації є об'єкти та явища матеріального середовища, з якими людина безпосередньо стикається у своїй діяльності.

### Наукова новизна та практична значимість

Ретельний професійний відбір за психофізіологічною стійкістю до стресових ситуацій та за здатністю до тривалої напруженої роботи станційних диспетчерів залізниць, що беруть участь у процесі перевезень, є необхідним і важливим. Обґрунтовано необхідність розробки новітніх підходів до систематизованого аналізу на кількісній основі питань управління та визначення надійності людського чинника, яку може забезпечити професійний психофізіологічний відбір осіб, пов'язаних з безпекою руху. Це дасть змогу підвищити рівень безпеки руху поїздів і знизити кількість помилок з вини людини, а також дасть можливість виявити осіб з такими психофізіологічними якостями й особливостями нервової системи, що в подальшому не можуть успішно працювати операторами залізничного транспорту.

### Висновок

Досвід психофізіологічних обстежень свідчить, що профвідбір залізничників провідних професій досить точно прогнозує успішність і надійність роботи операторів та дає можливість виявити протипоказання до професійної діяльності.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Аналіз виробничого травматизму на залізничному транспорті України за 2012 р. – К. : Укрзалізниця, 2013. – 44 с.
- Белоцерковская, Ю. О. Особенности профессиональной деятельности операторов БЦК ТЭЦ / Ю. О. Белоцерковская // Пробл. экстрем. та кризової психології : зб. наук. пр. / Ун-т цивільного захисту України. – Х., 2010. – Вип. 7. – С. 46–55.
- Берг, Т. Н. Нервно-психическая неустойчивость и способы ее выявления : учеб. пособие / Т. Н. Берг. – Владивосток : Морской гос. ун-т им. адмирала Г. И. Невельского, 2005. – 63 с.
- Бодров, В. А. Информационный стресс в операторской деятельности / В. А. Бодров, А. А. Обознов, П. С. Турзин // Психологич. журн. – 1998. – Т. 19, № 5. – С. 38–53.
- Бурейка, Г. А. Оценка аварийности на железнодорожных переездах Литвы / Г. А. Бурейка, Л. Г. Людвинавичюс // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 1 (43). – С. 13–21.
- Герасимов, А. В. Психофизиологические критерии прогноза эффективности профессиональной деятельности на этапе приема в учебно-тренировочный центр / А. В. Герасимов, М. А. Котик // Физиология человека. – 1993. – Т. 19, № 4. – С. 77–88.
- Гуревич, К. М. Профессиональная пригодность и основные свойства нервной системы / К. М. Гуревич. – М. : Наука, 1970. – 272 с.
- Дядько, Б. П. Аналіз аварійності на об'єктах електроенергетики України / Б. П. Дядько, С. В. Юрчишин // Енергетика и электрификация. – 2004. – № 8. – С. 10–15.
- Кальниш, В. В. Психофизиологические критерии профессионального отбора оперативного персонала энергопредприятий / В. В. Кальниш, Н. И. Сытник // Енергетика и электрификация. – 1987. – № 4. – С. 48–50.
- Котик, М. А. Природа ошибок оператора / М. А. Котик, А. М. Емельянов. – М. : Транспорт, 1993. – 252 с.
- Ложкин, Г. В. Практическая психология в системах «человек-техника» : учеб. пособие / Г. В. Ложкин, Н. И. Повякель. – К. : МАУП, 2003. – 296 с.
- Макаренко, Л. М. Вплив людського чинника на безпеку руху залізничного транспорту / Л. М. Макаренко // Залізн. трансп. України. – 2010. – № 1. – С. 46–51.
- Небылицин, В. Д. Надежность работы оператора в сложной системе управления / В. Д. Небылицин // Инженерная психология. – М. : МГУ, 1964. – С. 258–367.
- Никифорова, О. А. Застосування фізіологічних досліджень для забезпечення оптимальних параметрів праці операторів залізничного транспорту / О. А. Никифорова, Ю. В. Соловйова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 37. – С. 51–54.
- Сидоренко, Г. Г. Людський чинник як основа безпеки руху залізничного транспорту: аналітичний огляд / Г. Г. Сидоренко, О. А. Никифорова.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- рова // Зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна «Трансп. системи та технології перевезень». – Д., 2013. – Вип. 6. – С. 87–91.
16. Собчик, Л. Н. Психодіагностика в медицині : практ. рук. / Л. Н. Собчик. – СПб. : Боргес, 2007. – 416 с.
  17. Cognitive failure analysis for aircraft accident investigation / D. O'Hare, M. Wiggins, R. Batte, D. Morrison // Ergonomics. – 1994. – Vol. 37, № 11. – P. 1855–1869.
  18. Hollnagel, E. Human Reliability Analysis: Context and Control / E. Hollnagel. – London : Academic, 1993. – 264 p.
  19. Reason, J. A. Systems approach to organizational error / J. A. Reason // Ergonomics. – 1995. – Vol. 38, № 8. – P. 1708–1721.

Е. А. НИКИФОРОВА<sup>1</sup>, А. Г. СИДОРЕНКО<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Каф. «Безопасность жизнедеятельности», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 81, эл. почта nikiforova76@mail.ru

<sup>1\*</sup>Каф. «Безопасность жизнедеятельности», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (066) 393 42 90, эл. почта \_annuschka\_@mail.ru

## ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ВО ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ СЛУЖЕБНЫХ ОБЯЗАННОСТЕЙ СТАНЦИОННЫХ ДИСПЕТЧЕРОВ ПРИДНЕПРОВСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

**Цель.** На основе анализа ошибочных действий диспетчеров Приднепровской железной дороги и литературных данных необходимо обосновать важность применения методов психофизиологического отбора для профилактики безопасности движения, повышения надежности человеческого фактора. **Методика.** Исследования были проведены среди работников операторского типа (станционные диспетчеры) (n = 62), из которых 32 – женщины, 30 – мужчины. Для проведения исследований были использованы: метод социологического опроса, психологические методики с применением личностного, «НПН-А» (нервно-психическая неустойчивость – акцентуации) и индивидуально-типологического опросников. **Результаты.** Проанализированы типичные ошибки работников операторского профиля Приднепровской железной дороги. Выявлено, что большая группа ошибок связана с несоблюдением персоналом требований должностных инструкций и инструкций по охране труда, халатностью и невнимательностью, безответственным отношением к своим обязанностям, а также недостаточной подготовкой и тренированностью персонала. **Научная новизна.** Обоснована необходимость разработки новых подходов к систематизированному анализу на количественной основе вопросов управления и определения надежности человеческого фактора, который может обеспечить профессиональный психофизиологический отбор лиц, связанных с безопасностью движения. **Практическая значимость.** Получены результаты анализа, которые положены в основу разработки новых методов психофизиологических обследований относительно профотбора железнодорожников ведущих профессий, что позволит достаточно точно прогнозировать успешность и надежность работы операторов и даст возможность выявить противопоказания к профессиональной деятельности.

**Ключевые слова:** профессиональный психофизиологический отбор; человек-оператор; психологический анализ; функциональное состояние; ошибочные действия

O. A. NYKYFOROVA<sup>1</sup>, H. H. SYDORENKO<sup>1\*</sup><sup>1</sup>Dep. «Life Safety», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 81, e-mail nikiforova76@mail.ru<sup>1\*</sup>Dep. «Life Safety», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 393 42 90, e-mail \_annuschka\_@mail.ru

## PROFESSIONAL RISK ASSESSMENT DURING PERFORMING OFFICIAL DUTIES OF STATION DISPATCHERS ON PRYDNIPROVSK RAILWAY

**Purpose.** To substantiate the importance of psychophysiological selection for the traffic safety prevention, increase of the human factor reliability on the basis of erroneous actions analysis of the Prydniprovsk railway workers of operator type and literature data. **Methodology.** Studies have been conducted among operation personnel (station dispatchers) (n = 62), 32 – women, 30 – men. The method of social survey, psychological techniques using the personal, «NPN-A» (neuropsychic instability – accentuations), individual and typological questionnaire were used. **Findings.** Typical mistakes of Prydniprovsk railway workers of operator type were analyzed. It was found out that a large group of errors is connected with the failure of staff job descriptions and requirements of labor protection instructions, negligence and carelessness, irresponsible attitude to their duties, inadequate personnel training. **Originality.** The necessity of new approaches development to the systematic analysis on a quantitative basis of management and assessment of the human factor reliability, which can be provided by professional psychophysiological selection of persons related to traffic safety was grounded. **Practical value.** The obtained results can be the basis for the development of new methods of physiological investigations concerning occupational selection of railway workers of leading professions. It would accurately predict the performance and reliability of the operators and would provide an opportunity to identify contraindications to the professional activity.

**Keywords:** professional psychophysiological selection; human-operator; psychological analysis; functional status; erroneous actions

### REFERENCES

1. *Analiz vyrobnychoho travmatyzmu na zaliznychnomu transporti Ukrainy za 2012 r.* [Analysis of occupational injuries on railway transport in Ukraine for 2012 year]. Kyiv, Ukrzaliznytsia Publ., 2013. 44 p.
2. Belotserkovskaia Yu.O. Osobennosti professionalnoy deyatel'nosti operatorov BShchK TETs [Professional activity pattern of BSCHK CHP operators]. *Problemy ekstremalnoi ta kryzovoi psikhologii* [Problems of extreme and crisis psychology], 2010, issue 7, pp. 46-55.
3. Berg T.N. *Nervno-psikhicheskaya neustoychivost i sposoby yeye vyyavleniya* [Neuro-psychological instability and ways of its identification]. Vladivostok, Morskoy gos. un-t im. admirala G. I. Nevel'skogo Publ., 2005. 63 p.
4. Bodrov V.A., Oboznov A.A., Turzin P.S. Informatsionnyy stress v operatorskoy deyatel'nosti [Information stress in operator activity]. *Psikhologicheskii zhurnal – Psychological Journal*, 1998, vol. 19, no. 5, pp. 38-53.
5. Bureyka G.A., Lyudvinavichyus L.G. Otsenka avariynosti na zheleznodorozhnykh pereyezdakh Litvy [Accidents evaluation on rail crossings in Lithuania]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 1 (43), pp. 13-21.
6. Gerasimov A.V., Kotik M.A. Psikhofiziologicheskiye kriterii prognoza effektivnosti professionalnoy deyatel'nosti na etape priyema v uchebno-trenirovochnyy tsentr [Psychophysiological criteria for predicting the effectiveness of occupational activity at the stage of admission to a training center]. *Fiziologiya cheloveka – Human Physiology*, 1993, vol. 19, no. 4, pp. 77-88.
7. Gurevich K.M. *Professionalnaya prigodnost i osnovnyye svoystva nervnoy sistemy* [Professional competence and basic properties of nervous system]. Moscow, Nauka Publ., 1970. 272 p.
8. Diado B.P., Yurchyshyn S.V. Analiz avariynosti na ob'ektakh elektroenergetiki Ukrainy [Analysis of the accidents at the electric power industry projects in Ukraine]. *Energetika i elektrifikatsiya – Energy and Electrification*, 2004, no. 8, pp. 10-15.
9. Kalnish V.V., Sytnik N.I. Psikhofiziologicheskiye kriterii professionalnogo otbora operativnogo personala energopredpriyatiy [Physiological criteria for the professional selection of operational staff at electric utilities]. *Energetika i elektrifikatsiya – Energy and Electrification*, 1987, no. 4, pp. 48-50.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

10. Kotik M.A., Yemelyanov A.M. *Priroda oshibok operatora* [Nature of operator errors]. Moscow, Transport Publ., 1993. 252 p.
11. Lozhkin G.V., Povyakel N.I. *Prakticheskaya psikhologiya v sistemakh «chelovek-tehnika»* [Practical psychology in the «man-technique» system]. Kyiv, MAUP Publ., 2003. 296 p.
12. Makarenko L.M. Vplyv liudskoho chynnyka na bezpeku rukhu zaliznychnoho transportu [The influence of human factors on safety of railway transport]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2010, no. 1, pp. 46-51.
13. Nebylitsin V.D. *Nadezhnost raboty operatora v slozhnoy sisteme upravleniya. Kniga: Inzhenernaya psikhologiya* [Reliability of the operator's work in a complex control system. Book: Engineering Psychology]. Moscow, MGU Publ., 1964. pp. 358-367.
14. Nykyforova O.A., Soloviova Yu.V. Zastosuvannya fiziolo-hihiienichnykh doslidzhen dla zabezpechennia optimalnykh parametriv pratsi operatoriv zaliznychnoho transportu [The use of physiological and hygienic research to ensure the optimal parameters of the operator's work of rail transport]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 37, pp. 51-54.
15. Sydorenko H.H., Nykyforova O.A. Liudskyi chynnyk yak osnova bezpeky rukhu zaliznychnoho transportu: analitychnyi ohliad [The human factor as a basis for traffic safety of railway transport: analytical survey]. *Transportni systemy ta tekhnologii perevezen* [Transport systems and transportation technologies], 2013, issue 6, pp. 87-91.
16. Sobchik L.N. *Psikhodiagnostika v meditsine* [Psychodiagnostics in medicine]. Saint Petersburg, Borges Publ., 2007. 416 p.
17. O'Hare D., Wiggins M., Batte R., Morrison D. Cognitive failure analysis for aircraft accident investigation. *Ergonomics*, 1994, issue 37, no. 11, pp. 1855-1869.
18. Hollnagel E. Human Reliability Analysis: Context and Control. London, Academic Publ., 1993. 264 p.
19. Reason J.A. Systems approach to organizational error. *Ergonomics*, 1995, issue 38, no. 8, pp. 1708-1721.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. А. С. Беліковим (Україна); д.т.н., проф. В. Л. Горобцем (Україна)

Надійшла до редколегії 05.02.2014

Прийнята до друку 15.03.2014



## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

UDC 629.423.31-048.24

A. M. AFANASOV<sup>1\*</sup>, A. YE. DRUBETSKIY<sup>1</sup>, S. V. ARPUL<sup>1</sup>, A. P. KHVOROSTYANKINA<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Electric Rolling Stock of Railways», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 31, e-mail afanasof@ukr.net

<sup>1</sup>Dep. «Electric Rolling Stock of Railways», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 31

### ENERGY EFFICIENCY DETERMINATION OF LOADING-BACK SYSTEM OF ELECTRIC TRACTION MACHINES

**Purpose.** Acceptance post-repair tests of electric traction machines are conducted on loading-back stands that reduce the overall power costs for the tests. Currently a number of possible circuit designs of loading-back systems of electric machines are known, but there is no method of determining their energy efficiency. This in turn makes difficult the choice of rational options. The purpose of the article is the development of the corresponding methodology to make easier this process. **Methodology.** Expressions for determining the energy efficiency of a stand for testing of electric traction machines were obtained using the generalized scheme analysis of energy transformations in the loading-back systems of universal structure. **Findings.** The technique was offered and the analytical expressions for determining the energy efficiency of loading-back systems of electric traction machines were obtained. Energy efficiency coefficient of loading-back system is proposed to consider as the ratio of the total action energy of the mechanical and electromotive forces, providing anchors rotation and flow of currents in electric machines, which are being tested, to the total energy, consumed during the test from the external network. **Originality.** The concept was introduced and the analytical determination method of the energy efficiency of loading-back system in electric traction machines was offered. It differs by efficiency availability of power sources and converters, as well as energy efficiency factors of indirect methods of loss compensation. **Practical value.** The proposed technique of energy efficiency estimation of a loading-back system can be used in solving the problem of rational options choice of schematics stands decisions for electric traction machines acceptance tests of main line and industrial transport.

*Keywords:* electric traction machines; tests; loading-back; power losses; energy efficiency

#### Introduction

Requirements of the relevant standards and regulations for repair of locomotives provide for acceptance testing of each newly manufactured electric traction machine or machine after repair [3]. These tests are an important and integral part of technical process of production or repair of electric traction machine, the material costs for which are included in the cost of final product [10].

Technical quality control, which is conducted during the acceptance tests of electric traction machines, ultimately determines the reliability and dependability of the hauling plant as a whole and,

consequently, the cost-effectiveness of railway transportations of mainline and industrial vehicles.

The loading-back systems (where the energy exchange between the tested machines takes place) provide high energy efficiency of the tests with relatively low total power of power supply sources. External power sources in such loading-back systems are needed only to cover the power losses in the tested electric machines [4].

Reduction of power consumption for acceptance post-repair tests of electric traction machines is one of the urgent problems on repair enterprises of traction rolling stock of mainline and industrial

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

vehicles. Thermal tests of electric traction machines on the test bench of loading-back are the most energy-intensive part of the entire test program. Energy consumption for this type of tests can be reduced both by increasing the energy efficiency of the loading-back system and by optimizing the mode of loading of electric traction machines [11, 13, 12].

### Purpose

The purpose of this research is to develop the methods for determining the energy efficiency of loading-back systems of electric traction machines.

### Methodology

The term energy efficiency is generally understood as the rational use of energy resources during some technological process.

The most known index of energy efficiency of a device performing useful work is its efficiency coefficient. That is the ratio of this useful work to the energy consumption from the network.

Despite the fact that the loading-back system does not perform useful work, the fact of the load current flow of electric machines and rotation of their anchors is the purpose of loading-back process, namely, providing the tests of electric machines tests under loading [9].

Thus, the energy efficiency of the loading-back system can be considered as the ratio of the total energy of mechanical and electromotive forces providing anchors rotation and the flow of currents in tested electric machines to the total energy consumed during the test from the external network.

In general, the energy efficiency coefficient of loading-back system can be represented as

$$k_{\text{эфс}} = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затр}}},$$

where  $A_{\text{пол}}$  и  $A_{\text{затр}}$  are the useful and consumed energy accordingly.

Consumed energy  $A_{\text{затр}}$  does not require detailed explanation, but, nevertheless, one should note that it will be considered as the total amount of electricity consumed during the test of electric traction machines by all the sources of system from the three-phase AC network.

The issue of what should be considered as a useful energy consumed for the test requires de-

tailed observation. If the purpose of loading-back is to ensure the load current flow and anchors (rotors) rotation, the useful power is the total power of all kinds of losses in the tested electric machines. Covering all the power losses in electric machines is the main purpose of energy sources in the system of loading-back [8]. From this point of view, the useful power of sources of loading-back system is

$$P_{\text{пол}} = \sum \Delta P_{\text{др}},$$

where  $\sum \Delta P_{\text{др}}$  is the total power losses in the tested electric machines (engine and generator).

Then the energy efficiency coefficient of the loading-back system is

$$k_{\text{эфс}} = \frac{\int_0^{t_1} \sum \Delta P_{\text{др}} dt}{\int_0^{t_1} \sum P dt},$$

where  $\sum P$  – the total power consumed by the loading-back system from the network;  $t_1$  – is the testing time.

Total power consumption  $\sum P$  is consumed to cover the total power losses in the tested electric machines  $\sum \Delta P_{\text{др}}$  and the total losses in regulators and converters  $\sum \Delta P_{\text{пр}}$

$$\sum P = \sum \Delta P_{\text{др}} + \sum \Delta P_{\text{пр}}.$$

The energy efficiency of the loading-back system, as it was shown above, is the ratio of the total power losses in the tested electric traction machines meeting the parameters of adopted loading mode to the total power consumed by the power supply sources of loading-back system from the network. The nature of dependence of this indicator on the structure of the loading-back system can be determined by the universal scheme of energy transformations shown in Fig. 1.

This scheme is universal and takes into account all the possible options to cover the power losses in the tested electric machines [9]:

- direct covering of electric losses;
- indirect covering of electric losses;
- direct covering of idling losses;
- indirect covering of idling losses.

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

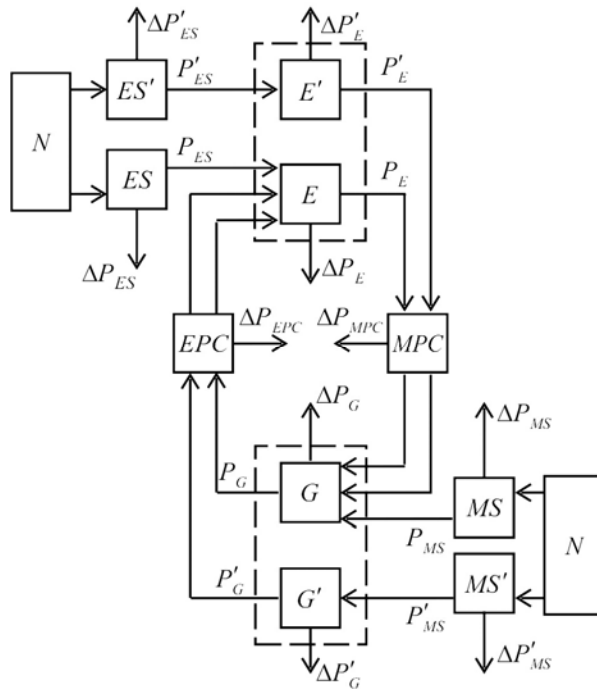


Fig. 1. Universal scheme of energy transformations in the loading-back system of electric traction machines

The scheme provides the variants of electrical and mechanical power transmission in the main power conversion loop using converters of electric and mechanical power, respectively.

Electric power source ES compensates electric losses in loading-back system by direct process, when the electric power source ES' compensates idling losses by indirect way. The source of mechanical power MS covers idling losses in the system directly, when the source of mechanical power MS' covers electrical losses indirectly. All four possible power sources are connected to the network «N».

The tested engine is conventionally divided into two parts:  $\mathcal{D}$  and  $\mathcal{D}'$ . A conditional part  $\mathcal{D}$  is included into the main loop of power transformations, and the part  $\mathcal{D}'$  is a conditional converter of ES' source electric power into mechanical power transmitted to generator G [5]. The tested generator is also conditionally divided into two parts: G and G'. Conditional part G is included into the main loop of power transformations, when the part G' is a conditional converter of MS' source mechanical power into electric power transmitted to the engine E.

Transmission of power  $P_{\text{из}}$  of ES source to the engine E is carried out directly, when the transmission of power  $P'_{\text{из}}$  of the ES' source to generator G is carried out through the engine E' and mechanical

power converter and the MPC. Transmission of mechanical power  $P_{\text{д}}$  from the tested engine E to the tested generator G is carried out through the MPC converter; when transmission of the electric power  $P_{\text{г}}$  from the tested generator G to the engine E is carried out through the EPC converter.

Energy transformation loop, including the conditional part of engine E, conditional part of generator G, and the converters MPC and EPC is the main one. Total losses in the tested engine and generator caused by transformations in this loop, represent a useful power of the loading-back system.

$$\sum \Delta P_{\text{дг}} = \Delta P_{\text{д}} + \Delta P_{\text{г}}.$$

Total power, consumed by loading-back system from the network,

$$\sum P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4,$$

where  $P_1, P_2, P_3, P_4$  are the powers, consumed from the network by the sources ES, ES', MS, MS' accordingly.

In accordance with the energy transformation scheme shown in Fig. 1, the power balance can be represented as

$$\begin{aligned} \sum P = & \sum \Delta P_{\text{дг}} + \Delta P_{\text{из}} + \Delta P'_{\text{из}} + \Delta P_{\text{им}} + \\ & + \Delta P'_{\text{им}} + \Delta P_{\text{прм}} + \Delta P_{\text{прэ}} + \Delta P'_{\text{д}} + \Delta P'_{\text{г}}, \end{aligned}$$

where  $\Delta P_{\text{из}}, \Delta P'_{\text{из}}, \Delta P_{\text{им}}, \Delta P'_{\text{им}}$  are the power losses in the sources ES, ES', MS, MS' accordingly;  $\Delta P_{\text{прм}}, \Delta P_{\text{прэ}}$  are the losses in converters of mechanical and electric power accordingly;  $\Delta P'_{\text{д}}, \Delta P'_{\text{г}}$  are the additional power losses in the tested engine and generator accordingly.

### Findings

Coefficient of energy efficiency of loading-back system can be represented as

$$k_{\text{эфс}} = \frac{\sum \Delta P_{\text{дг}}}{\sum \Delta P_{\text{дг}} + \sum \Delta P_{\text{пр}}},$$

where

$$\begin{aligned} \sum \Delta P_{\text{пр}} = & \Delta P_{\text{из}} + \Delta P'_{\text{из}} + \Delta P_{\text{им}} + \\ & + \Delta P'_{\text{им}} + \Delta P_{\text{прм}} + \Delta P_{\text{прэ}} + \Delta P'_{\text{д}} + \Delta P'_{\text{г}}. \end{aligned}$$

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Power losses in the sources and converters are determined by their efficiency and net power at the output required for the operation of loading-back system in the set mode [7].

Note that the diagram in Fig. 1 is universal and takes into account all possible energy transformations in the loading-back system. For a particular electromechanical loading-back system most of elements of the given energy scheme will be absent.

The coefficient of energy efficiency  $k_{\text{эфс}}$  will be determined by the efficiency of the sources of ES, ES', MS, MS', converters EPC, MPC, and by the energy efficiency coefficients of power transformations in the conventional parts E' and G'.

The energy efficiency coefficient of transformation of electric power  $P'_{\text{из}}$  into mechanical one  $P'_d$  in the engine E' can be represented as [2]

$$\eta_{\text{np1}} = \frac{P'_d}{P'_{\text{из}}}$$

or

$$\eta_{\text{np1}} = 1 - \frac{\Delta P'_d}{P'_{\text{из}}}.$$

The energy efficiency coefficient of mechanical power  $P'_{\text{им}}$  transformation into electrical one  $P'_r$  in the generator G' can be represented as [1]

$$\eta_{\text{np2}} = \frac{P'_r}{P'_{\text{им}}}$$

or

$$\eta_{\text{np2}} = 1 - \frac{\Delta P'_r}{P'_{\text{им}}}.$$

It should be noted that the additional losses  $\Delta P'_d$  and  $\Delta P'_r$  are connected with energy process parameters in the main loop, i.e. they are dependent on  $P_d$  and  $P_r$  correspondingly. Also note that in almost all variants of loading-back systems at least one of the indirect compensation methods of at least one of the loss types in the tested electric machines is used [9].

Coefficients  $\eta_{\text{np1}}$  and  $\eta_{\text{np2}}$  together with efficiency of all power sources and converters determine the total energy efficiency of loading-back system  $k_{\text{эфс}}$ .

### Originality and practical value

It was introduced the concept and proposed the method of analytical determination of the energy efficiency of the loading-back system of traction electric machines. It differs by considering the efficiency of power sources and converters, as well as energy efficiency coefficient of indirect methods to cover losses.

The proposed evaluation methodology of energy efficiency of loading-back system can be used to solve the choice problem of rational circuit design of stands for acceptance testing of electric traction machines of mainline and industrial vehicles.

### Conclusions

Energy efficiency of loading-back system is determined by efficiency of power sources and converters, as well as the energy efficiency of indirect methods of loss cover. The losses depend on the share of particular type of loss in the total power loss in the tested electric traction machine.

Reduction of electric energy consumption for electric traction machines testing can be achieved by means of both the choice of rational loading modes [6], and the optimization of the structure of loading-back system.

Minimization of total energy consumption for testing of electric traction machines can be achieved by reducing the number of successive power transformations in auxiliary devices or refusal from such transformations. The most rational seems to be a solution to cover all the losses by a single source of energy. This can be a source of both electrical and mechanical power [9]

### LIST OF REFERENCE LINKS

1. Афанасов, А. М. Энергетические показатели механического способа компенсации электрических потерь в тяговых электродвигателях при их взаимной нагрузке / А. М. Афанасов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 35. – С. 69–73.
2. Афанасов, А. М. Энергетические показатели электрического способа компенсации магнитных и механических потерь в тяговых электродвигателях при их взаимной нагрузке / А. М. Афанасов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 34. – С. 65–68.

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

3. ГОСТ 2582-81. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия. – Введ. 1983-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 34 с.
4. Жерве, Г. К. Промышленные испытания электрических машин / Г. К. Жерве. – Л. : Энергоатомиздат, 1984. – 408 с.
5. Захарченко, Д. Д. Тяговые электрические машины : учеб. пособие для вузов / Д. Д. Захарченко, Н. А. Ротанов. – М. : Транспорт, 1991. – 343 с.
6. Лоза, П. О. Визначення еквівалентного струму навантаження при випробовуванні тягових електродвигунів на нагрівання без вентиляції / П. О. Лоза, Л. В. Дубинець, Д. В. Устименко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – Вип. 25. – С. 26–29.
7. Лоза, П. О. Покращення енергетичних властивостей стенда для випробувань колекторних тягових двигунів локомотивів / П. О. Лоза // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – Вип. 22. – С. 69–71.
8. Лоза, П. О. Покращення енергетичних та інших показників прийнятно-здавальних випробувань тягових двигунів електровозів / П. О. Лоза // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 27 – С. 81–83.
9. Магистральные электровозы. Тяговые электрические машины / В. И. Бочаров, Г. В. Василенко, А. Л. Курочка, В. П. Янов. – М. : Энергоатомиздат, 1992. – 464 с.
10. Правила ремонту електричних машин електровозів і електропоїздів : ЦТ-0204. – К. : Вид. дім «САН», 2012. – 286 с.
11. Castaneda, C. E. Discrete-Time Neural Sliding-Mode Block Control for a DC Motor With Controlled Flux / C. E. Castaneda, A. G. Loukianov, E. N. Sanchez // IEEE Transactions. Industrial Electronics. – 2012. – Vol. 59. – Iss. 2. – P. 1194–1206.
12. El Hayek, J. Experiences with a traction drive laboratory model / J. El Hayek, T. J. Sobczyk, G. Skarpetowski // Electromotion. – 2010. – Vol. 17. – Iss. 1. – P. 30–36.
13. Liu, Y. Developments in Switching Mode Supply Technologies / Y. Liu, W. Eberle // IEEE Canadian Review. Switching Mode Power Supplies. Fall. – 2009. – № 61. – P. 9–14.

А. М. АФАНАСОВ<sup>1\*</sup>, А. Е. ДРУБЕЦКИЙ<sup>1</sup>, С. В. АРПУЛЬ<sup>1</sup>, А. П. ХВОРОСТЯНКИНА<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Электроподвижной состав железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, эл. почта afanasof@ukr.net

<sup>1</sup>Каф. «Электроподвижной состав железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ВЗАИМНОГО НАГРУЖЕНИЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

**Цель.** Приёмо-сдаточные послеремонтные испытания тяговых электромашин проводятся на стендах взаимной нагрузки, которые позволяют снизить общие затраты электроэнергии на испытания. В настоящее время известен целый ряд возможных схемных решений систем взаимного нагружения электромашин, однако отсутствует методика определения их энергетической эффективности. Это, в свою очередь, затрудняет выбор рациональных вариантов. Целью работы является разработка подходящей методики, которая упростит соответствующий процесс. **Методика.** Выражения для определения энергетической эффективности стенда для испытания тяговых электромашин получены путем анализа обобщенной схемы энергетических преобразований в системе взаимного нагружения универсальной структуры. **Результаты.** Предложена методика и получены аналитические выражения для определения энергетической эффективности системы взаимного нагружения тяговых электромашин. Коэффициент энергетической эффективности системы взаимного нагружения предложено рассматривать как отношение общей энергии действия механических и электродвижущих сил, обеспечивающих вращение якорей и протекание токов в испытуемых электромашинах, к суммарной энергии, потребленной за время испытания из внешней сети. **Научная новизна.** Введено понятие и предложен метод аналитического определения энергетической эффективности системы взаимного нагружения тяговых электрических машин, отличающийся учётом в нем к. п. д. источников и преобразователей мощности, а также коэффициентов энергетической эффективности косвенных методов ком-

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

пенсации потерь. **Практическая значимость.** Предложенная методика оценки энергетической эффективности системы взаимного нагружения может быть использована при решении задачи выбора рациональных вариантов схемных решений стенов для проведения приёмо-сдаточных испытаний тяговых электромашин магистрального и промышленного транспорта.

**Ключевые слова:** тяговые электромашини; испытания; взаимная нагрузка; потери мощности; энергетическая эффективность

А. М. АФАНАСОВ<sup>1\*</sup>, А. Є. ДРУБЕЦЬКИЙ<sup>1</sup>, С. В. АРПУЛЬ<sup>1</sup>, А. П. ХВОРОСТЯНКИНА<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Електрорухомий склад залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, ел. пошта afanasov@ukr.net

<sup>1</sup>Каф. «Електрорухомий склад залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31

## ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ВЗАЄМНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

**Мета.** Приймально-здавальні післяремонтні випробування тягових електромашин проводяться на стендах взаємного навантаження, які дозволяють знизити загальні витрати електроенергії на випробування. Сьогодні відомий цілий ряд можливих схемних рішень систем взаємного навантаження електромашин, проте відсутня методика визначення їх енергетичної ефективності. Це, в свою чергу, ускладнює вибір раціональних варіантів. Метою роботи є розробка підходящої методики, яка спростить відповідний процес. **Методика.** Вирази для визначення енергетичної ефективності стенда для випробування тягових електромашин отримано шляхом аналізу узагальненої схеми енергетичних перетворень у системі взаємного навантаження універсальної структури. **Результати.** Запропоновано методику й отримано аналітичні вирази для визначення енергетичної ефективності системи взаємного навантаження тягових електромашин. Коефіцієнт енергетичної ефективності системи взаємного навантаження рекомендовано розглядати як відношення загальної енергії дії механічних та електрорушійних сил, що забезпечують обертання якорів і протікання струмів у випробовуваних електромашинах, до сумарної енергії, спожитої за час випробування із зовнішньої мережі. **Наукова новизна.** Введено поняття й запропоновано метод аналітичного визначення енергетичної ефективності системи взаємного навантаження тягових електричних машин, який відрізняється урахуванням у ньому к. к. д. джерел і перетворювачів потужності, а також коефіцієнтів енергетичної ефективності непрямих методів компенсації втрат. **Практична значимість.** Запропонована методика оцінки енергетичної ефективності системи взаємного навантаження може бути використана при вирішенні задачі вибору раціональних варіантів схемних рішень стендів для проведення приймально-здавальних випробувань тягових електромашин магистрального й промислового транспорту.

**Ключові слова:** тягові електромашини; випробування; взаємне навантаження; втрати потужності; енергетична ефективність

### REFERENCES

1. Afanasov A.M. Energeticheskiye pokazateli mekhanicheskogo sposoba kompensatsii elektricheskikh poter v tyagovykh elektrodvigatelyakh pri ikh vzaimnoy nagruzke [Energy indicators of compensation mechanical method of electric losses in traction motors at their mutual load]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 35, pp. 69-73.
2. Afanasov A.M. Energeticheskiye pokazateli elektricheskogo sposoba kompensatsii magnitnykh i mekhanicheskikh poter v tyagovykh elektrodvigatelyakh pri ikh vzaimnoy nagruzke [Energy indicators of compensation mechanical method of magnetic and mechanical losses in traction motors at their loading back]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 34, pp. 65-68.

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

3. *GOST 2582-81. Mashiny elektricheskoye vrashchayushchiyesya tyagovyye*. [State Standard 2582-81. Rotating electrical machines for rail and road vehicles]. Moscow, Standartinform Publ., 1981. 34 p.
4. Zherve G.K. *Promyshlennyye ispytaniya elektricheskikh mashin* [Industrial testing for electrical machines]. Leningrad, Energoatom Publ., 1984. 408 p.
5. Zakharchenko D.D., Rotanov D.D. *Tyagovyye elektricheskoye mashiny* [Traction electric machines]. Moscow, Transport Publ., 1991. 343 p.
6. Loza P.O., Dubynets L.V., Ustymenko D.V. Vyznachennia ekvivalentnoho strumu navantazhennia pry vyprovovuvanni tiahovykh elektrodvyhuniv na nahrivannia bez ventyliatsii [Determination of equivalent current load under traction electric motors tests for heating without ventilation]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 25, pp. 26-29.
7. Loza P.O. Pokrashchennia enerhetychnykh vlastyivostei stenda dlia vyprovovan kolektornykh tiahovykh dvynhuniv lokomotyviv [Improving of stand energy properties for collector locomotive traction motors test]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 22, pp. 69-71.
8. Loza P.O. Pokrashchennia enerhetychnykh ta inshykh pokaznykiv pryimalno-zdavalnykh vyprovovan tiahovykh dvynhuniv elektrovoziv [Improving energy and other indicators of acceptance tests of electric locomotives traction motors]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 27, pp. 81-83.
9. Bocharov V.I., Vasilenko G.V., Kurochka A.L., Yanov V.P. *Magistralnyye elektrovozy. Tyagovyye elektricheskoye mashiny* [Mainline electric locomotives. Traction electric machines]. Moscow, Energoatom Publ., 1992. 464 p.
10. *Pravyla remontu elektrychnykh mashyn elektrovoziv i elektropoizdiv*. [Repair rules of electric machines of electric locomotives and electric trains]. Kyiv, Vydavnychiy dim «SAM», 2012. 286 p.
11. Castaneda C.E., Loukianov A.G., Sanchez E.N. Discrete-Time Neural Sliding-Mode Block Control for a DC Motor With Controlled Flux. *IEEE Transactions. Industrial Electronics*, 2012, vol. 59, issue 2, pp. 1194-1206.
12. El Hayek J., Sobczyk T., Skarpetowski G. Experiences with a traction drive laboratory model. *Electromotion*, 2010, vol. 17, issue 1, pp. 30-36.
13. Liu Y., Eberle W. Developments in Switching Mode Supply Technologies. *IEEE Canadian Review. Switching Mode Power Supplies. Fall*, 2009, no. 61, pp. 9-14.

*Prof. Mukha A. N., D. Sc. (Tech.); Prof. Skrabets F. P., D. Sc. (Tech.) recommended this article to be published*

Received: Jan. 31, 2014

Accepted: March 17, 2014



## УДК 658.264

О. М. ПШІНЬКО<sup>1</sup>, В. О. ГАБРИНЕЦЬ<sup>2</sup>, В. М. ГОРЯЧКІН<sup>2\*</sup><sup>1</sup>Каф. «Будівлі та будівельні матеріали», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010<sup>2</sup>Каф. «Теплотехніка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87<sup>2\*</sup>Каф. «Теплотехніка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87, ел. пошта vgora@ukr.net

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ СТУДМІСТЕЧКА ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

**Мета.** Витрати теплоти на опалення та гаряче водопостачання житлових і промислових об'єктів складають суттєву частину споживання теплової енергії. Необхідною передумовою розробки заходів з енергозбереження у вже існуючих системах теплопостачання є їх попереднє обстеження. У статті наведено результати обстеження системи теплопостачання студмістечка Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. На основі виконаного аналізу необхідно запропонувати заходи з енергозбереження та провести оцінку їх ефективності. **Методика.** У процесі дослідження виконано розрахунковий аналіз структури споживання теплової енергії на опалення, гаряче водопостачання та проведено порівняння фактичних витрат теплоти протягом календарного року з нормативними. **Результати.** Проаналізовано дані обліку витрат теплової енергії на опалення житловими будинками та гуртожитками протягом 2012 р. і проведено порівняння фактичних питомих показників із нормативними. На основі цього порівняння виявлено проблеми, вирішення котрих допоможе ефективно використовувати теплову енергію. **Наукова новизна.** Вперше проаналізовано та оцінено вплив кліматичних умов, особливостей схем і конструкцій систем теплопостачання на ефективне використання теплової енергії. Виявлено вклад кожної складової. **Практична значимість.** На основі проведеного аналізу споживання теплової енергії було розроблено перелік можливих заходів з енергозбереження, що можуть бути реалізовані в системі теплопостачання та на об'єктах енергоспоживання, а також проведено оцінку економії паливно-енергетичних ресурсів. Представлено перелік заходів з очікуваною економією паливно-енергетичних ресурсів.

**Ключові слова:** енергоефективність; теплоспоживання; витрати теплової енергії; термоізоляція; гаряче водопостачання

### Вступ

У зв'язку з підвищенням вартості енергоносіїв, що відбувається в Україні і світі, набули актуальності роботи, пов'язані з енергозбереженням в системах виробництва, транспортування та використання енергоносіїв і, зокрема, теплової енергії. Витрати теплоти на опалення та гаряче водопостачання житлових та промислових об'єктів складають суттєву частину споживання теплової енергії. Необхідною передумовою розробки заходів з енергозбереження у вже існуючих системах теплопостачання є їх попереднє обстеження. Таке обстеження проводиться в рамках енергетичного аудиту об'єкта.

Зважаючи на актуальність робіт, пов'язаних з енергозбереженням, питанням з проведення енергетичного аудиту та підвищення ефективності використання енергії приділяється значна

увага як в Україні [3, 6, 7, 8], так і в країнах СНД [1, 2, 5, 9] та за кордоном [11–13].

Проведення енергетичного обстеження, якому присвячена ця робота, дає можливість судити про напрямки і необхідну кількість використання теплоти різними споживачами, визначити частку витрати теплової енергії для кожного з них, виокремити найбільших споживачів теплоти, на основі чого сформулювати і удосконалити стратегію енерговикористання, розробити заходи з енергозбереження.

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна (ДНТ) засновано в 1930 році і розташовано в південно-центральної частині країни, в місті Дніпропетровськ. Теплопостачання студмістечка університету, на території якого розташовані навчальні корпуси, спорт-

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

комплекс, гуртожитки, їдальня та інші будівлі, відбувається централізовано від котельні, яка також знаходиться на території студмістечка. Для цього від котельні прокладена теплова мережа, від якої теплоносії подається на опалення та гаряче водопостачання будівель. Загальна кількість об'єктів, що споживають теплову енергію, складає 40 найменувань.

## Мета

Метою роботи є обстеження системи теплопостачання та об'єктів енергоспоживання Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, а також пошук можливостей і визначення напрямків ефективного використання теплової енергії та розробка заходів з енергозбереження.

## Методика

Аудит проводився в декілька послідовних кроків. Першим кроком аудиту є визначення розрахункового теплового навантаження системи теплопостачання містечка, яке складається з опалювального навантаження та навантаження гарячого водопостачання (ГВП). В подальшому ці навантаження порівнюються з фактичними.

**Опалювальне навантаження.** Розрахункове максимальне теплове навантаження на опалення будівель для найбільш холодної п'ятиденки визначали за формулою [10]

$$Q_o^p = q_o V (t_{вн} - t_o^p), \quad (1)$$

де  $q_o$  – питома опалювальна характеристика, Вт / (м<sup>3</sup> · К);  $V$  – зовнішній об'єм будівлі, м<sup>3</sup>;  $t_{вн}$  – усереднена внутрішня температура, °С;  $t_o^p$  – розрахункова температура зовнішнього повітря для опалювального навантаження, °С. Значення  $q_o$ ,  $t_{вн}$  приймали залежно від призначення будівлі, а  $t_o^p = -23$  °С – для м. Дніпропетровська згідно з КТМ 204 України 244-94 [5].

Розрахункове опалювальне теплове навантаження визначали окремо для кожного об'єкта. Загальне розрахункове максимальне теплове навантаження на опалення склало 8,95 МВт. За отриманими з розрахунку даними

була визначена розрахункова частка витрати теплоти на опалення різними будівлями (рис. 1). Найбільшу частку споживання теплоти на опалення мають навчальні корпуси, гуртожитки та житлові будинки (разом 82 % від загального опалювального навантаження).

**Навантаження гарячого водопостачання (ГВП).** Розрахункова витрата теплоти на гаряче водопостачання визначається за формулою [10]

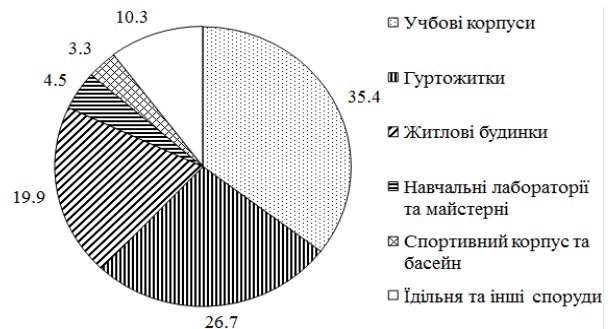


Рис. 1. Розрахункова частка окремих об'єктів в опалювальному навантаженні, %

Fig. 1. Calculation share of some objects in the heating load, %

$$Q_{св} = \frac{q m c \rho (55 - t_{хв})}{T}, \quad (2)$$

де  $\rho$  – густина води, кг/м<sup>3</sup>;  $q$  – добова норма витрати гарячої води на одиницю споживання (приймалась згідно з [5]), м<sup>3</sup>;  $m$  – кількість одиниць споживання;  $c$  – теплоємність води, Дж/(кг·К);  $t_{хв}$  – температура холодної води (взимку приймалась 5 °С, влітку – 15 °С);  $T$  – тривалість роботи гарячого водопостачання протягом доби, с.

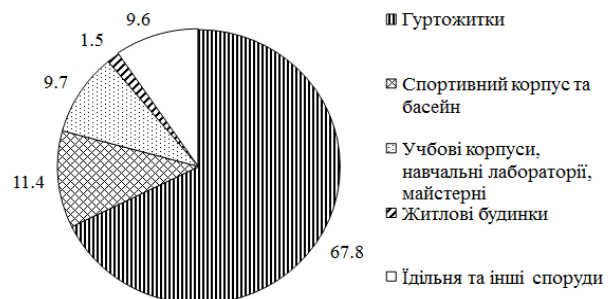


Рис. 2. Розрахункова частка окремих об'єктів в навантаженні ГВП, %

Fig. 2. Calculation share of some objects in load of hot water supply, %

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Як і розрахункове опалювальне навантаження, розрахункове теплове навантаження на ГВП визначали окремо для кожного об'єкта. Загальне розрахункове теплове навантаження на ГВП склало 0,97 МВт. Слід зауважити, що з усього переліку об'єктів теплоспоживання до ГВП приєднані тільки 17 об'єктів (42,5 % від загальної кількості). На рис. 2 зображена частка окремих об'єктів в споживанні теплоти на ГВП.

**Сумарне теплове навантаження.** Розрахункове сумарне максимальне теплове навантаження теплової мережі склало 9,92 МВт. Необхідно зазначити, що опалювальне теплове навантаження змінюється залежно від температури зовнішнього повітря, в той час як навантаження ГВП набагато менше залежить від кліматичних умов, оскільки на нього, в першу чергу, впливає температура холодної водопровідної води, що подається на нагрів. Це призводить до зміни співвідношення між опалювальним навантаженням і навантаженням ГВП протягом опалювального періоду.

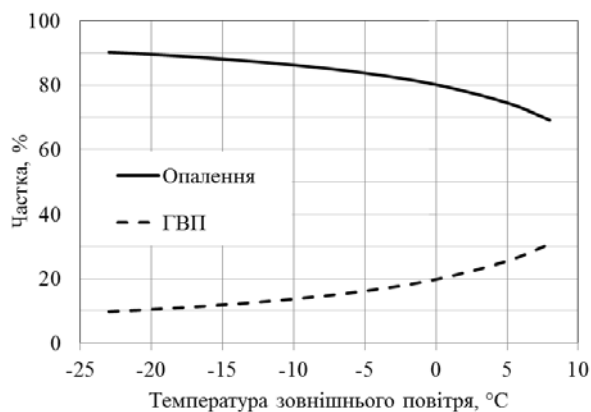


Рис. 3. Частка опалення і ГВП в загальному тепловому навантаженні

Fig. 3. Heat share and hot water supply in total heating load

Підставляючи в формулу (1) замість розрахункової температури зовнішнього повітря для розрахунку опалювального навантаження змінну температуру зовнішнього повітря до + 8 °C (температура початку і кінця опалювального періоду згідно з СНіП 2.04.05-91), знайшли зміну частки опалювального навантаження і навантаження ГВП протягом опалювального періоду. Результати розрахунку зображені на рис. 3. Як видно з графіка, протягом опалюваль-

ного сезону частка опалювального навантаження зменшується від 90,2 % при температурі зовнішнього повітря – 23 °C до 70 % при температурі зовнішнього повітря + 8 °C.

Річне теплове навантаження на опалення та ГВП визначали як

$$Q_o^{pik} = n Q_o^p \frac{t_{вн} - t_{ср.о}}{t_{вн} - t_o^p}$$

$$Q_{св}^{pik} = n_{св} Q_{св}$$

де  $n$ ,  $n_{св}$  – тривалість опалювального періоду та роботи системи гарячого водопостачання відповідно,  $t_{ср.о}$  – середня температура повітря протягом опалювального періоду.

Згідно з розрахунком при середній температурі зовнішнього повітря протягом опалювального періоду – 1,0 °C (для м. Дніпропетровська відповідно КТМ 204 України 244-94 [5]) ці витрати складають  $Q_o^{pik} = 17\,419$  МВт·год,  $Q_{св}^{pik} = 7\,884$  МВт·год. Сумарне річне теплове навантаження теплової мережі  $Q^{pik} = Q_o^{pik} + Q_{св}^{pik} = 25\,303$  МВт·год.

## Результати

Теоретичні розрахунки енергетичних витрат порівнювались з фактичними витратами теплоти.

**Опалювальне навантаження.** В системі тепlopостачання студмістечка облік споживаної теплової енергії ведеться тільки в окремих споживачів теплоти, серед яких житлові будинки, неповна середня школа, лабораторія теплових двигунів. Для гуртожитків облік проводиться спільним лічильником теплоти, встановленим на тепловій мережі. Фіксація показань лічильників теплової енергії здійснювалась щоденно персоналом котельні. В табл. 1 наведені дані обліку витрат теплової енергії на опалення житловими будинками та гуртожитками протягом 2012 р. та виконано порівняння фактичних питомих показників з нормативними.

Норми КТМ 204 України 244-94 призначені для планування потреб в теплоті та паливі на опалення житлових та громадських споруд, формування заявок на паливо теплопостачальними організаціями тощо. Крім того, ці норми можуть бути використані для визначення від-

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

пущеної теплової енергії теплопостачальними організаціями споживачам, у яких тимчасово відсутні прилади обліку, для проведення комерційних та інших розрахунків. Як видно з таблиці, витрата теплоти на опалення протягом 2012 р. була суттєво нижчою даних норм, що з одного боку, пов'язано з пом'якшенням клімату, а з другого – зумовлено роботами з термомодернізації будівель і збільшенням термічного опору огорожувальних конструкцій.

В той же час фактичні питомі витрати теплоти перевищують норми ДБН В 2.6-31-2006, що були введені в дію в 2008 р., і є обов'язковими: під час проектування будинків і споруд, що опалюються; у разі нового будівництва, реконструкції й термомодернізації; під час складання енергетичного паспорта; визначенні витрат паливно-енергетичних ресурсів для опа-

лення будинків розрахунково-аналітичним методом, проведенні енергетичного обстеження будівель та споруд. Згідно з цими нормами, після реконструкцій і капітального ремонту будівель витрати теплоти на їх опалення мають бути суттєво скороченими. Це означає, що роботи з термомодернізації споживачів теплоти обов'язково мають бути направлені на енергозбереження.

Місячна витрата теплоти на опалення, розрахована за кількістю спожитого газу та віднесена до опалюваної площі приміщень, протягом опалювального періоду в 2012 р. змінювалась в межах від 26,8 Вт/м<sup>2</sup> при мінімальному опалювальному навантаженні (листопад) до 65,0 Вт/м<sup>2</sup> при максимальному опалювальному навантаженні (лютий).

Таблиця 1

## Витрати теплоти на опалення

Table 1

## Heat consumption for heating

Найменування	Витрати теплоти		
	Фактичні за опалювальний період, Гкал/МВт·год	Питомі фактичні/нормативні (КТМ 204 України 244-94), Гкал/м <sup>3</sup>	Питомі фактичні/нормативні максимальні (ДБН В 2.6-31-2006), кВт/м <sup>2</sup>
Житловий будинок № 1	181/210	0,0177/0,042	96,0/68
Житловий будинок № 2	214/249	0,0193/0,035	83,8/77
Житловий будинок № 5	119/138	0,0178/0,042	88,5/68
Житловий будинок № 7	280/326	0,0206/0,035	89,0/77
Житловий будинок № 9	353/410	0,0276/0,035	106,1/77
Житловий будинок № 10	489/569	0,0237/0,035	99,5/77
Гуртожитки	3 966/4612	0,0235/0,039	110,3/77

## Наукова новизна та практична значимість

Для аналізу якості регулювання відпуску теплоти протягом опалювального періоду була вперше побудована залежність місячної витрати теплоти на опалення житлових будинків та гуртожитків від середньомісячної температури повітря (рис. 4). Під час аналізу були використані кліматичні дані за 2012 р. для міста Дніпропетровська, взяті за даними метеостанції Дніпропетровськ/Кайдаки (аеропорт).

Як відомо [10], опалювальне теплове навантаження залежить від температури зовнішнього повітря лінійно. Відхилення від лінійної залежності, як видно з графіка, є незначними, що свідчить про достатню якість регулювання, однак резерви для її покращення ще залишаються.

*Навантаження ГВП.* В табл. 2 наведені дані обліку витрат теплової енергії на ГВП житловими будинками та гуртожитками протягом 2012 р. та виконано порівняння фактичних питомих показників з нормативними згідно

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

з КТМ 204 України 244-94. Як видно з наведених даних, фактичні витрати майже вдвічі менші від нормативних.

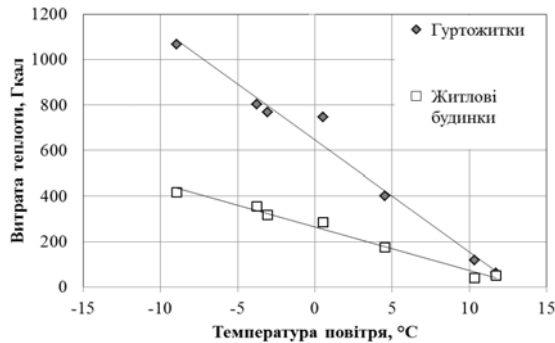


Рис. 4. Залежність витрати теплоти на опалення від середньомісячної температури

Fig. 4. Dependence of heat consumption for heating on the average monthly temperature

Таблиця 2

## Витрати теплоти на ГВП

Table 2

## Heat consumption for hot water supply

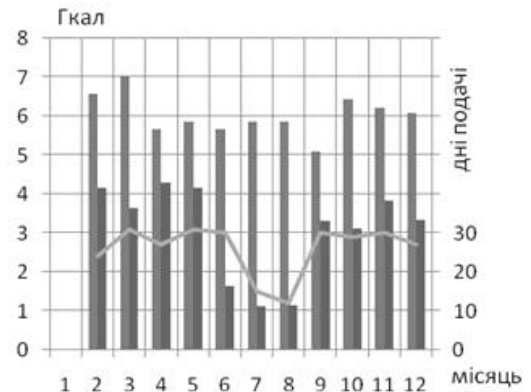
Найменування	Витрати теплоти на ГВП, Гкал/рік	
	Нормативні	Фактичні
Житловий будинок № 1	1,991	1,055
Житловий будинок № 2	1,991	0,690
Гуртожитки	1,517	0,665

На рис. 5 наведено порівняння місячних розрахункових на основі нормативів КТМ 204 України 244-94 (перший стовпчик) і фактичних витрат теплоти (другий стовпчик) на ГВП протягом 2012 р. Лінією зображена кількість днів подачі гарячої води протягом кожного місяця.

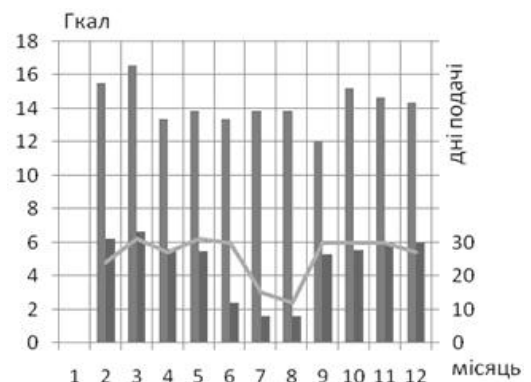
Як видно з графіків, суттєве зменшення споживання гарячої води відбувається влітку, коли більшість студентів, що проживають в гуртожитках, знаходяться на канікулах, а в котельні здійснюють щорічний ремонт обладнання.

За результатами виконаного аналізу споживання теплової енергії було розроблено перелік можливих заходів з енергозбереження, що можуть бути реалізовані в системі теплопостачання та на об'єктах енергоспоживання, надано оцінку економії паливно-енергетичних ресурсів за даними рекомендацій, наведених в [4]. Розроблений перелік заходів наведений в табл. 3.

а – а



б – б



в – в

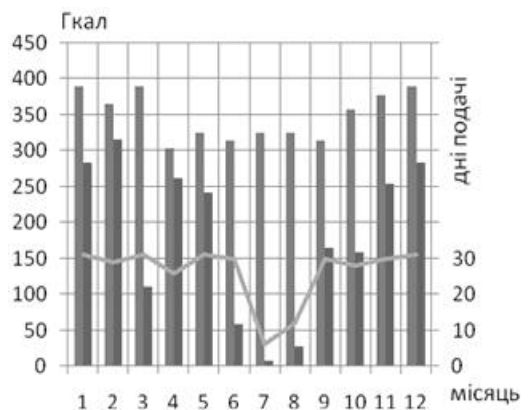


Рис. 5. Порівняння місячних розрахункових і фактичних витрат теплоти на ГВП:

а – житловий будинок № 1, б – житловий будинок № 2, в – гуртожитки

Fig. 5. Comparison of the monthly calculation and real costs for heat consumption for hot water supply: а – residential house no. 1, б – residential house no. 2, в – hostels

## Висновки

1. Загальне розрахункове максимальне теплове навантаження системи теплопостачання складає 9,92 МВт, з них 8,95 МВт (90,2 %) –

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

опалювальне навантаження і 0,97 МВт (9,8 %) – навантаження гарячого водопостачання.

2. Найбільшими споживачами опалювального навантаження є навчальні корпуси – 32,1 % від загального розрахункового теплоспоживання, гуртожитки – 22 %, житлові будинки – 15,35 %. Аналіз витрат тепла на опалення саме цими споживачами є найбільш важливим, оскільки ефект від впровадження енергозберігаючих заходів в них буде найбільш відчутним.

3. Структура теплових навантажень системи гарячого водопостачання відрізняється від опалювальних навантажень. Найбільшим споживачем теплового навантаження гарячого водопостачання є гуртожитки, які споживають 6,2 % від загального теплоспоживання.

4. Лічильники теплоти встановлені тільки у деяких споживачів. Для більш ефективного

використання теплоти доцільно встановити лічильники у всіх споживачів, в першу чергу, в системі опалення навчальних корпусів, оскільки вони є одним із найбільших споживачів теплоти на опалення.

5. Витрати теплоти системами опалення житлових будинків, гуртожитків, лабораторії теплових двигунів, неповної середньої школи відповідає нормам КТМ 204 України, але не відповідає вимогам ДБН В 2.6-31-2006, які є обов'язковими після проведення термомодернізації будівель. Це означає, що роботи з термомодернізації споживачів теплоти обов'язково мають бути направлені на енергозбереження.

6. Запропоновані заходи з енергозбереження дозволять знизити споживання теплової енергії на 25...40 % та покращити якість роботи системи тепlopостачання.

Таблиця 3

## Оцінка ефективності заходів по енергозбереженню

Table 3

## Effectiveness estimation of energy saving measures

Заходи з енергозбереження	Очікувана економія паливно-енергетичних ресурсів	
	%	МВт·год
Економія теплової енергії при опаленні будівель		
Автоматизація та диспетчеризація котельень, абонентських вводів, центральних теплових пунктів	До 15, від загальних витрат теплоти	До 2 617
Встановлення на вводах лічильників теплоти, контроль за витратою теплоти	До 5	до 872
Використання регульованих елеваторів на вводах	3...8	523...1 396
Встановлення на нагрівальних приладах терморегуляторів (місцеве регулювання)	6...7	1 047...1 221
Встановлення радіаторних рефлекторів між зовнішньою стіною та нагрівальним приладом	2...10	349...1 745
Періодичне промивання систем опалення	3	523
Підвищення теплового захисту будинків (зниження тепловтрат)		
Збільшення опору теплопередачі зовнішніх огорожень існуючих будинків	на 10 %: 2...4	від навантаження на опалення 349...698
	на 20 %: 4...8	698...1 396
Встановлення склопакетів	3...5	523...872
Економія теплової енергії при гарячому водопостачанні		
Використання змішувачів з регуляторами температури	До 3, від витрат теплоти на ГВП	до 237
Організація обліку витрат гарячої води	5	394

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрижьевский, А. А. Энергосбережение и энергетический менеджмент / А. А. Андрижьевский, В. И. Володин. – М. : Высш. шк., 2005. – 205 с.
2. Дахин, С. В. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях / С. В. Дахин. – Воронеж : ГОУ ВПО «Воронеж. гос. техн. ун-т», 2010. – 182 с.
3. Энергозбереження у житловому фонді: проблеми, практика, перспективи / «НДІ проект-реконструкція». – Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Instituts Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), 2006. – 144 с.
4. Костюченко, П. А. Практическое пособие по разработке энергосберегающих проектов / П. А. Костюченко, О. А. Костюченко, В. С. Мещерский. – М. : Технопромстрой, 2006. – 668 с.
5. КТМ 204 України 244-94. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби – К. : ВПОЛ, 2001. – 376 с.
6. Маляренко, О. Є. Пропозиції до методики нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у бюджетних установах / О. Є. Маляренко, А. І. Симборський // Пробл. заг. енергетики. – 2011. – Вип. 2 (25). – С. 40–48.
7. Новічонок, С. М. Основи енергозбереження : навч.-метод. посіб. / С. М. Новічонок, В. М. Комаров, В. В. Тарасова. – Х. : ХУПС, 2006. – 121 с.
8. Праховник, А. В. Практичний посібник з енергозбереження для об'єктів промисловості, будівництва та житлово-комунального господарства України / А. В. Праховник, В. В. Прокopenko, В. І. Дешко. – Луганськ : Місячне сяйво, 2009. – 696 с.
9. Самойлов, М. В. Основы энергосбережения / М. В. Самойлов, В. В. Паневчик, А. Н. Козалев. – Минск : БГЭУ, 2002. – 198 с.
10. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. – М. : МЭИ, 2001. – 360 с.
11. Al-Shemmeri, T. Energy audits: a workbook for energy management in buildings / Tarik Al-Shemmeri. – Iowa : Wiley-Blackwell, 2011. – 292 p.
12. Mitchell, J. W. Principles of heating, ventilation, and air conditioning in buildings / John W. Mitchell, James E. Braun. – N. J. : Wiley, 2013. – 600 p.
13. Thumann, A. Handbook of energy audits / Albert Thumann, William J. Younger. – Lilburn, GA : Fairmont Press, 2008. – 467 p.

А. Н. ПШИНЬКО<sup>1</sup>, В. А. ГАБРИНЕЦ<sup>2</sup>, В. Н. ГОРЯЧКИН<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Каф. «Здания и строительные материалы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010

<sup>2</sup>Каф. «Теплотехника», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87

<sup>2\*</sup>Каф. «Теплотехника», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87, ел. пошта vgora@ukr.net

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СТУДГОРОДКА ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

**Цель.** Расходы теплоты на отопление и горячее водоснабжение жилищных и промышленных объектов составляют существенную часть потребления тепловой энергии. Необходимой предпосылкой разработки мероприятий по энергосбережению в уже существующих системах теплоснабжения является их предварительное обследование. В статье приведены результаты обследования системы теплоснабжения студгородка Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. На основе выполненного анализа необходимо предложить мероприятия по энергосбережению и провести оценку их эффективности. **Методика.** В процессе исследования выполнен расчетный анализ структуры потребления тепловой энергии на отопление, горячее водоснабжение и проведено сравнение фактических расходов теплоты в течение календарного года с нормативными. **Результаты.** Проанализированы данные по учету расходов тепловой энергии на отопление жилыми домами и общежитиями в течение 2012 г. и проведено сравнение фактических удельных показателей с нормативными. На основе этого сравнения выявлены проблемы, решение которых поможет эффективно использовать тепловую энергию. **Научная новизна.** Впервые



## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

проанализировано и оценено влияние климатических условий, особенностей схем и конструкций систем теплоснабжения на эффективное использование тепловой энергии. Изучен вклад каждой составляющей.

**Практическая значимость.** На основе проведенного анализа потребления тепловой энергии был разработан перечень возможных мероприятий по энергосбережению, которые могут быть реализованы в системе теплоснабжения и на объектах энергопотребления, а также проведена оценка экономии топливно-энергетических ресурсов. Представлен перечень мероприятий с ожидаемой экономией топливно-энергетических ресурсов.

**Ключевые слова:** энергоэффективность; теплотребление; затраты тепловой энергии; термоизоляция; горячее водоснабжение

O. M. PSHINKO<sup>1</sup>, V. O. GABRINETZ<sup>2</sup>, V. M. GORIACHKIN<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Dep. «Buildings and Construction Materials», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010

<sup>2</sup>Dep. «Heat Engineering», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04

<sup>2\*</sup>Dep. «Heat Engineering», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail vgora@ukr.net

## EFFECTIVENESS ANALYSIS OF CAMPUS HEAT SUPPLY SYSTEM OF DNIPROPETROVSK NATIONAL UNIVERSITY OF RAILWAY TRANSPORT

**Purpose.** Heat consumption for heating and hot water supply of housing and industrial facilities is an essential part of heat energy consumption. Prerequisite for development of energy saving measures in existing heating systems is their preliminary examination. The investigation results of campus heating system of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan are presented in the article. On the basis of the analysis it is proposed to take the energy saving measures and assess their effectiveness. **Methodology.** Analysis of the consumption structure of thermal energy for heating domestic and hot water supply was fulfilled. The real costs of heat supply during the calendar year and the normative costs were compared. **Findings.** The recording expenditures data of thermal energy for heating supply of residential buildings and dormitories in 2012 were analyzed. The comparison of actual performance with specific regulations was performed. This comparison revealed problems, whose solution will help the efficient use of thermal energy. **Originality.** For the first time the impact of climate conditions, features of schemes and designs of heating systems on the effective use of thermal energy were analyzed. It was studied the contribution of each component. **Practical value.** Based on the analysis of thermal energy consumption it was developed a list of possible energy saving measures that can be implemented in the system of heat and power facilities. It was evaluated the fuel and energy resources saving.

**Keywords:** energy efficiency; heat demand; costs of heat supply; heat insulation; hot water supply

### REFERENCES

1. Andrizhiyevskiy A.A., Volodin V.I. *Energoberezhniye i energeticheskiy menedzhment* [Energy saving and energy management]. Moscow, Vysshaya shkola Publ, 2005. 205 p.
2. Dakhin S.V. *Energoberezhniye v teploenergetike i teplotekhnologiyakh* [Energy saving in heat power engineering and heat technologies]. Voronezh, Voronezhskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet Publ., 2010. 182 p.
3. *Enerhozberezhennia u zhytlovomu fondi: problemy, praktyka, perspektyvy* [Energy saving in housing fund: problems, practices, perspectives]. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), InstitutsWohnenundUmweltGmbH (IWU) Publ., 2006. 144 p.
4. Kostyuchenko P.A., Kostyuchenko O.A., Meshcherskiy V.S. *Practicheskoye posobiye po razrabotke energoberegayushchikh proyektov* [Practical manual for development of energy saving projects]. Moscow, Tehnoprostroy Publ., 2006. 668 p.
5. *Normy ta vkazivky po normuvanni vytrat palyva ta teplovoi enerhii na opalennia zhytlovykh ta hromadskykh sporud, a takozh na hospodarsko-pobutovi potreby* [Norms and instructions of fuel rate and heat energy for heating of housing and common buildings and for household needs]. Kyiv, VIPOL Publ., 2001. 376 p.

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

6. Maliarenko O.Ye., Symborskyi A.I. Propozytsii do metodyky normuvannia pytomykh vytrat palyvno-enerhetychnykh resursiv u biudzhetykh ustanovakh [Propositions for methodology of specific consumption norming of fuel and energetic resources in budget organizations]. *Problemy zahalnoi enerhetyky – Problems of total energetics*, 2011, issue 2 (25), pp. 40-48.
7. Novichonok S.M., Komarov V.M., Tarasova V.V. *Osnovy energozberezhenia* [Fundamentals of energy saving]. Kharkiv, KHUPS Publ., 2006. 121 p.
8. Prakhovnyk A.V., Prokopenko V.V., Deshko V.I. *Praktychnyi posibnyk z enerhozberezhenia dlia ob'ektiv promyslovosti, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy* [Practical manual for energy saving for industrial objects, constructing and house holding of Ukraine]. Luhansk, Misiachne siaivo Publ., 2009. 696 p.
9. Samoylov M.V., Panevchik V.V., Kozalev A.N. *Osnovy energozberezhenia* [Fundamentals of energy saving]. Minsk, BGEU Publ., 2002. 198 p.
10. Sokolov E.Ya. *Teplofikatsiya i teplovyie seti* [District heating and heat networks]. Moscow, MEI Publ., 2001. 360 p.
11. Al-Shemmeri Tarik. *Energy audits: a workbook for energy management in buildings*. Iowa, Wiley-Blackwell Publ., 2011. 292 p.
12. Mitchell John W., Braun James E. *Principles of heating, ventilation, and air conditioning in buildings*. N. J., Wiley Publ., 2013. 600 p.
13. Thumann Albert, Younger William J. *Handbook of energy audits*. Lilburn, GA, Fairmont Press Publ., 2008. 467 p.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. М. М. Біляєвим (Україна); д.т.н., проф. М. В. Губинським (Україна)

Надійшла до редколегії 06.02.2014

Прийнята до друку 21.03.2014

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

УДК 625.113:629.4.016.5

М. Б. КУРГАН<sup>1\*</sup>, Д. М. КУРГАН<sup>2</sup>, Н. П. ХМЕЛЕВСЬКА<sup>1</sup>, С. Ю. БАЙДАК<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Проектування і будівництво доріг», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 48, ел. пошта kunibor@mail.ru

<sup>1</sup>Каф. «Проектування і будівництво доріг», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 48

<sup>2</sup>Каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс. +38 (056) 373 15 42, ел. пошта kurgan@brailsys.com

### МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ДОПУСТИМИХ ШВИДКОСТЕЙ РУХУ ПОЇЗДІВ НА СКЛАДНИХ ДІЛЯНКАХ ПЛАНУ ЗАЛІЗНИЦІ

**Мета.** Удосконалення способів визначення допустимих швидкостей руху на складних ділянках плану залізниці. **Методика.** Для досягнення мети дослідження використано математичне моделювання руху потоку поїздів і на його основі здійснено прогнозування середньозваженої швидкості й підвищення зовнішньої рейки на перспективу. **Результати.** Проведено аналіз випадків встановлення швидкостей руху в кривих ділянках колії. Параметри деяких кривих негативно впливають на комфортабельність їзди та інтенсивність розладу колії, а також на причини, що зумовлюють виникнення обмежень швидкості руху поїздів на залізницях України. Розроблено методику виконання розрахунків зі встановлення допустимих швидкостей руху поїздів і перевірено в кривих на реальних ділянках залізниць, де впроваджено прискорений рух поїздів. Розроблено пропозиції щодо автоматизації виконання розрахунків у дистанціях і службах колії з визначення допустимих швидкостей у кривих. **Наукова новизна.** Розроблено методику визначення допустимих швидкостей руху й підвищення зовнішньої рейки на складних ділянках плану залізниці. Запропонований підхід дозволяє отримувати раціональні рішення щодо перебудови плану з урахуванням місцевих умов. **Практична значимість.** Розроблена методика визначення допустимої швидкості в кривих була реалізована у вигляді програми DopShvid та апробована на реальних ділянках залізниць, де впроваджено прискорений рух поїздів.

**Ключові слова:** швидкість; залізничні криві; плавність руху; комфортабельність їзди; критерії; радіус кривої; перехідні криві; підвищення зовнішньої рейки

#### Вступ

Під час визначення допустимих швидкостей руху поїздів у кривих ділянках колії було виявлено недоліки, що вказують на необхідність коригування нині діючої методики [2, 10]. У зв'язку з неточністю початкового укладання і похибками подальших рихтувань кривих проєктні характеристики плану лінії найчастіше не витримуються і їх фактичні значення відрізняються від паспортних. Методи визначення параметрів кривих, що використовуються дистанці-

ями колії, недосконалі, адже на кінцевий результат впливають суб'єктивність, кваліфікація виконавця, інші фактори. Геометричні параметри кривих, зазначені на поздовжньому профілі, часто не відповідають фактичним даним [7].

Під час руху поїзда по кривій з встановленою швидкістю повинні забезпечуватися безпека й плавність руху та комфортабельність їзди. При правильно встановленій швидкості забезпечуються нормальні умови роботи залізничної колії, найменші поточні витрати на її

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

ремонт і утримання [10]. В той же час, бувають випадки, коли максимально допустима швидкість встановлена з порушенням певних вимог (рівень швидкості не задовольняє всім нормативним критеріям). Якщо для одиноких кривих таких порушень найменше, то на ділянках складного плану їх значно більше.

нуються як для одиноких кривих і основна увага приділяється трьом параметрам – радіусу, підвищенню зовнішньої рейки і крутизні його відводу.

Виконаний аналіз встановлення максимально допустимих швидкостей на складних ділянках плану виявив, що критерії, які впливають

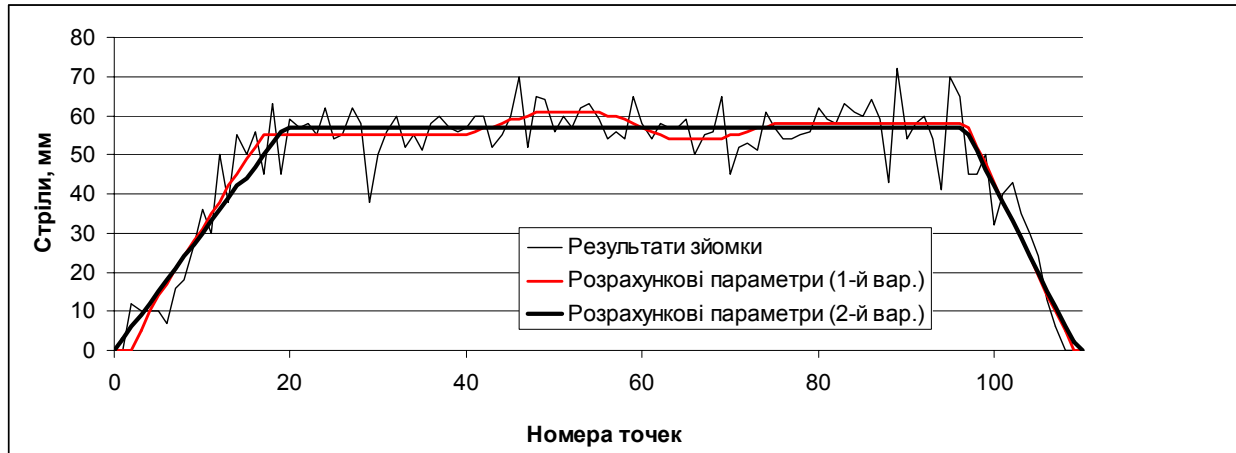


Рис. 1. Варіанти проектної кривої

Fig. 1. Variants of project curve

Якщо крива має суттєві відхилення в утриманні, може бути важко визначити її розрахункові параметри: радіус, довжини перехідних кривих, кількість кругових, на які доцільно поділяти криву. Наявність таких кривих на ділянці призводить до зменшення швидкості руху та, як наслідок, до збільшення часу руху по даній ділянці залізниці, збільшення експлуатаційних витрат [3, 8].

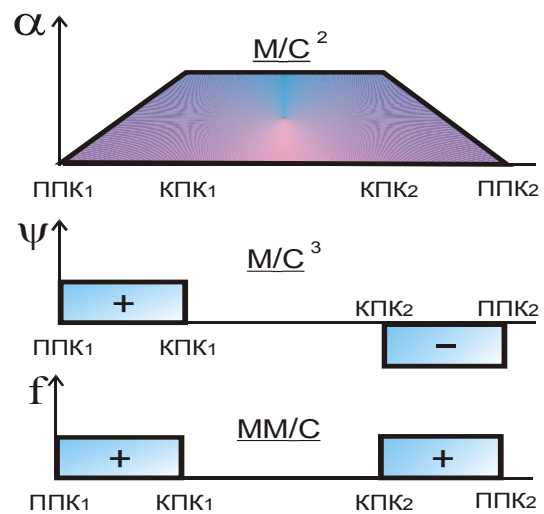
Відповідно до вимог п. 5.19 ДБН В.2.3-19-2008 [1] у разі перевлаштування кривих існуючої колії слід приймати постійні значення радіусів по всій довжині кругової кривої. У важких умовах допускається зберігати радіуси різних значень з урахуванням динаміки, тобто різниці в кривизні.

На рис. 1 наведено два варіанти визначення розрахункових параметрів проектної кривої (1-й – чотирирадіусна крива, 2-й – однорадіусна), які дають різні результати щодо оцінки стану кривої, обсягів рихтувальних робіт і, в остаточному підсумку, різну величину допустимої швидкості руху.

Розрахунки в дистанціях колії часто виконуються за спрощеною схемою, тобто для складових і сполучених кривих розрахунки вико-

на плавність і комфортабельність руху не враховуються повною мірою. Такий підхід не допустимий, особливо у разі впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів.

На рис. 2 наведено критерії  $\alpha_{\text{нп}}$ ,  $\psi$ ,  $f$ , за якими визначається допустима швидкість руху в одиноких кривих.

Рис. 2. Межі дії критеріїв  $\alpha_{\text{нп}}$ ,  $\psi$ ,  $f$ Fig. 2. Limits of criteria  $\alpha_{\text{нп}}$ ,  $\psi$ ,  $f$

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

У випадку наявності складових (багаторадіусних) і сполучених (розділених короткою прямою вставкою) необхідно визначати допустиму швидкість ще й за параметрами сполучення [10]. До експлуатації приймається найменша швидкість із всіх можливих варіантів, тобто  $V_{\min} = \min \{V^{(i)}, V^{(\psi)}, V^{(\alpha)}\}$ .

Задача визначення допустимої швидкості руху в кривих є складовою багатогранної наукової проблеми і описується у такому різноманітті: складові (багаторадіусні) криві; сполучені криві, розділені короткими прямими вставками; вірогідність вихідних даних; відступи в утриманні кривих та ін.

Вивченню цих складових присвячена не одна наукова праця в країнах СНД [2, 5, 6, 9–11] і за кордоном [12–14] як у теоретичному, так і в експериментальному напрямках.

В ЦП-0236 [10] методика визначення допустимих швидкостей руху по сполученням кривих викладена стисло. Тому при наявності складних сполучень кривих важко правильно визначити необхідний розрахунковий випадок, відповідні критерії та розрахункові формули й отримати вірний результат. Статистика підтверджує, що велика кількість сполучень кривих на залізницях України у деяких випадках призводить до недоцільного обмеження швидкостей руху або, навпаки, до їх завищення і, як наслідок, до погіршення комфортабельності руху поїздів та швидкого розладу колії.

### Мета

Метою роботи є удосконалення способів визначення допустимих швидкостей руху на складних ділянках плану залізниці. Результатом дослідження у першу чергу повинна стати методика для виконання практичних розрахунків. Скорочення обсяг виконання розрахунків в дистанціях і службах колії дозволить усунути низку зауважень, що стосуються визначення допустимих швидкостей руху в кривих.

### Методика

Оскільки збільшення швидкості на залізниці передбачає підвищені вимоги щодо якості проведення робіт з виправки й утримання кривих, необхідні нові підходи до розрахунків проектних параметрів плану та встановлення макси-

мально допустимої швидкості руху поїздів. Ті допущення, що були прийняті раніше й слабо впливали на показники руху поїздів при швидкостях 100–120 км/год, потребують або зміни, або відповідного корегування при швидкостях 160 км/год і більше.

При встановленні максимальної швидкості необхідно враховувати, що витрати на забезпечення того чи іншого рівня швидкості не повинні перевищувати доходи від її реалізації. Складність управління цим процесом викликає необхідність застосування системного підходу до вирішення поставленого завдання за схемою, яка наведена на рис. 3.

Діагностика – це система заходів, після проведення яких визначається фактичний стан колії в плані, параметри кривих та ін.

Моніторинг – інформаційне забезпечення, що включає характеристики параметрів плану, поздовжнього профілю, земляного полотна, стан колії, осьове навантаження, швидкості руху поїздів різних категорій, в тому числі співвідношення швидкості вантажних і пасажирських поїздів. Тобто, це аналіз інформації, що отримана в ході діагностики.

Прогноз – передбачає можливості зміни системи на основі моніторингу певної ділянки залізниці.

Рішення – це розробка управлінських дій щодо зміни самої системи.



Рис. 3. Конфігурація системи

Fig. 3. System configuration

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

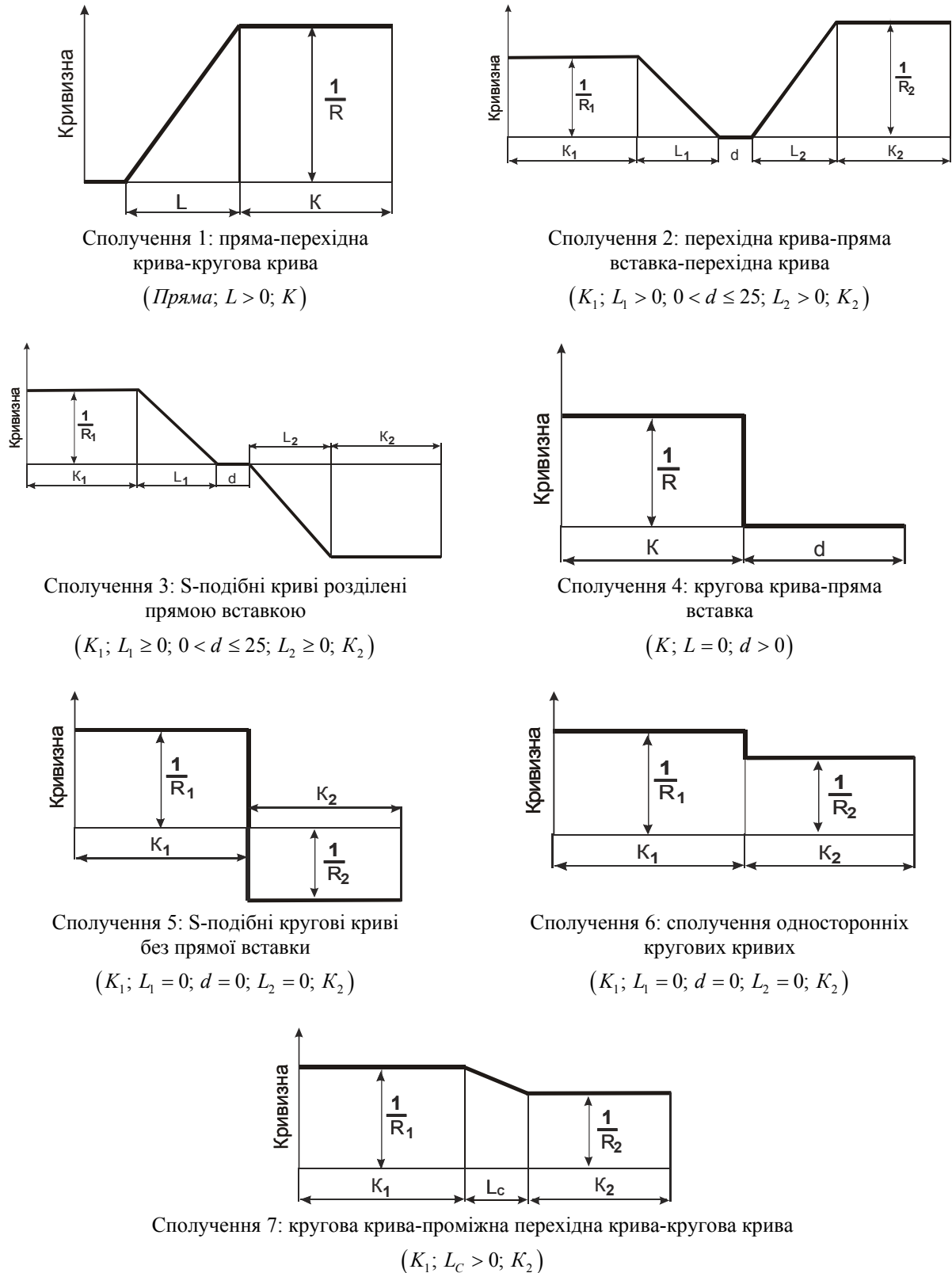


Рис. 4. Класифікація сполучень кривих і послідовність виконання розрахунків

Fig. 4. Classification of curves communications and sequence of calculations

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Послідовність виконання розрахунків:

1. Встановлюються типи сполучень в точках зміни кривизни кривої.
2. Вибирається тип сполучення (відповідно до класифікації).
3. Вводяться вихідні дані.
4. Визначається мінімальна допустима швидкість  $V_{\min} = \min \{V^{(i)}, V^{(\psi)}, V^{(a)}\}$ .

5. Розглядаються варіанти (у разі потреби) щодо підвищення максимальної швидкості за умови перебудови кривої.

Пройти шлях від діагностики до прийняття рішення і надати, по-перше, рекомендації щодо визначення допустимої швидкості руху поїздів на складних ділянках плану залізниць, по-друге, розробити пропозиції щодо корегування параметрів кривих для реалізації максимально можливої швидкості, забезпечивши безпеку, плавність і комфортабельність їзди. В умовах українських залізниць проблеми швидкості в двох третинах випадків пов'язані не з радіусом, а з довжиною перехідних кривих і прямих вставок між суміжними кривими. Отже, основну увагу слід приді-

ляти суміжним кривим, які підпадають до категорії залежних, одна з яких впливає на умови руху поїзда по іншій [11]. Для вирішення такого завдання була запропонована методика визначення допустимої швидкості руху поїзда на ділянках складного плану, що передбачає покрокове виконання розрахунків залежно від типу сполучень в точках зміни кривизни кривої (рис. 4).

### Результати

Методика визначення допустимої швидкості в кривих була реалізована у вигляді програми DopShvid і апробована на реальних ділянках залізниць, де впроваджено прискорений рух поїздів.

На рис. 5 наведено параметри чотирирадіусної кривої на перегоні Боярський–Лазірки (км 148) Південної залізниці.

На рис. 6 наведено графік кривизни, використання якого дозволяє виділити п'ять місць сполучення кривих, які за класифікацією, що наведена на рис. 4, відносяться до першого й шостого типів.

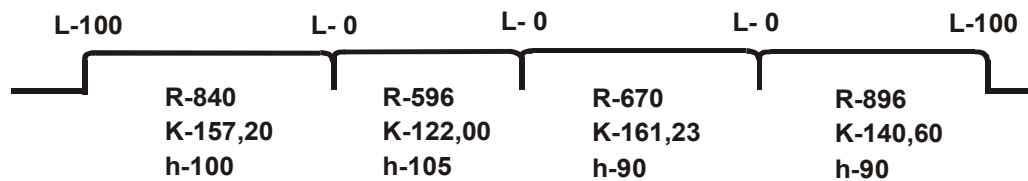


Рис. 5. Вихідні параметри складової кривої

Fig. 5. Output parameters of curve component

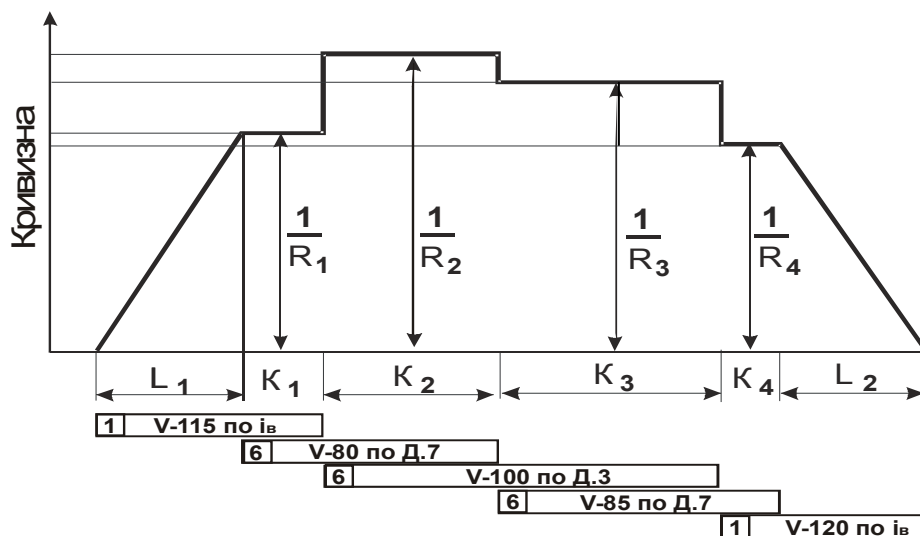


Рис. 6. Графік кривизни існуючої кривої

Fig. 6. Curvature graphic of the current curve

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Сполучення 1: пряма-перехідна крива-кругова крива (рис. 7)

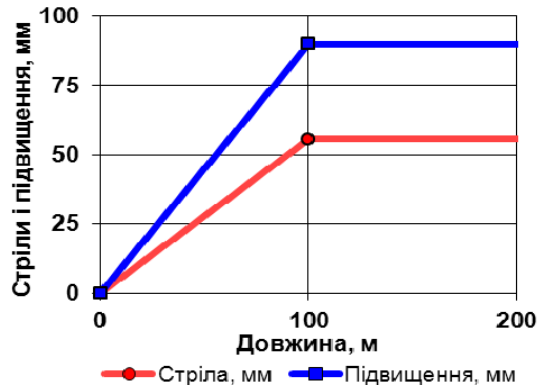


Рис. 7. Графіки стріл і підвищень у сполученні 1

Fig. 7. Graphs of turnouts and elevations in communication 1

У цьому випадку визначається допустима швидкість руху у межах перехідної кривої за двома критеріями: за крутизною відводу підвищення ( $V^{(i)} = 114$  км/год), за швидкістю зміни непогашеного прискорення ( $V^{(\psi)} = 149$  км/год). Допустима швидкість в круговій кривій дорівнює  $V^{(\alpha)} = 120$  км/год (табл. 1).

Таблиця 1

## Допустимі швидкості в кривій по сполученню 1

Table 1

Permissible speeds in curve on communication 1	
Параметри	Значення
Перехідна крива	
Довжина перехідної кривої, м	100
Ухил відводу підвищення, мм/м	1
Параметр $C = R L$	м <sup>2</sup>
Доп. швидкість по $i_b$ , км/год	114
Доп. швидкість по $\psi$ , км/год	149
Кругова крива	
Радіус кругової кривої, м	840
Підвищення зовнішньої рейки, мм	100
Доп. швидкість по $\alpha_{np}$ , км/год	120
Доп. швидкість прийнята*, км/год	115

\* – приймається кратно 5 км/год

Сполучення 6: кругові криві без прямої вставки спрямовані в одну сторону (рис. 8)

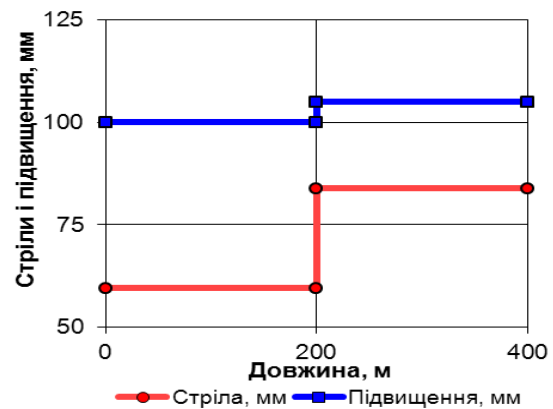


Рис. 8. Графіки стріл і підвищень у сполученні 6

Fig. 8. Graphs of turnouts and elevations in communication 6

Таблиця 2

## Допустимі швидкості в кривій по сполученню 6

Table 2

## Permissible speeds in curve on communication 6

Параметри	Значення
Перша кругова крива	
Радіус кругової кривої, м	840
Підвищення зовнішньої рейки, мм	100
Різниця кривизни $k = \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}$	$\frac{1}{2052}$
Доп. швидкість по Д.7, км/год	82
Друга кругова крива	
Радіус кругової кривої, м	596
Підвищення зовнішньої рейки, мм	105
Доп. швидкість по Д.3, км/год	88
Доп. швидкість прийнята, км/год	80

Допустима швидкість визначається за формулами Д.3 (використовується критерій  $\alpha_{np}$ )  $V^{(Д.3)} = 88$  км/год і Д.7 (за критерієм зміни непогашеного прискорення  $\psi$ ),  $V^{(Д.7)} = 82$  км/год. Формули Д.3, Д.7 відповідають табл. Д.1 ЦП-0236. Результати розрахунків наведено в табл. 2.

Аналогічно за програмою DorShvid виконані розрахунки по інших сполученнях і результати наведено в табл. 3.



## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Таблиця 3

Допустима швидкість в чотирирадіусній кривій за існуючими параметрами (Південна залізниця)

Table 3

Permissible speed in 4-radius curve according to existing parameters (Southern Railway)

Показники	Допустима швидкість за сполученнями, км/год				
Номер сполучення	1	2	3	4	5
Тип сполучення	1	4	4	4	1
Причина обмеження	$i_v$	за форм. Д.7	за форм. Д.3	за форм. Д.7	$i_v$
Швидкість, км/год	1	2	3	4	5

За максимально допустиму швидкість приймається  $V = 80$  км/год.

Запропонована методика дозволяє не тільки визначати допустимі швидкості на складних ділянках плану, а й надавати рекомендації, як при мінімальних витратах на корегування параметрів кривих можна збільшити швидкість. З цією метою була виконана оптимізація кривої за програмою RWPlan [4] за умови мінімізації робіт з рихтування кривої. Параметри кривої наведені на рис. 9.

На рис. 10 наведено графік кривизни, на якому виділено п'ять місць сполучення кривих, які за класифікацією (рис. 4), відносяться до першого й сьомого типів.

Визначається допустима швидкість руху у межах кожної кругової кривої  $V^{(\alpha)}$ , що враховує критерій  $\alpha_{np}$ , потім на ділянці перехідної кривої, що сполучає кругові: за крутизною відводу підвищення  $V^{(i)}$  і за швидкістю зміни непогашеного прискорення  $V^{(\psi)}$  (див. табл. 4).

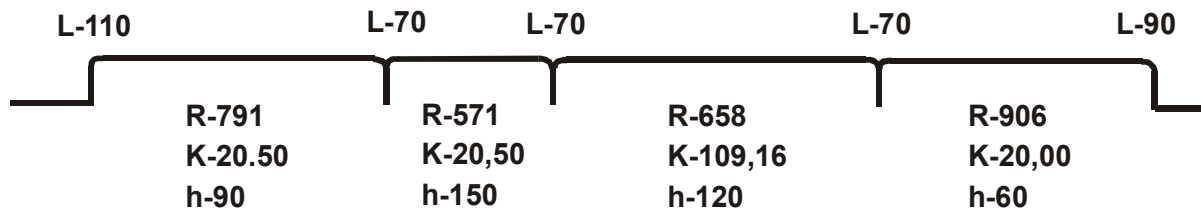


Рис. 9. Проектні параметри складової кривої

Fig. 9. Project parameters of component curve

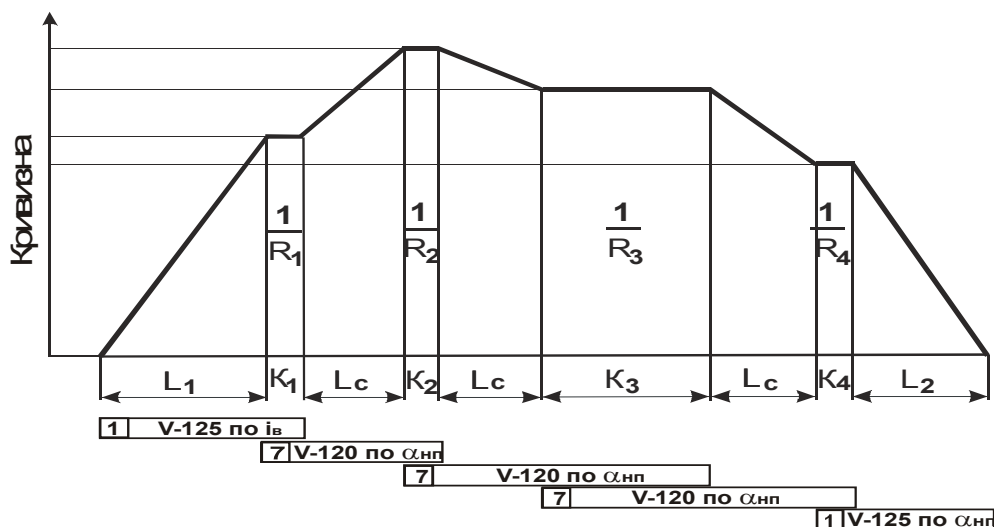


Рис. 10. Графік кривизни проектної кривої

Fig. 10. Curvature graphic of project curve

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Сполучення 7: кругова крива-проміжна перехідна крива-кругова крива (рис. 11)

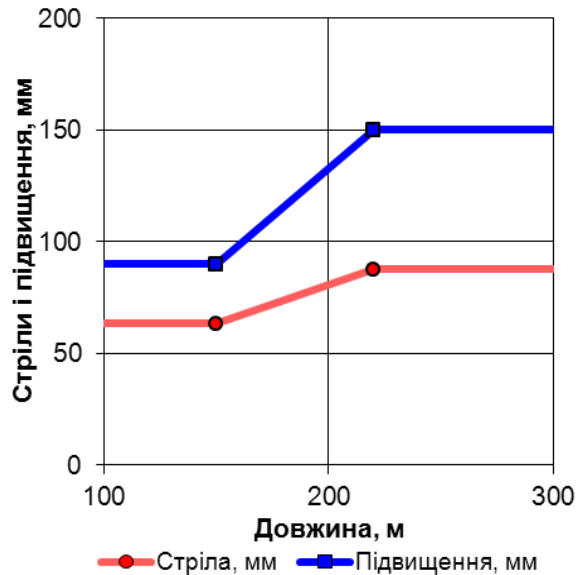


Рис. 11. Графіки стріли і підвищення у сполученні 7

Fig. 11. Graphs of turnouts and elevations in communication 7

Таблиця 4

Допустимі швидкості в кривій по сполученню 7

Table 4

Permissible speeds in curve on communication 7	
Параметри	Значення
Перша кругова крива	
Радіус кругової кривої, м	840
Підвищення зовнішньої рейки, мм	100
Доп. швидкість по $\alpha_{\text{нп}}$ , км/год	126
Перехідна крива	
Довжина перехідної кривої, м	70
Ухил відводу підвищення, мм/м	0,857
Доп. швидкість по $i_{\text{в}}$ , км/год	126
Доп. швидкість по $\psi$ , км/год	179
Друга кругова крива	
Радіус кругової кривої, м	840
Підвищення зовнішньої рейки, мм	100
Доп. швидкість по $\alpha_{\text{нп}}$ , км/год	119
Доп. швидкість прийнята, км/год	120

Аналогічно за програмою DopShvid виконані розрахунки по інших сполученнях і результати наведено в табл. 5.

За максимально допустиму швидкість приймається  $V = 120$  км/год. Отже, для вихідних параметрів максимально допустима швидкість руху по кривій 80 км/год (табл. 3).

Після незначного корегування параметрів, значення допустимої швидкості зросло до 120 км/год (табл. 5).

Таблиця 5

Допустима швидкість в 4-рідусній кривій за проектними параметрами ДНУЗТ

Table 5

Permissible speed in 4-radius curve according to project parameters of DNURT

Показники	Допустима швидкість за сполученнями, км/год				
Номер сполучення	1	2	3	4	5
Тип сполучення	1	6	6	6	1
Причина обмеження	$i_{\text{в}}$	$\alpha_{\text{нп}}$	$\alpha_{\text{нп}}$	$\alpha_{\text{нп}}$	$\alpha_{\text{нп}}$
Швидкість, км/год	125	120	120	120	125

### Наукова новизна та практична значимість

Розроблено методику визначення допустимих швидкостей руху і підвищення зовнішньої рейки на складних ділянках плану лінії. Запропонований підхід дозволяє отримувати раціональні рішення щодо перебудови плану.

Розроблена методика визначення допустимої швидкості в кривих була реалізована у вигляді програми DopShvid і апробована на реальних ділянках залізниць, де впроваджено прискорений рух поїздів.

### Висновки

1. При визначенні допустимих швидкостей руху поїздів у кривих ділянках колії було виявлено недоліки, що вказують на необхідність уточнення нині діючої методики. Як видно з практики, часто використовуються застарілі дані про план лінії, а криві розглядаються як

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

геометрично плавні, без урахування недоліків у їх утриманні. Недостовірність інформації може істотно позначитися на результатах розрахунків з визначення допустимих швидкостей руху, що особливо важливо на швидкісних ділянках залізниць. У зв'язку із значними розбіжностями між параметрами плану залізничної колії на поздовжньому профілі, в паспортах кривих і по натурним вимірами пропонується провести роботи з паспортизації кривих для встановлення реальних параметрів та допустимої швидкості руху з урахуванням сучасних умов експлуатації.

2. Обмеження швидкості, що встановлені за наказом, не завжди відповідають розрахунковим. Цей факт можна пояснити тим, що в дистанціях колії розрахунки виконуються за спрощеною схемою, не в повному обсязі, як того вимагають Правила ЦП-0236. При заїздах вагонів КВЛ у розрахунках максимально допустимої швидкості не враховуються параметри сполучення, які повинні визначатись для суміжних і складових кривих, що в остаточному підсумку відбивається на комфортабельності їзди й витратах на утримання колії.

3. В умовах українських залізниць проблеми швидкості в двох третинах випадків пов'язані не з радіусом, а з довжиною перехідних кривих і прямих вставок між суміжними кривими, а тому при встановленні максимально допустимої швидкості руху на складних ділянках плану залізничі слід приділяти більше уваги суміжним кривим, які підпадають до категорії залежних, тобто таких, коли одна впливає на умови руху поїзда по іншій.

4. Після ретельного підбору параметрів кривих, особливо це стосується складових і сполучених, можна підвищити швидкість руху при скорених і швидкісних поїздах і скоротити час руху поїздів. Для цього потрібно виконати розрахунки в повному обсязі відповідно до методики, викладеної в ЦП-0236 з урахуванням уточнень і рекомендацій, що надаються авторами в статті.

5. При проектуванні ремонтів колії можна досягти суттєвого виграшу в часі руху за рахунок виконання вимоги ЦП-0113 з виправлення кривих у плані та відновлення проектних радіусів, а саме встановлювати колію при машинізованому поточному утриманні й ремонтних роботах в проектне положення.

6. Використання запропонованої класифікації сполучень кривих дає змогу обґрунтовано прийняти критерії безпеки, плавності й комфортабельності їзди, що впливають на рівень максимально допустимої швидкості руху поїздів і роботу залізничної колії.

7. Застосування розробленої й апробованої в науково-дослідній роботі програми DopSvid дозволяє не тільки виконувати розрахунки в автоматизованому режимі, але й визначати варіанти підвищення швидкості, що є дуже важливим на етапі планування модернізації залізниць чи виконання капітального ремонту.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Залізничні колії 1 520 мм. (ДБН В.2.3-19-2008). – К. : М-во регіон. розв. та буд-ва України, 2008. – 142 с.
2. Каменский, В. Б. Содержание железнодорожного пути в кривых / В. Б. Каменский, Э. Я. Шац. – М. : Транспорт, 1987. – 188 с.
3. Корженевич, И. П. Визначення об'ємів робіт для зняття обмежень швидкості, пов'язаних з планом лінії / И. П. Корженевич, М. Б. Курган, Н. П. Хмелевська // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 41. – С. 116–123.
4. Корженевич, И. П. Нові можливості проектування перебудови плану та виправлення кривих при використанні програми RWPlan 1.2 / И. П. Корженевич // Залізн. трансп. України. – 2007. – № 5. – С. 79–82.
5. Мишин, В. В. Оптимальное возвышение в кривых / В. В. Мишин // Путь и путевое хоз-во. – 2009. – № 3. – С. 4–6.
6. Определение возвышения наружных рельсов в кривых по фактическим скоростям движения поездов / А. Н. Орловский, В. В. Цыганенко, Л. Я. Воробейчик, А. М. Патласов // Залізн. трансп. України. – 1999. – № 4. – С. 10–12.
7. Оценка достоверности основных параметров железнодорожных кривых при установлении по ним допускаемой скорости движения поездов / И. П. Корженевич, Н. Б. Курган, Д. Н. Курган, Н. Г. Ренгач // Буд-во : зб. наук. пр. ДНТУ. – Д., 2002. – Вип. 10. – С. 28–34.
8. Оцінка економічної ефективності усунення обмежень швидкості руху поїздів, пов'язаних зі станом залізничної колії / А. А. Босов, М. Б. Курган, Д. М. Курган, С. Ю. Байдак // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 41. – С. 106–115.

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

9. Певзнер, В. О. Основы разработки нормативов содержания пути и установления скоростей движения / В. О. Певзнер, Ю. С. Ромен. – М. : Интекст, 2013. – 224 с.
10. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії : ЦП/0236 : затв. наказом Укрзалізниці від 14.12.2010 р. №778-Ц / М. Б. Курган, А. М. Орловський, О. М. Патласов и др. – К., 2010. – 52 с.
11. Сопряжения кривых и особенности движения подвижного состава по ним / под ред. О. П. Ершкова. – М. : Транспорт, 1973. – 96 с.
12. Baluch, M. Dobór wartości parametrów kinematycznych w projektowaniu modernizacji linii kolejowych / M. Baluch // Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa. Problemy Kolejnictwa. – Zeszut 119. – Warszawa, 1995. – P. 23–25.
13. Thelisson, G. Overhead line from start to finish / G. Thelisson // Railway Gazette Intern. – 2012. – July. – P. 48–49.
14. UIC Code 513 R (1-st edition, 1.7.94). Guidelines for evaluating passenger comfort in relation to vibration in railway vehicles. – Paris : Int. Union of Railways, 1995. – 81 p.

Н. Б. КУРГАН<sup>1\*</sup>, Д. Н. КУРГАН<sup>2</sup>, Н. П. ХМЕЛЕВСКАЯ<sup>1</sup>, С. Ю. БАЙДАК<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Проектирование и строительство дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 48, эл. почта kunibor@mail.ru

<sup>1</sup>Каф. «Проектирование и строительство дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 48

<sup>2</sup>Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 42, эл. почта kudl@rambler.ru

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСТИМЫХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА СЛОЖНЫХ УЧАСТКАХ ПЛАНА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

**Цель.** Усовершенствование способов определения допустимых скоростей движения поездов на сложных участках плана железной дороги. **Методика.** Для достижения цели исследования используется математическое моделирование движения потока поездов и на его основе прогнозируется средневзвешенная скорость и возвышение наружного рельса в кривых. **Результаты.** Проведен анализ случаев установления скоростей движения в кривых участках пути. Параметры некоторых кривых негативно влияют на комфортабельность езды и интенсивность расстройств пути, а также на причины, которые способствуют возникновению ограничений скорости движения поездов на железных дорогах Украины. Разработана методика выполнения расчетов по определению допускаемых скоростей движения поездов и проверена в кривых на реальных участках железных дорог, где внедрено ускоренное движение поездов. Разработаны предложения по автоматизации выполнения расчетов в дистанциях и службах пути по определению допускаемых скоростей в кривых. **Научная новизна.** Разработана методика определения допускаемых скоростей движения и возвышения наружного рельса на сложных участках плана железной дороги. Предложенный подход позволяет получать рациональные решения по переустройству плана линии с учетом местных условий. **Практическая значимость.** Разработанная методика определения допускаемых скоростей движения в кривых была реализована в виде программы DopShvid и апробирована на реальных участках железной дороги, где внедрено ускоренное движение поездов.

**Ключевые слова:** скорость; железнодорожные кривые; плавность движения; комфортабельность езды; критерии; радиус кривой; переходные кривые; возвышение наружного рельса

M. B. KURHAN<sup>1\*</sup>, D. M. KURHAN<sup>2</sup>, N. P. KHMELEVSKA<sup>1</sup>, S. YU. BAIDAK<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Engineering and Construction of Roads», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 373 15 48, e-mail kunibor@mail.ru

<sup>1</sup>Dep. «Engineering and Construction of Roads», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 373 15 48

<sup>2</sup>Dep. «Track and Track Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 373 15 42, e-mail kurgan@brailsys.com

## METHODOLOGY OF DETERMINATION OF ADMISSIBLE SPEEDS OF TRAIN MOVEMENT ON DIFFICULT SECTIONS OF RAILROAD PLAN

**Purpose.** Determination of improvement ways of admissible speeds of train movement on the difficult sections of a railroad plan. **Methodology.** Mathematical modeling of the train traffic is used to achieve the purpose of research. The average weighted speed and elevation of outer rail is predicted on this basis. **Findings.** The case analysis of the speeds determination in curved sections of track was carried out. The above mentioned track sections adversely affect the ride comfort and the intensity of the way disorder, as well as the reasons that contribute to the speed limits traffic on the railways of Ukraine. The technique of performing the calculations for determining the permissible train speeds was developed and tested on real curves of railways, where the accelerated movement of trains was introduced. Proposals on automate calculations in distances and services by way of determining the permissible speeds in curves were developed. **Originality.** Methodology of determining the permissible motion speeds and elevation of outer rails on the difficult sections of the railway plan was developed. This approach allows you to get a rational decisions on reorganization of plan based on local conditions. **Practical value.** The developed technique of definition of admissible speeds of motion in curves was implemented as a program DopShvid. The program was tested on real railway sections, where the accelerated train motion was introduced.

**Keywords:** speed; railway curves; smoothness of movement; travelling comfort; criteria; curve radius; transitional curve; elevation of outer rail

## REFERENCES

1. *Derzhavni budivelni normy Ukrainy. Sporudy transportu. Zaliznytsi kolii 1520 mm.* [State building standards of Ukraine. Transport facilities. Railway tracks 1520 mm]. Kyiv, 2008. 142 p.
2. Kamenskiy V.B., Shats E. Ya. *Soderzhaniye zheleznodorozhnogo puti v krivykh* [Railway track maintenance in curves]. Moscow, Transport Publ., 1987. 188 p.
3. Korzhenevych I.P., Kurhan M.B., Khmelevska N.P. Vyznachennia obiemiv robot dlia zniattia obmezhen shvydkosti, poviazanykh z planom linii [Determination of work amount for removal of the speed limits connected with the line plan]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 41, pp. 116-123.
4. Korzhenevych I.P. Novi mozhlyvosti proektuvannia perebudovy planu ta vypravlennia kryvykh pry vykorystanni prohramy RWPlan 1.2 [New design opportunities of the plan reconstruction and correction of curves at RWPlan 1.2 using]. *Zaliznychnyi Transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2007, no. 5, pp. 79-82.
5. Mishin V.V. Optimalnoye vozvysheniye v krivykh [Optimum elevation in curves]. *Put i putevoye khozyaystvo – Track and Track Facilities*, 2009, no. 3, pp. 4-6.
6. Orlovskiy A.N., Tsyganenko V.V., Vorobeychik L.Ya., Patlasov A.M. Opredeleniye vozvysheniya naruzhnykh relsov v krivykh po fakticheskim skorostyam dvizheniya poyezdov [Determination of vertical setting of rail on the actual train movement speeds]. *Zaliznychnyi Transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 1999, no. 4, pp. 10-12.
7. Korzhenevich I.P., Kurgan N.B., Kurgan D.N., Rengach N.G. Otsenka dostovernosti osnovnykh parametrov zheleznodorozhnykh krivykh pri ustanovlenii po nim dopuskayemoy skorosti dvizheniya poyezdov [Evaluation of the reliability of rail curves basic parameters under fixing permissible trains speed movement on them]. *Zbirnyk naukovykh prats DIITU «Budivnytstvo»* [Proc. of DNURT «Construction»], 2002, issue 10, pp. 106-115.

## ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

8. Bosov A.A., Kurhan M.B., Kurhan D.V., Baidak S.Yu. Otsinka ekonomichnoi efektyvnosti usunennia obmezhen shvydkosti rukhu poizdiv, poviazanykh zi stanom zaliznychnoi kolii [Evaluation of the economic efficiency of removal of train speed limits associated with the state of railway line]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 41, pp. 106-115.
9. Pevzner V.O., Romen Yu.S. *Osnovy razrabotki normativov sodержaniya puti i ustanovleniya skorostey dvizheniya* [Fundamentals of track development standards and the speeds movement fixing]. Moscow, Intekst Publ., 2013. 224 p.
10. Kurhan M.B., Orlovskiy A.M., Patlasov O.M. *Pravyla vyznachennia pidvyshchennia zovnishnoi reiky i vstanovlennia dopustymykh shvydkostei v kryvykh diliankakh kolii* [Determination rules of outer rail elevation and the establishment of acceptable speeds in curved sections of the track]. Kyiv, 2010. 52 p.
11. Yershkov O. P. *Sopryazheniya krivyykh i osobennosti dvizheniya podvizhnogo sostava po nim* [Pairing of curves and motion features of rolling stock in curves]. Moscow, Transport Publ., 1973. 96 p.
12. Baluch M. Dobor wartosci parametrow kinematycznych w projektowaniu modernizacji linii kolejowych. *Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa. Problemy Kolejnictwa*, 1995, Zeszut 119, pp. 23-25.
13. Thelisson G. Overhead line from start to finish. *Railway Gazette Intern*, 2012, July, pp. 48-49.
14. UIC Code 513 R (1-st edition, 1.7.94). Guidelines for evaluating passenger comfort in relation to vibration in railway vehicles. Paris, Int. Union of Railways Publ., 1995. 81 p.

*Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Е. І. Даніленком (Україна); д.т.н., проф. В. Д. Петренком (Україна)*

Надійшла до редколегії 31.01.2014

Прийнята до друку 12.03.2014

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 669:539.43:539.56

І. О. ВАКУЛЕНКО<sup>1\*</sup>, С. В. ПРОЙДАК<sup>1</sup>, З. СТРАДОМСКІ<sup>2</sup>, В. А. ДЯДЬКО<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Технологія матеріалів», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта dnuzt\_texmat@ukr.net

<sup>1</sup>Каф. «Технологія матеріалів», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта dnuzt\_texmat@ukr.net

<sup>2</sup>Фак. «Технологія обробки матеріалів і прикладна фізика інституту інженерного матеріалознавства», Ченстоховський технологічний університет, вул. Армії Крайової, 19, Ченстохов, Польща, 42-200, тел. +48 (34) 325 07 38, ел. пошта zbigniew@wip.pcz.pl

### ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ІСКРОВОГО РОЗРЯДУ НА ТВЕРДІСТЬ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

**Мета.** Метою роботи є оцінка впливу електричної іскрової обробки на стан поверхневого нашарування вуглецевої сталі, що формується. **Методика.** Матеріалом для дослідження була сталь фрагменту ободу залізничного колеса з хімічним складом 0,65 % С, 0,67 % Мп, 0,3 % Si, 0,027 % Р, 0,028 % S. Структурні дослідження проводилися з використанням світлової мікроскопії й методик кількісної металографії. Структурний стан досліджуваної сталі відповідав стану після гарячої пластичної деформації. Аналіз розподілу мікротвердості в мікрооб'ємах металу катоду проводили з використанням мікротвердоміра типу ПМТ-3. Електричну іскрову обробку поверхні вуглецевої сталі виконували з використанням устаткування типу ЕФІ-25М. **Результати.** Після електричної іскрової обробки поверхні зразка вуглецевої сталі спостерігали формування багатошарового покриття. Аналіз мікроструктури показав існування якісних розбіжностей у внутрішній будові металу покриття в залежності від ділянки, яка досліджується. Отримані в роботі результати підтверджують відомі положення, що формування поверхневого покриття за технологією електричного іскрового розряду визначається умовами переносу й кристалізації металу. Градієнт структур по товщині покриття значною мірою обумовлений розвитком процесів структурних перетворень подібних впливові термічного характеру. **Наукова новизна.** У результаті електричної іскрової обробки, за умов однакового металу анода і катоду, сформований перший прошарок покриття за зовнішніми ознаками відповідає однофазному стану. В об'ємі металу покриття поява часток карбідної фази супроводжується зниженням значень твердості. **Практична значимість.** Формування багатошарового поверхневого покриття при електричній іскровій обробці супроводжується виникненням градієнту структур за його товщиною. За досягненим рівнем ефект поверхневого зміцнення від іскрового розряду може бути конкурентоспроможним більшості термічних та хіміко-термічних технологій обробки поверхні металевих матеріалів.

*Ключові слова:* мікротвердість; електричні розряди; мікроструктура; вуглецева сталь

#### Вступ

Порівняно з відомими поверхневими обробками, коли формування поверхневого шару відбувається завдяки розвитку процесів дифузійного масопереносу, технології електричного іскрового легування мають свої особливості. Ураховуючи, що процес переносу металу від

одного електрода на поверхню іншого заснований на механізмі руйнування (ерозії) матеріалу анода при іскровому розряді, стан міжелектродного середовища має важливе значення [7].

При електроіскровій обробці у більшості випадків відбувається руйнування матеріалу анода, а на поверхні катода утворюється нашарування



## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

з різною структурою і фізико-хімічними властивостями [16]. До основних переваг електроіскрового легування слід віднести необмеженість по кількості використання різноманітних металів і хімічних з'єднань для формування покриття [14, 15]. З іншого боку, одночасний розвиток декількох процесів може приводити до непередбачуваних результатів відносно властивостей сформованого поверхневого нашарування [13]. На основі цього виникає інтерес щодо проведення роздільної оцінки впливу легування і самого електричного розряду на структуру і властивості металевих матеріалів, що піддаються обробці.

### Мета

Метою роботи є оцінка впливу електричної іскрової обробки на стан поверхневого нашарування вуглецевої сталі, що формується.

### Методика

Як матеріал для анода і катода була використана однакова сталь фрагменту ободу залізничного колеса з хімічним складом 0,65 % C, 0,67 % Mn, 0,3 % Si, 0,027 % P, 0,028 % S. Структурні дослідження виконувалися з використанням світлової мікроскопії і методик кількісної металографії [4]. Структурний стан досліджуваної сталі відповідав стану після гарячої пластичної деформації. Електричну іскрову обробку поверхні вуглецевої сталі виконували з використанням устаткування типу ЕФІ-25М.

Аналіз розподілу властивостей міцності в мікрооб'єктах металу катода виконували з використанням мікротвердоміра типу ПМТ-3. З урахуванням сформованих дуже тонких нашарувань, навантаження на індентор було обране 10 г.

Формування електричного іскрового розряду обумовлено рухом електронів з визначеним критичним значенням кінетичної енергії, що призводить до іонізації атомів газів в міжелектродному проміжку [7]. З іншого боку, залежно від умов формування самого розряду досягаються різні за якісними показниками ефекти при формуванні шару покриття.

Так, за технологією з вібруючим електродом і генератором залежних імпульсів у загальному випадку рух анода до катода супроводжується зростанням напруги електричного поля до величини, достатньої для пробію міжелектродно-

го проміжку [14]. Сформований канал у вигляді пучка електронів починає взаємодіяти з поверхнею анода. Локалізація виникаючої енергії призводить до розплавлення і випаровування матеріалу анода. Після досягнення необхідної рідкоплинності краплина розплаву відділяється від анода і рухається в напрямку катода. При цьому швидкість руху краплини рідкого металу повинна випереджати переміщення самого анода.

Ураховуючи високі швидкості охолодження рідини, в момент досягнення рідким металом поверхні катода відбувається достатньо швидко його кристалізація, а наступний механічний імпульс від анода завершує етап формування шару покриття.

На основі виконаних досліджень встановлено, що процес формування покриття значною мірою залежить від співвідношення між силою електричного струму короткого замикання і енергією імпульсу [15, 16]. Для устаткування типу ЕФІ-25М характерною ознакою є високий рівень електричного струму короткого замикання і низька енергія імпульсу.

### Результати

Після електричної іскрової обробки поверхні зразка вуглецевої сталі спостерігали



Рис. 1. Мікроструктура вуглецевої сталі залізничного колеса. Збільшення 800

Fig. 1. Microstructure of carbon steel of railway wheel. Increase 800

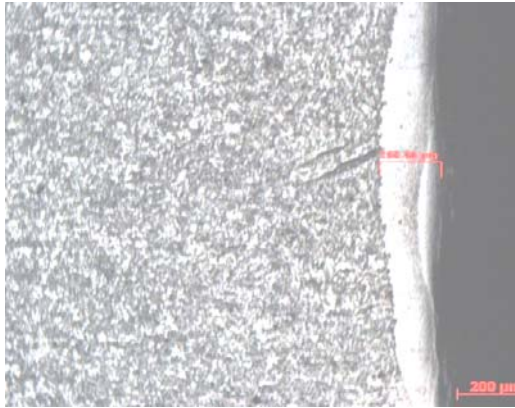
формування нашарувань. Порівняно з вихідним станом металу залізничного колеса (рис. 1), яке відповідає стану після гарячої пластичної де-



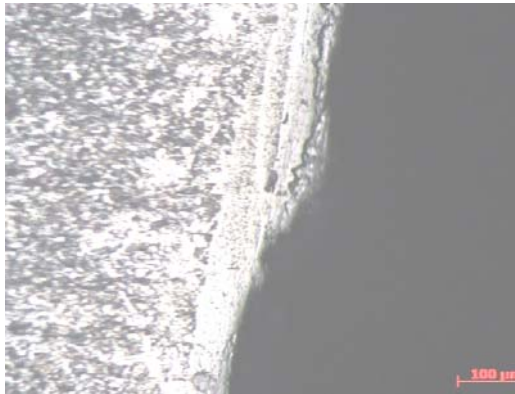
## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

формації, на перетині зразку після вказаної обробки виникають додаткові шари металу (рис. 2) з якісними відмінностями внутрішньої будови.

*a – a*



*б – б*



*в – в*

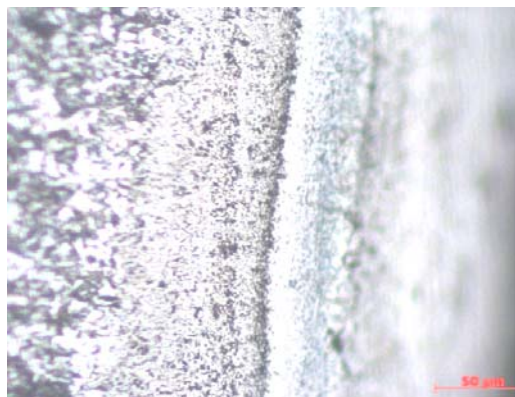


Рис. 2. Мікроструктура нашарувань після електричної іскрової обробки зразка вуглецевої сталі. Збільшення: (а) – 50, (б) – 100, (в) – 200.

Fig. 2. The microstructure of layers after electrical spark treatment of the carbon steel sample. Increase: (a) – 50, (b) – 100, (c) – 200.

Ураховуючи, що осаджений на поверхні зразку шар покриття в дійсності являє собою продукти ерозії анода [7, 13], відмінності в мік-

роструктурі не можуть бути зумовлені зміною хімічного складу металу. Більше того, різна товщина і якість поверхні сформованого покриття може розглядатися як результат сумарного впливу від нестационарних умов перенесення краплин рідкого металу і наступної кристалізації.

За дослідженнями мікроструктури першого шару покриття (рис. 2 *a, б*) можна говорити про значну подібність з аналогічними нашаруваннями, коли як анод використовують складно леговані сталі або сплави [16]. З аналізу результатів [7] видно, що незалежно від співвідношення хімічних компонентів, типу кристалічної решітки та ін., високі швидкості розплавлення металу на поверхні анода, переносу його до катода і остаточна прискорена кристалізація обумовлюють формування металевого покриття з дуже низькою концентрацією дефектів кристалічної будови. Отримані в роботі результати мають якісне підтвердження відомим даним.

Так, аналіз мікроструктури сформованого покриття (рис. 2 *a, б*) вказує на відсутність міжфазних і великокутових меж розподілу. На підставі цього металеве покриття, у першому наближенні, може бути віднесеним до однофазного стану. З іншого боку, не зовсім зрозуміло, якщо матеріалом анода є вуглецева сталь з вмістом вуглецю 0,65 %, то після розплавлення, переносу краплини і кристалізації чим зумовлена відсутність в структурі покриття часток карбідної фази? Порівняльний аналіз з аналогічними процесами переносу рідкого металу, наприклад при електродуговому зварюванні, не пояснює природи формування однофазної структури.

Дійсно, з урахуванням ідентичності процесу переносу рідкого металу при формуванні зварного з'єднання (технологія електричного дугового зварювання з використанням електроду, що плавиться), структурний стан металу ванни після кристалізації практично не відрізняється від металу електрода [12].

При мікроструктурних дослідженнях по товщині першого прошарку момент появи ознак часток другої фази можна розглядати як межу, яка визначає формування другого шару покриття (рис. 2, *в*). До особливостей внутрішньої будови слід віднести нерівномірність розташування часток другої фази по його товщині. При чому кількість часток поблизу з межею, що

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

розділяє перший і другий прошарки покриття, значно перебільшує їх кількість в інших мікроб'ємах.

Положення наступної межі (по товщині поверхневих нашарувань) визначається моментом появи мікроструктури металу, що відповідає вихідному стану.

Таким чином, у випадку однакових матеріалів анода і катода, отримані результати підтверджують відомі положення, що формування поверхневого покриття за технологією електричного іскрового розряду визначається умовами переносу і кристалізації металу [7, 13–16].

Гradient структур по товщині покриття значною мірою зумовлений розвитком процесів структурних перетворень від впливів термічного характеру [13, 17].

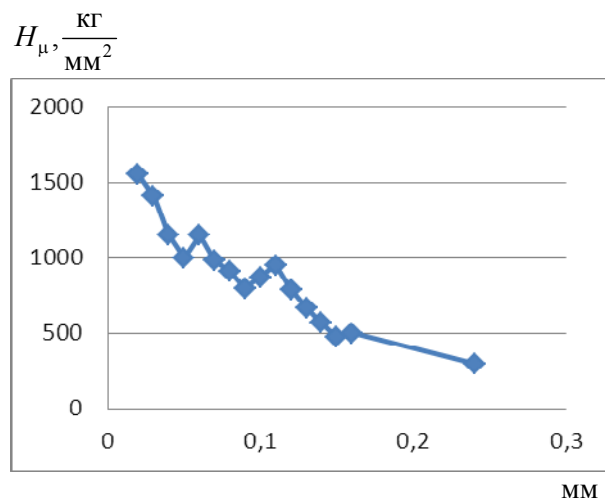


Рис. 3. Зміна мікротвердості металу залежно від відстані від поверхні покриття.

Fig. 3. Metal microhardness change, depending on the distance from the coating surface.

Аналіз характеру розподілу мікротвердості дозволяє визначити зміну рівня властивостей міцності металу по товщині сформованого покриття [1, 5].

Наведену рис. 3 залежність мікротвердості по товщині сформованого покриття необхідно розглядати порівняно з відповідним структурним станом металу (рис. 2). Так, з аналізу мікроструктури товщина першого прошарку покриття (в місці вимірювання мікротвердості) складала значення на рівні 0,17 мм (рис. 2, а). Мікротвердість на вказаній ділянці змінюється від приблизно 1 500, на відстані від поверхні по-

криття 0,02 мм, до 600–700  $\frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$  на межі з другим прошарком (рис. 2, в). Далі, до межі з основним металом, мікротвердість неухильно знижується, досягаючи значень 250–300  $\frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$  (відстань від поверхні покриття 0,25 мм, рис. 3).

У першому наближенні можна вважати, що оцінка положення межі за мікроструктурними дослідженнями є цілком обґрунтованою, що підтверджується значеннями  $H_\mu$  [1]. Однак порівняльний аналіз з відомими результатами вказує як на співпадання абсолютних значень мікротвердості, так і на суттєві розбіжності.

Так, твердість досліджуваного металу у вихідному стані цілком відповідає значенням 240–250  $\frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$ , що підтверджується числовими експериментальними даними [3, 11].

Інша справа – абсолютні значення  $H_\mu$  для ділянок поблизу з поверхнею першого нашарування (рис. 2, а). При вимірюванні мікротвердості на відстані від поверхні приблизно 0,02 мм були отримані значення, які значно перевищують відомі результати [6, 10]. Справа в тому, що при зменшенні навантаження на індентор отримані результати мікротвердості будуть неухильно збільшуватись [8]. При цьому достатньо суттєве зростання  $H_\mu$  починається для навантажень вже від 50 г і менше. З урахуванням вказаного ефекту, використане навантаження на індентор 10 г призвело до цілком зрозумілого збільшення отриманих результатів.

На підставі цього з метою визначення поправкового коефіцієнта, були використані діаграми залежності  $H_\mu$  для різних навантажень [8]. Значення поправкового коефіцієнта прийнято рівним 1,7. Дійсно, після врахування ефекту штучного підвищення мікротвердості відкореговані значення  $H_\mu$  вже відповідають більшості легованих вуглецевих сталей в стані після повного гартування (800–900  $\frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$  [2, 9]).

За рівнем ефект поверхневого зміцнення від іскрового розряду може розглядатися як альтернатива термічним та хіміко-термічним технологіям обробки поверхні металевих матеріалів.

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

**Наукова новизна та практична значимість**

В результаті електричної іскрової обробки, за умови однакового металу анода і катода, сформований перший прошарок покриття за зовнішніми ознаками відповідає однофазному стану.

В об'ємі металу покриття поява часток карбідної фази супроводжується зниженням значень твердості.

Формування багат шарового поверхневого покриття при електричній іскровій обробці супроводжується виникненням градієнта структур по його товщині.

За досягненим рівнем ефект поверхневого зміцнення від іскрового розряду може бути конкурентноспроможним більшості термічних та хіміко-термічних технологій обробки поверхні металевих матеріалів.

**Висновки**

1. За умови однакового матеріалу анода і катода поверхневі нашарування металу при виникненні електричного іскрового розряду формуються в однофазному стані.

2. Другий прошарок покриття, у вигляді глобулярних структур, перехідною зоною до металу у вихідному стані.

3. Сформовані структури вуглецевої сталі з глобулярною формою цементиту за зовнішніми ознаками подібні тим, що спостерігаються після визначених витримок при субкритичних температурах відпуску.

4. В об'ємі металу покриття поява часток карбідної фази супроводжується зниженням значень мікротвердості.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Бабич, В. К. Деформационное старение стали / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М. : Металлургия, 1972. – 320 с.
2. Бернштейн, М. Л. Структура деформированных металлов / М. Л. Бернштейн. – М. : Металлургия, 1977. – 431 с.
3. Вакуленко, І. О. Про взаємозв'язок структурних перетворень при втомі вуглецевої сталі з особливостями будови поверхонь руйнування / І. О. Вакуленко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 32. – С. 242–245.
4. Вакуленко, І. О. Структурний аналіз в матеріалознавстві / І. О. Вакуленко. – Д. : Маковецкий, 2010. – 124 с.
5. Вакуленко, И. А. Морфология структуры и деформационное упрочнение стали / И. А. Вакуленко, В. И. Большаков. – Д. : Маковецкий, 2008. – 196 с.
6. Вакуленко, Л. И. Электрическая импульсная обработка металла обода железнодорожного колеса после эксплуатации / Л. И. Вакуленко, В. А. Сокирко, Ю. Л. Надеждин // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – № 1 (43). – С. 126–132.
7. Верхотуров, А. Д. Технология электроискрового легирования металлических поверхностей / А. Д. Верхотуров, И. М. Муха. – К. : Техніка, 1982. – 181 с.
8. Григорович, В. К. Твердость и микротвердость металлов / В. К. Григорович. – М. : Наука, 1976. – 230 с.
9. Дзугутов, М. Я. Пластическая деформация высоколегированных сталей и сплавов / М. Я. Дзугутов. – М. : Металлургия, 1977. – 480 с.
10. Кузін, О. А. Металознавство та термічна обробка металів / О. А. Кузін, Р. А. Яцюк. – К. : Основа, 2005. – 324 с.
11. Мямлин, С. В. Влияние условий эксплуатации на внутреннее строение металла железнодорожных колес / С. В. Мямлин, Л. И. Вакуленко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 164–166.
12. Сварка в машиностроении : справочник. Т. 1. / К. В. Васильев, В. И. Вилль, В. Н. Волченко и др. – М. : Машиностроение, 1978. – 504 с.
13. Kahlon, C. S. Electric spark toughening of cutting tools and steel components / C. S. Kahlon // Intern. J. of Machine Tool Des. and Research. – 1970. – Vol. 10. – P. 95–121.
14. Langhammer, K. Frasen hochwarmfesten Werkstoffe mit elektrofunkenvrfestgen Schnellarbeitsstahlwerkzeugen / K. Langhammer // Industrie Anzeig. – 1971. – Vol. 93, № 51. – P. 1195–1196.
15. Penetron carbide deposition and blast – peening equipment // Machinery and production engineering. – 1972. – Vol. 20, № 3099. – P. 479–480.
16. Vaidyanathan, S. Elektro-funkenverfestung und von werkzeugschneiden / S. Vaidyanathan, H. Schlayer // Industrie Anzeig. – 1971. – Vol. 93, № 36. – P. 819–820.
17. Vakulenko, I. A. Effect of the morphology and size of iron carbide on the fatigue strength of carbon steels / I. A. Vakulenko, O. N. Perkov // Russ. Metallurgy. – 2008. – № 3. – P. 225–228.

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

И. А. ВАКУЛЕНКО<sup>1\*</sup>, С. В. ПРОЙДАК<sup>1</sup>, З. СТРАДОМСКИ<sup>2</sup>, В. А. ДЯДЬКО<sup>1</sup><sup>1\*</sup>Каф. «Технология материалов», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56,

эл. почта dnuzt\_texmat@ukr.net

<sup>1</sup>Каф. «Технология материалов», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56,

эл. почта dnuzt\_texmat@ukr.net

<sup>2</sup>Фак. «Технология обработки материалов и прикладная физика института инженерного материаловедения», Ченстоховский технологический университет, ул. Армии Краевой, 19, Ченстохов, Польша, 42-200, тел. +48 (34) 325 07 38, эл. почта zbigniew@wip.pcz.pl**ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИСКРОВОГО РАЗРЯДА  
НА ТВЕРДОСТЬ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ**

**Цель.** Целью работы является оценка влияния электрической искровой обработки на состояние формирующегося поверхностного покрытия углеродистой стали. **Методика.** Материалом для исследования служила сталь фрагмента обода железнодорожного колеса с химическим составом 0,65% С, 0,67% Мн, 0,3% Si, 0,027% Р, 0,028% S. Структурные исследования проводились с использованием световой микроскопии и методик количественной металлографии. Структурное состояние исследуемой стали соответствовало состоянию после горячей пластической деформации. Анализ распределения твердости в микрообъемах металла катода осуществляли с использованием микротвердомера типа ПМТ-3. Электрическую искровую обработку поверхности углеродной стали выполняли с использованием оборудования типа ЭФИ-25М. **Результаты.** После электрической искровой обработки поверхности образца из углеродистой стали наблюдали формирование многослойного покрытия. Анализ микроструктуры показал существование качественных различий во внутреннем строении металла покрытия в зависимости от исследуемого участка. Полученные в работе результаты подтверждают известные положения, что формирование поверхностного покрытия по технологии электрического искрового разряда определяется условиями переноса и кристаллизации металла. Градиент структур по толщине покрытия в значительной степени зависит от развития процессов структурных превращений, подобных влиянию термического характера. **Научная новизна.** В результате электрической искровой обработки, при условии одинакового металла анода и катода, сформированная первая прослойка покрытия по внешним признакам соответствует однофазному состоянию. В объеме металла покрытия появление частиц карбидной фазы сопровождается снижением значений микротвердости. **Практическая значимость.** Формирование многослойного поверхностного покрытия при электрической искровой обработке сопровождается возникновением градиента структур по толщине. По уровню эффект поверхностного упрочнения от искрового разряда может быть альтернативой большинству термических и химико-термических технологий обработки металлических материалов.

*Ключевые слова:* микротвердость; электрические разряды; микроструктура; углеродистая сталь

I. O. VAKULENKO<sup>1\*</sup>, S. V. PROYDAK<sup>1</sup>, Z. STRADOMSKI<sup>2</sup>, V. A. DIADKO<sup>1</sup><sup>1\*</sup>Dep. «Materials Technology», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 56, e-mail dnuzt\_texmat@ukr.net<sup>1</sup>Dep. «Materials Technology», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 56, e-mail dnuzt\_texmat@ukr.net<sup>2</sup>Fac. «Technology of Materials Processing and Applied Physics of Institute of Engineering Material Science», Czestochowa University of Technology, Armi Krajowej St., 19, Czestochowa, Poland, 42-200, tel. +48 (34) 325 07 38, e-mail zbigniew@wip.pcz.pl**INFLUENCE OF ELECTRIC SPARK ON HARDNESS OF CARBON  
STEEL**

**Purpose.** The purpose of work is an estimation of influence of an electric spark treatment on the state of mouldable superficial coverage of carbon steel. **Methodology.** The steel of fragment of railway wheel rim served as material for research with chemical composition 0.65% C, 0.67% Mn, 0.3% Si, 0.027% P, 0.028% S. Structural researches were conducted with the use of light microscopy and methods of quantitative metallography. The structural state of the

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

probed steel corresponded to the state after hot plastic deformation. The analysis of hardness distribution in the micro volumes of cathode metal was carried out with the use of microhardness tester of type of PMT-3. An electric spark treatment of carbon steel surface was executed with the use of equipment type of EFI-25M. **Findings.** After electric spark treatment of specimen surface from carbon steel the forming of multi-layered coverage was observed. The analysis of microstructure found out the existence of high-quality distinctions in the internal structure of coverage metal, depending on the probed area. The results obtained in the process are confirmed by the well-known theses, that forming of superficial coverage according to technology of electric spark is determined by the terms of transfer and crystallization of metal. The gradient of structures on the coverage thickness largely depends on development of structural transformation processes similar to the thermal character influence. **Originality.** As a result of electric spark treatment on the condition of identical metal of anode and cathode, the first formed layer of coverage corresponds to the monophase state according to external signs. In the volume of coverage metal, the appearance of carbide phase particles is accompanied by the decrease of microhardness values. **Practical value.** Forming of multi-layered superficial coverage during electric spark treatment is accompanied by the origin of structure gradient on a thickness. The effect of the superficial work-hardening from a spark according to a level can be an alternative to majority of thermal and chemical-thermal technologies of treatment of metallic materials.

**Keywords:** microhardness; electric discharges; microstructure; carbon steel

## REFERENCES

1. Babich V.K., Gul Yu.P., Dolzhenkov I.Ye. *Deformatsionnoye starenie stali* [Strain aging of the steel]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1972. 320 p.
2. Bernshteyn M.L. *Struktura deformirovannykh metallov* [Structure of deformed metals]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1977. 431 p.
3. Vakulenko I.O. Pro vzaiemozviazok strukturnykh peretvoren pry vtomi vuhletsevoi stali z osoblyvostiamy budovy poverkhon ruinuвання [On the interrelation of structural transformations with fatigue of carbon steel with structure features of the break surfaces]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 32, pp. 242-245.
4. Vakulenko I.O. *Strukturnyi analiz v materialoznavstvi* [Structural analysis on material science]. Dnipropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2010. 124 p.
5. Vakulenko I.A., Bolshakov V.I. *Morfologiya struktury i deformatsionnoye uprochneniye stali* [Structure morphology and strain hardening of steel]. Dnipropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2008. 196 p.
6. Vakulenko L.I., Sokirko V.A., Nadezhdin Yu.L. Elektricheskaya impulsnaya obrabotka metalla oboda zheleznodorozhnogo kolesa posle ekspluatatsii [Electric pulse treatment of metal railway wheel rim after operation]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2013, no. 1 (43), pp. 126-132.
7. Verkhoturov A.D., Mukha I.M. *Tekhnologiya elektro-iskrovogo legirovaniya metallicheskiykh poverkhnostey* [Technology of electrospark alloying of metal surfaces]. Kyiv, Tekhnika Publ., 1982. 181 p.
8. Grigorovich V.K. *Tverdost i mikrotverdost metallov* [Hardness and microhardness of metals]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 230 p.
9. Dzugutov M.Ya. *Plasticheskaya deformatsiya vysokolegirovannykh staley i splavov* [Plastic deformation of high-alloy steels and alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1977. 480 p.
10. Kuzin O.A., Yatsiuk R.A. *Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv* [Metal technology and heat treatment of metals]. Kyiv, Osnova Publ., 2005. 324 p.
11. Myamlin S.V., Vakulenko L.I. Vliyaniye usloviy ekspluatatsii na vnutrenneye stroyeniye metalla zheleznodorozhnykh koles [The influence of operating conditions on the internal structure of metal of railway wheels]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 164-166.
12. Vasilyev K.V., Vill V.I., Volchenko V.N. *Svarka v mashinostroyenii. Spravochnik. T. 1.* [Welding in mechanical engineering. Vol. 1]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1978. 504 p.
13. Kahlon C.S. Electric spark toughening of cutting tools and steel components. *International Journal of Machine Tool Design and Research*, 1970, vol. 10, pp. 95-121.
14. Langhammer K. Frasen hochwarmfesten Werkstoffe mit elektrofunkenvrfestgen Schnellarbeitsstahlwerkzeugen. *Ind Ans*, 1971, Bd. 93, H. 51, pp. 1195-1196.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

---

15. Penetron carbide deposition and blast – peening equipment. *Machinery and production engineering*, 1972, vol. 20, no. 3099, pp. 479-480.
16. Vaidyanathan H. Schlager. Elektrofunkverfesting und von werkzeugschneiden. *Ind Ans*, 1971, Bd. 93, no. 36, pp. 819-820.
17. Vakulenko I.A., Perkov O.N. Effect of the morphology and size of iron carbide on the fatigue strength of carbon steels. *Russian Metallurgy*, 2008, no. 3, pp. 225-228.

*Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. А. Заблудовським (Україна); к.т.н., доц. О. О. Чайковським (Україна)*

Надійшла до редколегії 10.02.2014

Прийнята до друку 27.03.2014

## УДК 669.15'26-196.018.253

В. Г. ЕФРЕМЕНКО<sup>1\*</sup>, Ю. Г. ЧАБАК<sup>1</sup>, К. ШИМИДЗУ<sup>2</sup>, А. В. ДЖЕРЕНОВА<sup>1</sup>,  
Б. В. ЕФРЕМЕНКО<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Физика», Приазовский государственный технический университет, ул. Университетская, 7, Мариуполь, Украина, 87500, тел. +38 (0629) 44 65 20, эл. почта vgefremenko@tabler.ru

<sup>1</sup>Каф. «Физика», Приазовский государственный технический университет, ул. Университетская, 7, Мариуполь, Украина, 87500, тел. +38 (0629) 44 65 20

<sup>2</sup>Муроранский институт технологии, ул. Мизумото-чо, 27, Муроран, Хоккайдо, Япония, 050-8585, тел. +81-143 46 5651

## К ВЫБОРУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СМЯГЧАЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА

**Цель.** Высокохромистые чугуны с аустенитной структурой матрицы обладают плохой обрабатываемостью резанием. Целью работы является поиск новых энергосберегающих режимов предварительной смягчающей термической обработки, обеспечивающих повышение обрабатываемости резанием отливок за счет формирования оптимальной микроструктуры. **Методика.** Применены металлографический анализ, испытания на твердость и обрабатываемость резанием. **Результаты.** Установлено, что отжиг от высоких температур с непрерывным охлаждением приводит к получению в чугуне 270X15Г2Н1МФТ мартенситно-аустенитной матрицы; данный факт резко ухудшает обрабатываемость чугуна резанием. Существенное улучшение обрабатываемости резанием достигается получением структуры «феррит + зернистые карбиды» и снижением твердости до 37-39 HRC в случае использования двухстадийного изотермического отжига в субкритическом интервале температур или за счет применения закалки с высоким отпуском (двухстадийным или циклическим). **Научная новизна.** Установлено, что формирование оптимальной структуры матрицы и достижение требуемого уровня твердости, необходимых для повышения обрабатываемости резанием высокохромистого чугуна, содержащего 3 % аустенито-образующих элементов, возможно в двух случаях: 1) за счет перлитного превращения первородного аустенита с последующей сфероидизацией эвтектоидных карбидов; 2) путем получения преимущественно мартенситной структуры с последующим распадом мартенсита и коагуляцией карбидов при высоком отпуске. **Практическая значимость.** Предложены новые экономичные схемы смягчающей термической обработки, обеспечивающие рост обрабатываемости резанием высокохромистых чугунов, легированных повышенным количеством аустенитообразующих элементов.

**Ключевые слова:** высокохромистый чугун; микроструктура; термическая обработка; обрабатываемость резанием

### Введение

Высокохромистые чугуны (ВХЧ) традиционно используются в промышленности в качестве триботехнических материалов в связи с высокой абразивной и эрозионной износостойкостью [2, 4, 11]. Для ВХЧ характерна пониженная обрабатываемость резанием (ОР), что ограничивает их применение при изготовлении деталей, требующих механической обработки определенных поверхностей. Максимальная ОР ВХЧ достигается в том случае, если структура матрицы представляет собой феррит с зернистыми карбидами при отсутствии аустенита; при этом твердость отливок не должна превышать 40 HRC [5, 13]. Обеспечение полной замены аустенита на феррито-карбидную смесь представляет зна-

чительные трудности в ВХЧ с повышенным содержанием аустенитообразующих элементов. Для получения заданной микроструктуры и твердости применяют смягчающую термообработку. Известные схемы термообработки либо не дают желаемого результата [5], либо излишне энергозатратны [7, 12].

### Цель

Целью данной работы является разработка новых энергосберегающих режимов смягчающей термообработки, обеспечивающей повышение обрабатываемости резанием ВХЧ, суммарно содержащего 3 % Mn и Ni.



## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

## Методика

Исследовали чугун 270X15Г2Н1МФТ, содержащий: 2,70 % С; 2,20 % Мn; 0,55 % Si; 14,55 % Cr; 0,93 % Ni; 0,39 % Mo; 0,38 % V. Термическую обработку образцов проводили в муфельных лабораторных электропечах. Микроструктуру чугуна исследовали с применением световой микроскопии («Neophot-21»), а также с помощью электронной микроскопии с использованием сканирующего микроскопа JSM-6510 («JEOL»). Твердость образцов измеряли на твердометре Роквелла по шкале «С». Испытания на обрабатываемость резанием осуществляли методом сверления, используя сверла диаметром 6,5 мм из стали Р6М5. Скорость вращения сверла составляла 600 мин<sup>-1</sup>, подача сверла – 0,15 мм<sup>-1</sup>. В качестве критерия обрабатываемости резанием использовали общую глубину отверстий, просверленных до износа 50 % ширины задней поверхности режущего клина сверла.

## Результаты

Образцы, вырезанные из отливки чугуна 270X15Г2Н1МФТ, подвергали смягчающей термической обработке по следующим схемам: а) непрерывный отжиг (рис. 1, а); б) двухступенчатая выдержка в субкритическом интервале температур (рис.1, б); в) закалка с двухступенчатым высоким отпуском (рис.1, в); г) закалка с термоциклическим высоким отпуском (ТЦО) (рис. 1, г). В исходном (литом) состоянии чугун имел структуру, состоящую из эвтектических карбидов хрома и первородного аустенита.

Непрерывный отжиг является наиболее широко применяемой для ВХЧ смягчающей термообработкой [3]; он предполагает нагрев в аустенитную область с выдержкой 2–4 ч при температурах выше 850–1 000 °С. В процессе выдержки (дестабилизации) из первородного аустенита выделяются вторичные карбиды (ВК) хрома зернистой формы, а сам аустенит обедняется по углероду и легирующим элементам.

Также известна смягчающая субкритическая обработка («СО»), заключающаяся в двухступенчатой выдержке в субкритическом интервале температур [7, 12] (рис. 1, б). При обработке по этой схеме первая ступень выполняется при температуре минимальной устойчивости первородного аустенита в перлитной области (для исследованного чугуна ~ 650 °С) в течение време-

ни, необходимого для завершения эвтектоидного превращения. Вторая ступень продолжительностью не менее 20 ч выполняется при температуре на 20–50 °С ниже точки  $A_{c1}$ , что обеспечивает коагуляцию и сфероидизацию эвтектоидных карбидов. По завершении второй ступени отливки могут охлаждаться на воздухе. Недостатком схемы «СО» является значительная (до 30 ч) длительность режима.

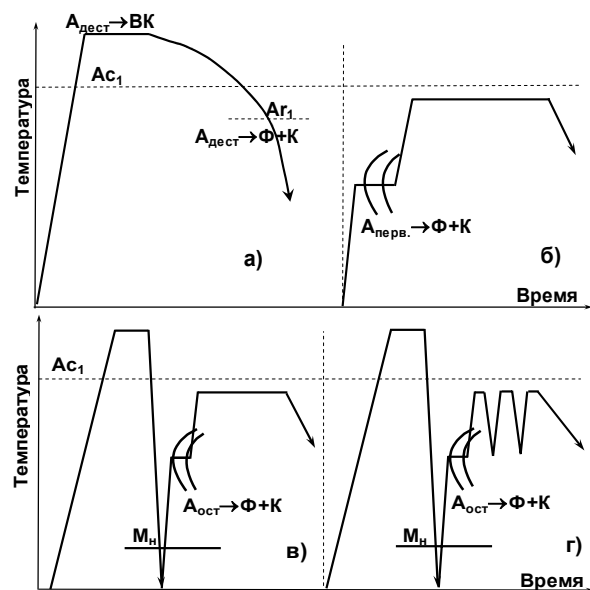


Рис. 1. Примененные схемы предварительной смягчающей термообработки ВХЧ

Fig. 1. Applied schemes of preliminary softening heat treatment of HCl

Схемы термообработки, показанные на рис. 1, в, г, разработаны и предложены авторами на основе результатов выполненных ранее исследований [6, 9, 10]. Эти схемы являются более энергосберегающими по сравнению с известными; их особенностью является замена отжига (непрерывного или изотермического) на закалку и высокий отпуск («Д + ВО») (патент Украины № 85134). На первой стадии отливки подвергаются высокотемпературной дестабилизации [6, 9] – выдержке при температуре максимальной скорости выделения ВК из первородного аустенита. Для минимизации длительности режима выдержка проводится в течение времени, необходимого для завершения выделения ВК – не более 2–2,5 ч. Чрезмерно длительная выдержка приводит к укрупнению ВК, снижению их количества, а, следовательно, – к уменьшению числа включений, на которых



## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

при отпуске сможет выделяться углерод, непосредственно формируя зернистые карбиды [8]. По завершении дестабилизации проводится закалка на воздухе (нормализация), целью которой является получение преимущественно мартенситной структуры матрицы (с содержанием остаточного аустенита ( $A_{ост}$ ) не выше 30 %). Высокая прокаливаемость ВХЧ, обусловленная повышенной концентрацией аустенитообразующих элементов, позволяет получать мартенситную структуру охлаждением на воздухе, что исключает опасность растрескивания отливок, а наличие остаточного аустенита предотвращает их коробление.

После закалки проводится высокий отпуск для разложения мартенсита и формирования зернистых карбидов. Проведенные исследования показали, что отпуск необходимо выполнять двухступенчато. Первая ступень предназначена для разложения  $A_{ост}$ , поэтому ее необходимо выполнять при температуре минимальной устойчивости  $A_{ост}$ , которая для исследованного чугуна составляет  $\sim 650^\circ\text{C}$  (распад  $A_{ост}$  при этой температуре завершается через 2 ч). Параллельно с разложением  $A_{ост}$  на первой стадии протекает распад мартенсита; выделяющиеся из  $\alpha$ - и  $\gamma$ -твердых растворов дисперсные карбиды имеют зернистую форму. Вторую ступень целесообразно выполнять при температуре, максимально приближенной к точке  $A_{c1}$ . При этой температуре завершается распад мартенсита, начатый на первой стадии, а также протекают процессы коагуляции и сфероидизации выделившихся из мартенсита и аустенита карбидов. Вторичные карбиды, появившиеся в структуре при дестабилизации, также принимают участие в формировании зернистого состояния карбидной фазы: можно полагать, что на их поверхности происходит формирование цементита как при «выходе» атомов углерода из решетки мартенсита, так и при их перераспределении в процессе коагуляции и сфероидизации. Общая продолжительность двух стадий отпуска, необходимого для получения требуемой структуры («феррит + зернистые карбиды») и твердости менее 40 HRC составляет 10–12 ч. Таким образом, в предложенной схеме термообработки коагуляция и сфероидизация выделившихся карбидов протекает значительно быстрее, чем после эвтектоидного распада аустенита (схема «СО»). Причиной этого может

быть пониженное (вследствие выделения ВК при дестабилизации) содержание хрома в матрице, что повышает активность углерода в  $\alpha$ -железе, т.е. способствует его выделению из твердого раствора.

Разновидностью схемы «Д + ВО» является схема «Д + ТЦО», в которой высокий отпуск на второй стадии выполняется в виде 3–4-х циклов, состоящих из нагрева до температуры на  $20\text{--}50^\circ\text{C}$  ниже точки  $A_{c1}$ , выдержки в течение 1–1,5 ч и охлаждения на  $100\text{--}150^\circ\text{C}$  со скоростью  $100\text{--}180^\circ\text{C}/\text{ч}$ . Преимуществом ТЦО является сокращение времени отпуска до 8–10 ч, общая продолжительность режима составляет 10–12 ч, что более чем в два раза меньше, чем при обработке по схеме «СО».

Реализация предложенных схем термообработки предполагает знание кинетики фазово-структурных превращений аустенита в чугуна конкретного химического состава, что необходимо для обоснованного назначения температуры и продолжительности изотермических выдержек как в аустенитной, так и субкритической областях температур.

Конкретные параметры примененных режимов термической обработки и достигнутые значения твердости чугуна представлены в таблице 1. На рис. 2 показана микроструктура чугуна 270X15Г2Н1МФТ, достигнутая проведением указанных выше смягчающих термообработок. В литом состоянии чугун имеет твердость 45–46 HRC. После непрерывного отжига с предварительной дестабилизацией твердость чугуна возросла до 55–56 HRC, а структура его матрицы была представлена смесью мартенсита, остаточного аустенита, троостита и вторичных карбидов хрома (рис. 2, а); при этом содержание троостита не превышало 10 %.

Появление такой структуры вместо ожидаемой феррито-карбидной структуры было вызвано эффектом замедления эвтектоидного превращения, инициируемым выделением ВК из первородного аустенита. Этот эффект был подробно описан авторами данной статьи в работе [11]; вследствие его проявления произошло резкое замедление превращения аустенита в области диффузионного превращения, при этом дестабилизированный аустенит большей частью превратился в мартенситном интервале, вызвав повышение твердости на 10–11 HRC относительно литого состояния.

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

После термической обработки по схеме «СО» была получена феррито-карбидная структура матрицы, в которой карбиды имели зернистую форму (рис. 2, б); их средний диаметр составил 0,23–0,28 мкм. Твердость чугуна снизилась до 37–39 HRC.

Таблица 1

**Параметры смягчающей термической обработки и твердость чугуна 270X15Г2Н1МФТ**

Table 1

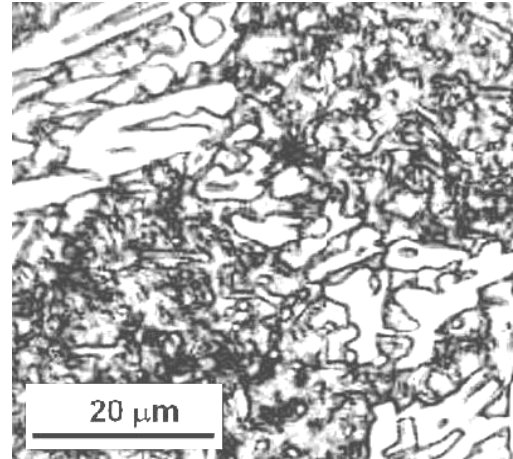
**Parameters of softening heat treatment and hardness of 270H15G2N1MFT cast iron**

Схема т/о	Режим	Твердость, HRC
Литое состояние	—	45–46
Отжиг	Выдержка при 950 °С (2 ч), охлаждение с печью со скоростью 20 °С/ч до 450 °С, далее — на воздухе (общая длительность режима — 27 ч)	55–56
«СО»	Выдержка при 650 °С (6 ч), выдержка при 700 °С (20 ч), далее — на воздухе (общая длительность режима — 26 ч)	37–39
«Д + ВО»	Выдержка при 950 °С (2 ч), охлаждение на воздухе, выдержка при 650 °С (2 ч), выдержка при 700 °С (12 ч), далее — воздух (длительность режима — 16 ч)	37–38
«Д + ТЦО»	Выдержка при 950 °С (2 ч), охлаждение на воздухе, выдержка при 650 °С (2 ч), 3 цикла 720↔600 °С с выдержкой 1 ч при 720 °С, далее — на воздухе (длительность режима — 10 ч)	37–39

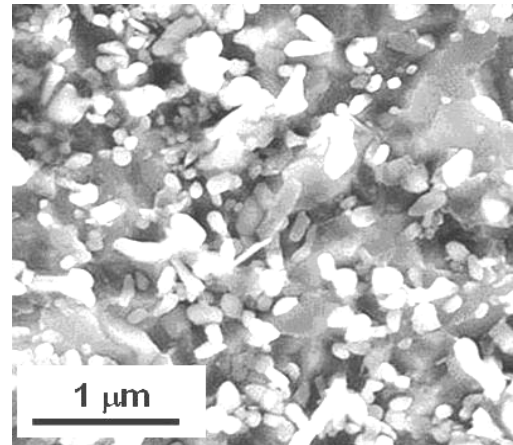
Аналогичный уровень твердости был получен и реализацией режимов по схемам «Д + ВО» и «Д + ТЦО». После такой термообработки металлическая матрица имела структуру «феррит + зернистые карбиды». Количество зернистых карбидов в пределах дендритных областей со-

ставляло 2,2 шт/мкм<sup>2</sup>, их средний размер достиг 0,33–0,39 мкм, что на 40 % выше, чем в случае обработки по схеме «СО».

*a – a*



*б – b*



*в – c*

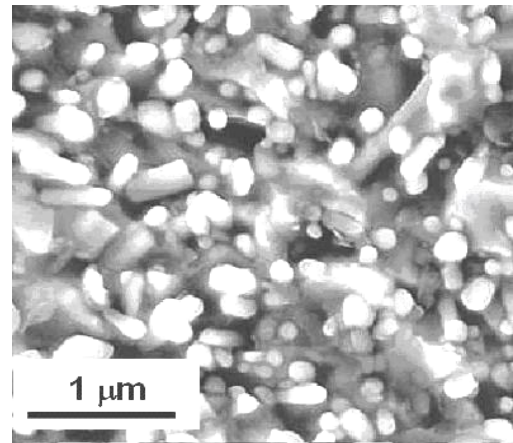


Рис. 2. Микроструктура металлической матрицы чугуна 270X15Г2Н1МФТ после термообработки: *a* – отжиг; *б* – схема «СО»; *в* – схема «Д + ВО (ТЦО)»

Fig. 2. Metal matrix microstructure of 270H15G2N1MFT cast iron after heat treatment: *a* – annealing; *b* – «SO» scheme; *c* – «D + VO (TTSO)» scheme

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Термообработанные образцы были подвергнуты испытаниям на обрабатываемость резанием. Как следует из рисунка 3, литые образцы с аустенитной структурой матрицы и твердостью 45,5 HRC, а также отожженные образцы практически не поддавались резанию: затупление сверла происходило сразу же после начала сверления. Применение других схем термической обработки позволило существенно улучшить обрабатываемость резанием исследованного чугуна. В образцах, подвергнутых выдержке в области субкритических температур (схема «СО»), глубина высверленных отверстий возросла в среднем до 12,85 мм. Еще более высокая обрабатываемость резанием была обеспечена применением термообработки, включавшей закалку и высокий отпуск (схема «Д + ВО»): средняя глубина высверленных отверстий достигла 17,34 мм, что на 35 % выше по сравнению со схемой «СО». Обработка по схеме «Д + ТЦО» обеспечила практически такую же, как и схема «Д + ВО», твердость (37–39 HRC) и обрабатываемость резанием (17,15 мм).

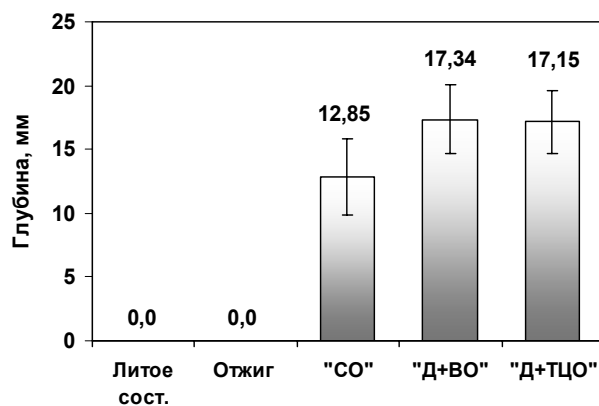


Рис. 3. Влияние схемы смягчающей термической обработки на обрабатываемость резанием чугуна 270X15G2N1MFT

Fig. 3. Influence of scheme of softening heat treatment on the machinability of 270H15G2N1MFT cast iron

Представленные результаты показывают, что схемы «СО», «Д + ВО», «Д + ТЦО» являются перспективными для применения в качестве смягчающей термической обработки ВХЧ с повышенным содержанием марганца и никеля. В то же время две последние схемы являются более перспективными по сравнению со схемой «СО». Во-первых, они отличаются существенным снижением общей продолжительности режима термообработки (10–16 ч вместо

26 ч), во-вторых, обеспечивают высокохромистому чугуно более высокую обрабатываемость резанием при одинаковой (со схемой «СО») твердости.

Зафиксированную разницу в результатах испытаний на сверление можно объяснить различием в размерах зернистых карбидов, а также в содержании хрома в феррите. Образцы, обработанные по схеме «Д + ВО (ТЦО)», подвергались дестабилизирующей выдержке, в ходе которой произошло обеднение твердого раствора хромом за счет выделения вторичных карбидов  $Me_7C_3$  и  $Me_{23}C_6$ . В связи с этим феррит отпущенных образцов содержит гораздо меньше хрома, чем феррит, полученный при распаде аустенита по перлитной реакции (при обработке по схеме «СО»), протекавшей с выделением не специальных карбидов хрома, а легированного цементита. Очевидно, хром способствует более интенсивному упрочнению феррита при резании за счет блокирующего влияния на дислокации, что ускоряет притупление сверла в контакте с легированным ферритом [1].

#### Научная новизна и практическая значимость

Установлено, что формирование оптимального структурного состояния металлической матрицы и достижение требуемого уровня твердости, необходимых для повышения обрабатываемости резанием высокохромистого чугуна, содержащего 3 % аустенитообразующих элементов, возможно путем получения мартенситно-аустенитной структуры с последующим разложением мартенсита и остаточного аустенита в сочетании с коагуляцией и сфероидизацией выделяющихся при отпуске карбидов. Предложены соответствующие технологические схемы смягчающей термической обработки ВХЧ, предусматривающие высокотемпературную выдержку, закалку на воздухе (нормализацию) и высокий двухступенчатый или термоциклический отпуск.

#### Выводы

1. Показано, что в случае применения непрерывного отжига (охлаждение после выдержки при 950 °C (2 ч) со скоростью 20 °C/ч) в чугуне 270X15G2N1MFT формируется мартенситно-аустенитно-карбидная структура ме-

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

таллической матрицы, повышающая твердость до 55–56 HRC и практически исключая возможность сверления чугуна инструментом из стали P6M5.

2. Изотермический отжиг в области субкритических температур или комбинированная термообработка, включающая закалку и высокий отпуск, обеспечивают получение в чугуне 270X15Г2Н1МФТ требуемой структуры («феррит + зернистые карбиды») и снижение его твердости до 37–39 HRC, что позволяет обрабатывать чугун инструментом из быстрорежущей стали.

3. Предложены новые технологические схемы смягчающей термической обработки высокохромистых чугунов, легированных повышенным количеством аустенитообразующих элементов, состоящие из высокотемпературной дестабилизирующей выдержки и высокого отпуска (двухступенчатого или термоциклического). Эти схемы обеспечивают чугуну высокую обрабатываемость резанием при значительном сокращении длительности режима термообработки по сравнению с известными режимами.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вакуленко, И. А. Морфология структуры и деформационное упрочнение стали / И. А. Вакуленко, В. И. Большаков. – Д. : Изд-во Маковецкий, 2008. – 196 с.
2. Миронова, Т. М. Влияние предварительной термической обработки на пластичность белых чугунов / Т. М. Миронова // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 6 (48). – С. 88–98.
3. Рауба, А. А. Модифицирование и предварительная термообработка белого чугуна с повышенным содержанием хрома / А. А. Рауба, Г. В. Бычков // Литейное пр-во. – 1985. – № 7. – С. 33.
4. Цыпин, И. И. Белые износостойкие чугуны – эволюция и перспективы / И. И. Цыпин // Литейное пр-во. – 2000. – № 9. – С. 15–16.
5. Цыпин, И. И. Белые износостойкие чугуны / И. И. Цыпин. – М. : Металлургия, 1983. – 176 с.
6. Чабак, Ю. Г. Структурные изменения в комплекснолегированном белом чугуне при дестабилизирующем нагреве / Ю. Г. Чабак, В. Г. Ефременко, Р. Р. Станишевский // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 38. – С. 229–232.
7. Чейлях, А. П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие технологии / А. П. Чейлях. – Харьков : ННЦ ХФТИ, 2003. – 212 с.
8. Bedolla-Jacuinde, A. Kinetics of secondary carbide precipitation in a high-chromium white iron / A. Bedolla-Jacuinde, L. Arias, B. Hernandez // J. of Materials Engineering and Performance. – 2003. – Vol. 4, № 12. – P. 371–382.
9. Chabak, Yu. G. Change of secondary-carbides' nanostate in 14.5 % Cr cast iron at high-temperature heating / Yu. G. Chabak, V. G. Efremenko // Metallofizika I Noveishie Tekhnologii. – 2012. – Vol. 34, № 9. – P. 1205–1220.
10. Efremenko, V. G. Effect of destabilizing heat treatment on solid-state phase transformation in high-chromium cast irons / V. G. Efremenko, K. Shimizu, Yu. G. Chabak // Metallurgical and Materials Transactions A. – 2013. – Vol. 44 A. – P. 5434–5446.
11. Reda, R. Investigation of improving wear performance of hypereutectic 15%Cr-2%Mo white irons / R. Reda, A. Nofal, Kh. Ibrahim // China Foundry. – 2010. – № 4. – P. 438–446.
12. Soft annealing of high chromium white cast iron / P. Amorim, H. Santos, J. Santos et al. // Materials Science Forum. – 2004. – Vol. 455–456. – P. 290–294.
13. Zhou, J. M. Machinability of abrasion resistance cast iron with PCBN cutting tools / J. M. Zhou, M. Andersson // Materials and Manufacturing Processes. – 2008. – Vol. 23, № 5. – P. 506–512.

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

В. Г. ЄФРЕМЕНКО<sup>1\*</sup>, Ю. Г. ЧАБАК<sup>1</sup>, К. ШИМИДЗУ<sup>2</sup>, А. В. ДЖЕРЕНОВА<sup>1</sup>,  
Б. В. ЄФРЕМЕНКО<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Фізика», Приазовський державний технічний університет, вул. Університетська, 7, Маріуполь, Україна, 87500,  
тел. +38 (0629) 44 65 20, ел. пошта vgefremenko@rambler.ru

<sup>1</sup>Каф. «Фізика», Приазовський державний технічний університет, вул. Університетська, 7, Маріуполь, Україна, 87500,  
тел. +38 (0629) 44 65 20

<sup>2</sup>Муроранський технологічний інститут, вул. Міzumото-чо, 27, Муроран, Хоккайдо, Японія, 050-8585,  
тел. +81-143 46 5651

## ДО ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ПОМ'ЯКШУВАЛЬНОЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ВИСОКОХРОМИСТОГО ЧАВУНУ

**Мета.** Високохромисті чавуни з аустенітною структурою матриці мають низьку оброблюваність різанням. Метою роботи є пошук нових енергозберігаючих режимів попередньої пом'якшувальної термічної обробки, які забезпечать підвищення оброблюваності різанням виливків за рахунок формування оптимальної мікроструктури. **Методика.** Використано металографічний аналіз, випробування на твердість та оброблюваність різанням. **Результати.** Встановлено, що відпал від високих температур із безперервним охолодженням призводить до отримання в чавуні 270X15Г2Н1МФТ мартенситно-аустенітної матриці; даний факт різко погіршує оброблюваність чавуну різанням. Істотне поліпшення оброблюваності різанням досягається отриманням структури «ферит + зернисті карбіди» та зниженням твердості до 37–39 HRC у разі використання двохстадійного ізотермічного відпалу в субкритичному інтервалі температур або за рахунок застосування гартування з високим відпуском (двохстадійним або циклічним). **Наукова новизна.** Встановлено, що формування оптимальної структури матриці й досягнення необхідного рівня твердості, потрібних для підвищення оброблюваності різанням високохромистого чавуну, що містить 3 % аустенітоутворюючих елементів, можливо у 2-х випадках. Це: 1) за рахунок перлітного перетворення первородного аустеніту з подальшою сфероїдизацією евтектонічних карбідів; 2) шляхом отримання переважно мартенситної структури з наступним розпадом мартенситу й коагуляцією карбідів при високому відпуску. **Практична значимість.** Запропоновано нові економічні схеми пом'якшувальної термічної обробки, які забезпечують зростання оброблюваності різанням високохромистих чавунів, легованих підвищеною кількістю аустенітоутворюючих елементів.

*Ключові слова:* високохромистий чавун; мікроструктура; термічна обробка; оброблюваність різанням

V. G. EFREMENKO<sup>1\*</sup>, YU. G. CHABAK<sup>1</sup>, K. SHIMIZY<sup>2</sup>, A.V. DZHERENOVA<sup>1</sup>,  
B.V. EFREMENKO<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Physics», «Priazovskyi State Technical University», Universitetskaya St.,7, Mariupol, Ukraine, 87500,  
tel. +38 (0629) 44 65 20, e-mail vgefremenko@rambler.ru

<sup>1</sup>Dep. «Physics», «Priazovskyi State Technical University», Universitetskaya St.,7, Mariupol, Ukraine, 87500,  
tel. +38 (0629) 44 65 20

<sup>2</sup>Muroran Institute of Technology, Mizumoto-cho St., 27, Muroran, Hokkaido, Japan, 050-8585, tel. +81-143 46 5651

## TO SELECTION OF TECHNOLOGICAL SCHEME OF SOFTENING HEAT TREATMENT FOR HIGH CHROMIUM CAST IRON

**Purpose.** High chromium cast irons with austenitic matrix have low machinability. The aim of work is search of new energy-saving modes of preliminary softening heat treatment enhancing the machinability of castings by forming an optimum microstructure. **Methodology.** Metallographic analysis, hardness testing and machinability testing are applied. **Findings.** It was found out that high temperature annealing with continuous cooling yields to martensite-austenite matrix in cast iron 270X15Г2Н1МФТ, which abruptly affects the machinability of cast iron. Significant improvement of machinability is achieved by forming of structure "ferrite + granular carbides" and by decline of hardness to 37-39 HRC in the case of two-stage isothermal annealing in the subcritical temperature range or by the use of quenching and tempering (two-step or cyclic). **Originality.** It was found that the formation of the optimal structure of the matrix and achievement of desired hardness level needed for improving machinability of high chromium cast iron containing 3 % austenite-forming elements, can be obtained: 1) due to pearlite original austenite fol-

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

lowed by spheroidization eutectoid carbides, and 2) by getting predominantly martensite structure followed by the decay of martensite and carbides coagulation at high-temperature tempering. **Practical value.** The new energy-saving schemes of softening heat treatment to ensure the growth of machinability of high chromium cast iron, alloyed by higher quantity of austenite forming elements, are proposed.

*Keywords:* high chromium cast iron; microstructure; heat treatment; machinability

## REFERENCES

1. Vakulenko I.A., Bolshakov V.I. *Morfologiya struktury i deformatsionnoye uprochneniye stali* [Morphology of structure and work hardening of steel]. Dnipropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2008. 196 p.
2. Mironova T.M. Vliyaniye predvaritel'noy termicheskoy obrabotki na plastichnost belykh chugunov [The effect of preliminary heat treatment on plasticity of white cast irons]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 6 (48), pp. 88-98.
3. Rauba A.A., Bychkov G.V. Modifitsirovaniye i predvaritelnaya termooobrabotka belogo chuguna s povyshennym sodержaniyem khroma [Modification and preliminary treatment of white cast iron with a high content of chromium]. *Liteynoye proizvodstvo – Foundry*, 1985, no. 7, p. 33.
4. Tzypin I.I. Belyye iznosostoykiye chuguny– evolyutsiya i perspektivy [Wear white cast irons – evolution and prospects]. *Liteynoye proizvodstvo – Foundry*, 2000, no. 9, pp. 15-16.
5. Tsylin I.I. *Belyye iznosostoykiye chuguny* [White wear resistant cast irons]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1983. 176 p.
6. Chabak Yu.G., Efremenko V.G., Stanishevskiy R.R. Strukturnyye izmeneniya v kompleksnolegirovannom belom chugune pri destabiliziruyushchem nagreve [Structural changes in the complex-doped white iron at destabilizing heating]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 38, pp. 229-232.
7. Cheilyakh A.P. *Ekonomnolegirovannyye metastabilnyye splavy i uprochnyayushchiye tekhnologii* [Economic metastable alloys and hardening technology]. Kharkov, NNC HFTI, 2003. 212 p.
8. Bedolla-Jacuinde A., Arias L., Hernandez B. Kinetics of secondary carbide precipitation in a high-chromium white iron. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2003, vol. 4, no. 12, pp. 371-382.
9. Chabak Yu.G., Efremenko V.G. Change of secondary-carbides' nanostate in 14.5 % Cr cast iron at high-temperature heating. *Metallfizika I Noveishie Tekhnologii*, 2012, vol. 34, no. 9, pp. 1205-1220.
10. Efremenko V.G., Shimizu K., Chabak Yu.G. Effect of destabilizing heat treatment on solid-state phase transformation in high-chromium cast irons. *Metallurgical and Materials Transactions A.*, 2013, vol. 44 A, pp. 5434-5446.
11. Reda R., Nofal A., Ibrahim Kh. Investigation of improving wear performance of hypereutectic 15%Cr-2%Mo white irons. *China Foundry*, 2010, no. 4, pp. 438-446.
12. Amorim P., Santos H., Santos J., Coimbra C., Sa C. *Soft annealing of high chromium white cast iron. Materials Science Forum*, 2004, vol. 455-456, pp. 290-294.
13. Zhou J.M., Andersson M. Machinability of abrasion resistance cast iron with PCBN cutting tools. *Materials and Manufacturing Processes*, 2008, vol. 23, no. 5, pp. 506-512.

*Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. А. Масловым (Украина); д.т.н., проф. И. А. Вакуленко (Украина)*

Поступила в редколлегию 05.02.2014

Принята к печати 15.03.2014

## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

УДК 005.8:519.863

И. А. КОРХИНА<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Управление проектами», Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, Днепропетровск, 49600, Украина, тел. +38 (063) 421 54 71, эл. почта kor\_inna@mail.ru

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПОРТФЕЛЯ ПРОЕКТОВ С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНЫХ ФАКТОРОВ

**Цель.** Для определения путей перспективного развития железнодорожного транспорта необходимо решать задачу формирования портфеля инвестиционных проектов. При этом приходится сталкиваться с неопределенностью в исходных данных (цены на услуги, материалы, энергоносители). Чтобы учесть указанную неопределенность предлагается использовать разработанную модель стохастического программирования. **Методика.** Для учета неопределенных данных вводятся вероятностные ограничения на величины ресурсов, используемых в портфеле проектов. В качестве функции цели предлагается максимизировать порог, который с заданной вероятностью может превысить чистый доход за интервал планирования. **Результаты.** Получена модель стохастического программирования с построчными вероятностными ограничениями. Коэффициентами этой модели были нормально распределены случайные величины. Выведены соотношения, позволяющие рассчитать математические ожидания и ковариационные матрицы этих коэффициентов. **Научная новизна.** Известные методы формирования оптимального портфеля проектов исходят из того, что все исходные данные известны точно. Исходя из этого соображения, авторы работ по созданию оптимального портфеля проектов приходят к схеме детерминированного математического программирования. В настоящей статье предлагается учесть неопределенность в исходных данных, что повысит надежность оценки эффективности портфеля проектов путем использования схемы стохастического математического программирования. **Практическая значимость.** Разработанная модель может быть использована для решения задач планирования развития железнодорожного транспорта.

**Ключевые слова:** портфель проектов; чистый доход; инвестиции; стохастическая оптимизация; случайные коэффициенты; вероятность

#### Введение

Для определения путей перспективного развития железнодорожного транспорта приходится решать задачу формирования портфеля инвестиционных проектов, направленных на модернизацию транспортной системы [6, 7, 8]. Этот портфель должен быть таким, чтобы в случае его реализации он обеспечивал наилучшие показатели работы железнодорожного транспорта. Следовательно, портфель проектов должен быть оптимальным по какому-либо критерию (при-

быль, доход и т.п.) [9]. Задача формирования оптимального портфеля проектов таким образом является актуальной для железнодорожной отрасли как и других отраслей национальной экономики. Имеется ряд работ, в которых рассмотрены различные подходы к решению задачи формированию оптимального портфеля проектов [1, 4, 5, 13]. Указанная задача сводится к моделям математического программирования линейного и нелинейного. Однако в этих моделях предполагается, что все ее параметры известны

## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

точно, в частности цены на продукты проекта и сырье на их производство.

Часто для оценки эффективности такого портфеля необходимо рассматривать процесс реализации проектов, входящих в его состав на достаточно длинном интервале времени. Разумеется, ряд показателей, которые используются при расчете эффективности портфеля, при этом не будут точно известны. Неопределенность в определении этих показателей возникает из-за того, что точно не известны цены на услуги, материалы и энергоносители, используемые в железнодорожном транспорте. Кроме того, может возникнуть необходимость привлечения кредитов для реализации портфеля проектов. Будущие процентные ставки по кредитам также являются неопределенными величинами. Для реализации портфеля проектов могут привлекаться средства железнодорожного транспорта. Ее будущая прибыль – также неопределенная величина. Таким образом, мы приходим к необходимости решения задачи формирования оптимального портфеля проектов, которая формализуется в виде модели математического программирования с неопределенными коэффициентами, представляющие собой случайные величины. Такой подход обосновывается тем, что будущие цены на услуги, материалы и энергоносители, а также кредитные средства и средства от нераспределенной прибыли определяются в результате прогноза, который представляет собой случайную величину, см. например [11]. Задача математического программирования, коэффициенты которой – случайные величины, называется задачей стохастического математического программирования.

### Цель

Целью работы – разработка модели формирования оптимального портфеля проектов с учетом неопределенности в виде модели стохастического программирования.

### Методика

Пусть имеется  $J$  проектов, из которых необходимо отобрать такие, которые обеспечат максимум чистого дохода за  $T$  периодов времени. Известно:  $u_j(t)$  – затраты на  $j$ -й проект ( $j = \overline{1, J}$ ) в  $t$ -м периоде времени ( $t = \overline{1, T}$ );

$d_j(t)$  – доход от  $j$ -го инвестиционного проекта в  $t$ -м периоде времени. Финансирование портфеля проектов предполагается осуществлять за счет кредитов  $k(t)$  и доли  $\delta$  собственной прибыли организации в  $t$ -м периоде времени  $Q(t)$ .

Прибыль от портфеля проектов в периоде времени  $\tau$  ( $\tau = 1, \dots, T$ ):

$$\sum_{j=1}^J d_j(\tau)x_j + k(\tau) + \delta Q(\tau) - \sum_{j=1}^J u_j(\tau)x_j - s(\tau) - l(\tau-1)k(\tau-1), \quad (1)$$

где булева переменная  $x_j = 1$ , если  $j$ -й проект включается в портфель проектов,  $x_j = 0$  в противном случае;  $l(t)$  – процентная ставка за кредит ( $l(0) = 0$ );  $s(\tau)$  – долг, выплачиваемый в периоде времени  $\tau$ .

Будем исходить из того, что кредиты берутся в начале  $t$ -го года и возвращаются в следующем  $t+1$ -м году. В последнем году периода планирования  $T$  они не берутся. Проценты по кредитам, взятым в  $t$ -м году, выплачиваются в  $t+1$ -м году ( $t = 1, \dots, T-1$ ). Выплата кредитов описывается следующими выражениями:

$$s(1) = 0; \quad s(t) = k(t-1); \quad t = 2, 3, \dots, T. \quad (2)$$

Суммарный чистый доход за  $t$  периодов времени  $t = 1, \dots, T-1$ , получим из (1) с учетом (2), просуммировав выражения (1) по  $\tau = 1, \dots, T$ . Имеем

$$B(t) = \sum_{\tau=1}^t \sum_{j=1}^J d_j(\tau)x_j + k(t) + \delta \sum_{\tau=1}^t Q(\tau) - \sum_{\tau=1}^t \sum_{j=1}^J u_j(\tau)x_j - \sum_{\tau=1}^{t-1} l(\tau)k(\tau), \quad t = 1, \dots, T-1, \quad (3)$$

$$B(T) = \sum_{\tau=1}^T \sum_{j=1}^J d_j(\tau)x_j - \sum_{\tau=1}^T \sum_{j=1}^J u_j(\tau)x_j - \sum_{\tau=1}^{T-1} l(\tau)k(\tau), \quad t = T. \quad (4)$$

Выражение в формуле (4) учитывает, что в  $T$ -м периоде времени кредитование отсутст-



## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

вует, а чистий дохід определяется за вычетом самофинансирования в предыдущие периоды времени.

Пусть в портфеле проектов предусмотрено предоставление  $n$  видов услуг, для реализации которых необходимо  $m$  видов материалов и энергоносителей, причем  $n + m = N$ . Обозначим  $c_k(t)$ ,  $k = 1, \dots, n$  – цена  $k$ -го вида услуги в  $t$ -м периоде времени (случайная величина) [3];  $V_{jk}(t)$ ,  $k = 1, \dots, n$  – планируемая реализация услуги  $k$ -го вида по  $j$ -му проекту в  $t$ -м году,  $V_{jk}(t) \geq 0$ ;  $c_k(t)$ ,  $k = n + 1, \dots, N$  – цены  $k$ -го вида материалов в  $t$ -м периоде времени;  $V_{jk}(t)$ ,  $k = n + 1, \dots, N$  – необходимое количество материалов  $k$ -го вида в  $t$ -м периоде времени по  $j$ -му проекту,  $V_{jk}(t) \geq 0$ ;  $\mu$  – доля дохода, уплачиваемая в качестве налога на добавленную стоимость.

Величины  $c_k(t)$ ,  $k = 1, \dots, N$  представляют собой прогноз соответствующей цены на  $t$ -й период времени. Эта величина случайная, ее первые два момента могут быть определены методами однофакторного или многофакторного прогноза. В первом случае предполагается, что цена зависит только от времени, а во втором – прогноз рассчитывается по регрессионной модели, связывающей цену с факторами, влияющими на нее. С методами обоих видов прогнозирования можно ознакомиться в достаточно обширной литературе, см. например [2]. Собственная прибыль организации  $Q(t)$  также определяется прогнозным путем и потому является случайной величиной.

Объемы  $V_{jk}(t)$ ,  $k = 1, \dots, N$  определяются разработчиками проектов и поэтому рассматриваются далее как детерминированные величины.

Имеем:

$$d_j(t) = \sum_{k=1}^n c_k(t)(1-\mu)V_{jk}(t),$$

$$j = 1, \dots, J, \quad t = 1, \dots, T, \quad (5)$$

$$u_j(t) = \sum_{k=n+1}^N c_k(t)V_{jk}(t),$$

$$j = 1, \dots, J, \quad t = 1, \dots, T. \quad (6)$$

Так как  $c_k(t)$ ,  $k = 1, \dots, N$  – случайные величины, то  $d_j(t)$  и  $u_j(t)$ ,  $j = 1, \dots, J$ ,  $t = 1, \dots, T$ , согласно (4), (5) тоже случайные величины. Отсюда следует, что оба выражения в формуле (3) – чистые доходы за интервал планирования – случайные величины.

В связи с неопределенностью величин процентных ставок по кредитам будем рассматривать их также как случайные величины. Таким образом, величины  $B(t)$ ,  $t = 0, 1, \dots, T$  в (3), (4) зависят от случайных величин  $d_j(t)$ ,  $u_j(t)$ ,  $j = 1, \dots, J$ ,  $t = 1, \dots, T$ ;  $l(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $t = 1, \dots, T-1$  и поэтому также являются случайными величинами.

Естественно потребовать, чтобы во все периоды времени в интервале планирования, кроме последнего, портфель проектов был неубыточным, т.е. суммарный чистый доход в  $t$ -м периоде и предшествующие ему периоды времени был неотрицательным ( $t = 1, \dots, T$ ). В силу его случайности это требование может быть реализовано только в вероятностном смысле, а именно: суммарный чистый доход в  $t$ -м периоде времени должен быть неотрицательным с высокой вероятностью. Тогда из (3) получаем вероятностные ограничения на чистые доходы

$$P \left\{ \begin{aligned} & \sum_{\tau=1}^t \sum_{j=1}^J [d_j(\tau) - \\ & - u_j(\tau)]x_j \\ & + \sum_{\tau=1}^t k(\tau) + \\ & + \delta \sum_{\tau=1}^t Q(\tau) - \\ & - \sum_{\tau=1}^{t-1} l(\tau)k(\tau) \geq 0 \end{aligned} \right\} \geq \beta(t), \quad t = 1, \dots, T-1, \quad (7)$$

где  $P\{A\}$  – вероятность появления события  $A$ , вероятность  $\beta(t) \geq 0,9$ ,  $t = 1, \dots, T-1$ .

Событие  $A$  состоит в том, что суммарный чистый доход за  $t$  периодов времени неотрицательный. Согласно (7) с вероятностью не меньшей  $\beta(t)$ , т.е. с высокой вероятностью, должно произойти это событие.

Функцию цели запишем, используя формулу (4), в виде двух выражений:

## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

$$S \rightarrow \max, \quad (8)$$

$$P \left\{ \begin{aligned} &\sum_{\tau=1}^T \sum_{j=1}^J [d_j(\tau) - u_j(\tau)] x_j - \\ &-\sum_{\tau=1}^{T-1} l(\tau) k(\tau) \geq S \end{aligned} \right\} = \beta(T). \quad (9)$$

Смысл формул (8), (9): порог  $S$ , который может превысить с вероятностью  $\beta(T)$  чистый доход в конечном периоде времени  $T$ , должен быть максимальным. Причем, выбирается  $\beta(T) \geq 0,9$ .

Предприятие, реализовывающее портфель проектов, к моменту начала его реализации может не иметь свободных денежных средств, например, для приобретения оборудования. Тогда, потребуется ввести ограничение:

$$B(0) = \sum_{j=1}^J g_j x_j \leq k(1) + \delta Q(1), \quad (10)$$

где  $g_j$  – стоимость оборудования, предусмотренного  $j$ -м проектом.

В связи с тем, что  $Q(1)$  – случайная величина, предыдущее неравенство может выполняться только в вероятностном смысле, что формализуется вероятностным ограничением

$$P \left\{ \sum_{j=1}^J g_j x_j \leq k(1) + \delta Q(1) \right\} \geq \beta(0), \quad (11)$$

где  $\beta(0) \geq 0,9$ .

Рассмотрим смысл формулы (11). Оборудование должно быть куплено в начале первого периода времени. Однако в это время нет дохода от портфеля проектов, поэтому необходимо приобретать оборудование за счет кредитов или самофинансирования. Доход предприятия от собственной деятельности в первом периоде времени  $Q(1)$  будет известен в его конце, поэтому в начале этого периода величина  $Q(1)$  является неопределенной, т.е. случайной.

На непрерывные искомые переменные накладываются очевидные ограничения:

$$k(t) \geq 0, \quad t=1, \dots, T-1, \quad 0 < \delta \leq 1. \quad (12)$$

Сформулированная задача оптимизации (7)–(11) является задачей стохастического программирования с вероятностными построчны-

ми ограничениями. Искомые переменными в ней являются булевы переменные  $x_j$ ,  $j=1, \dots, J$  и непрерывные переменные  $k(t)$ ,  $t=1, \dots, T-1$  и  $\delta$ .

## Результаты

Для решения задачи стохастического программирования (7)–(12) необходимо перейти к некоторой детерминированной задаче оптимизации, которая называется детерминированным эквивалентом задачи (7)–(12).

Обозначим:

$$\mathbf{a}_j(t) = \begin{bmatrix} a_{j1}(t) \\ \vdots \\ a_{jn}(t) \\ a_{j,n+1}(t) \\ \vdots \\ a_{jN}(t) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{c}(t) = \begin{bmatrix} c_1(t) \\ \vdots \\ c_n(t) \\ c_{n+1}(t) \\ \vdots \\ c_N(t) \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{A}_j(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{a}_j(1) \\ \mathbf{a}_j(2) \\ \vdots \\ \mathbf{a}_j(t) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{c}(1) \\ \mathbf{c}(2) \\ \vdots \\ \mathbf{c}(t) \end{bmatrix} \in \mathfrak{R}^{Nt},$$

$$t=1, \dots, T, \quad (13)$$

где  $a_{jk}(t) = (1-\mu)V_{jk}(t)$ ,  $k=1, \dots, n$ ;  
 $a_{jk}(t) = -V_{jk}(t)$ ,  $k=n+1, \dots, N$ .

Преобразуем выражения (3), (4):

$$B(t) = \sum_{\tau=1}^t \sum_{j=1}^J [d_j(\tau) - u_j(\tau)] x_j + \sum_{\tau=1}^t k(\tau) +$$

$$+ \delta \sum_{\tau=1}^t Q(\tau) - \sum_{\tau=1}^{t-1} l(\tau) k(\tau), \quad t=1, \dots, T. \quad (14)$$

С учетом обозначений (13) имеем выражение для первого слагаемого в (14):

$$\sum_{\tau=1}^t \sum_{j=1}^J [d_j(\tau) - u_j(\tau)] x_j = \sum_{j=1}^J b_j(t) x_j,$$

$$t=1, \dots, T, \quad (15)$$

где:

$$b_j(t) = \mathbf{A}'_j(t) \mathbf{C}(t), \quad t=1, \dots, T. \quad (16)$$

## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Введем векторы коэффициентов  $\mathbf{W}(t) \in R^{j+t+1}$  и искомым переменных  $\mathbf{X}(t) \in R^{j+t+1}$ , фигурирующих в (14):

$$\mathbf{W}(0) = \begin{bmatrix} -g_1 \\ -g_2 \\ \vdots \\ -g_J \\ \dots \\ 1 \\ \mathbf{O}_{T-2} \\ \dots \\ Q(1) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{W}(1) = \begin{bmatrix} b_1(t) \\ b_2(t) \\ \vdots \\ b_J(t) \\ \dots \\ e_1(1) \\ \mathbf{O}_{T-2} \\ \dots \\ Q(1) \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{W}(t) = \begin{bmatrix} b_1(t) \\ b_2(t) \\ \vdots \\ b_J(t) \\ \dots \\ e_t(1) \\ e_t(2) \\ \vdots \\ e_t(t-1) \\ e_t(t) \\ \mathbf{O}_{T-t-1} \\ \dots \\ \sum_{\tau=1}^t Q(\tau) \end{bmatrix}, \quad t = 2, \dots, T-1,$$

$$\mathbf{W}(T) = \begin{bmatrix} b_1(t) \\ b_2(t) \\ \vdots \\ b_J(t) \\ \dots \\ e_T(1) \\ e_T(2) \\ \vdots \\ e_T(T-1) \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (17)$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_J \\ \dots \\ k(1) \\ k(2) \\ \vdots \\ k(T-1) \\ \dots \\ \delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_1 \\ \mathbf{X}_2 \\ \mathbf{X}_3 \end{bmatrix} \in \mathfrak{R}^{J+T}, \quad \mathbf{X}_1 = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_1 \\ \mathbf{X}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{X}_J \end{bmatrix} \in \mathfrak{R}^J,$$

$$\mathbf{X}_2 = \begin{bmatrix} k_1(1) \\ k_2(2) \\ \vdots \\ k(T-1) \end{bmatrix} \in \mathfrak{R}^{T-1}, \quad \mathbf{X}_3 = \delta \in \mathfrak{R}^1, \quad (18)$$

где  $\mathbf{X}_1$  – вектор булевых переменных, компонентами  $\mathbf{X}_2$  являются величины кредитов,  $\mathbf{X}_3$  – прибыль предприятия.

В выражениях (17)

$$e_1(1) = 1; \quad e_t(\tau) = \begin{cases} 1, & \tau = t, \\ -l(\tau), & \tau = 1, \dots, t-1, \end{cases} \quad t = 2, \dots, T-1; \quad (19)$$

$$e_T(\tau) = -l(\tau), \quad \tau = 1, \dots, T-1, \quad (20)$$

$\mathbf{O}_s$  –  $s$ -мерный нулевой вектор.

Тогда формулы (7)–(11) примут вид:

$$S \rightarrow \max, \quad (21)$$

$$P\{\mathbf{W}'(T)\mathbf{X} \geq S\} = \beta(T), \quad (22)$$

$$P\{\mathbf{W}'(t)\mathbf{X} \geq 0\} \geq \beta(t), \quad t = 1, \dots, T-1, \quad (23)$$

$$P\{\mathbf{W}'(0)\mathbf{X} \geq 0\} \geq \beta(0). \quad (24)$$

Будем считать, что распределение случайных величин  $d_j(t)$ ,  $u_j(t)$ ,  $j = 1, \dots, J$ ,  $t = 1, \dots, T$ ;  $l(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $t = 1, \dots, T-1$  нормальное. Можно показать, что поэтому из формул (16), (17), (19), (20) следует, что распределение векторов  $\mathbf{W}(t)$ ,  $t = 0, \dots, T$  – нормальное,  $\mathbf{W}(t) \sim N(\bar{\mathbf{W}}(t), K_{\mathbf{W}}(t))$ , где  $\bar{\mathbf{W}}(t)$  – математи-

## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

ческое ожидание вектора  $\mathbf{W}(t)$ ,  $K_{\mathbf{W}}(t)$  – его ковариационная матрица. Из этого факта следует, что скалярные величины  $B(t) = \mathbf{W}'(t)\mathbf{X}$  распределены нормально,  $t = 0, 1, \dots, T$ . Тогда, используя результаты [10], получим детерминированный эквивалент задачи (7)–(12):

$$\left. \begin{aligned} u(1-\beta(T))\sqrt{\mathbf{X}'\mathbf{K}_{\mathbf{W}}(T)\mathbf{X} + \bar{\mathbf{W}}'(T)\mathbf{X}} &\rightarrow \max, \\ u(1-\beta(t))\sqrt{\mathbf{X}'\mathbf{K}_{\mathbf{W}}(t)\mathbf{X} + \bar{\mathbf{W}}'(t)\mathbf{X}} &\geq 0, t=0, 1, \dots, T-1, \end{aligned} \right\} (25)$$

где  $u(v)$  – квантиль стандартного нормального распределения,  $v$  – вероятность (значение функции распределения стандартной нормальной случайной величины).

На векторы  $\mathbf{X}_1$ ,  $\mathbf{X}_2$  и скаляр  $\mathbf{X}_3$  – компоненты  $\mathbf{X}$  наложены ограничения:

компоненты  $\mathbf{X}_1$  – булевы переменные;

компоненты  $\mathbf{X}_2$  – неотрицательные непрерывные переменные; (26)

скаляр  $\mathbf{X}_3$  – неотрицательная непрерывная величина.

Задача (25), (26) представляет собой задачу нелинейной оптимизации со смешанными переменными и может быть решена с помощью функции «Поиск решения» табличного процессора MS Excel, методы решения подобных задач рассматриваются в [12].

### Научная новизна и практическая значимость

Известные методы формирования оптимального портфеля проектов исходят из того, что все исходные данные известны точно. Исходя из этого соображения авторы работ по созданию оптимального портфеля проектов приходят к схеме детерминированного математического программирования. В статье предлагается учесть неопределенность в исходных данных, что повысит надежность оценки эффективности портфеля проектов путем использования схемы стохастического математического программирования.

### Выводы

В статье предложена модель стохастического математического программирования для решения задачи создания оптимального портфеля проектов в условиях неопределенности в ис-

ходных данных. Она может быть использована для решения задач планирования развития железнодорожного транспорта.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бушуев, С. Д. Часова оптимізація портфеля реальних інвестиційних проектів / С. Д. Бушуєв, М. І. Гиба // Упр. проектами та розв. вир-ва : зб. наук. пр. СХУ ім. Даля. – Луганськ, 2007. – № 2 (22). – С. 36–47.
2. Корхин, А. С. Компьютерная статистика : учеб. пособие. Ч. 2 / А. С. Корхин, О. П. Минакова. – Днепропетровск : Нац. горн. ун-т, 2009. – 239 с.
3. Корхина, И. А. О прогнозировании цен для оценки эффективности проектов / И. А. Корхина, В. В. Малый // Теорія та практика металургії. – 2011. – № 5–6 (ч. II). – С. 125–131.
4. Корхина, И. А. Метод формирования оптимального портфеля инвестиционных проектов предприятия на основе динамической модели / И. А. Корхина // Наук. вісн. Нац. гірн. ун-ту. – 2013. – № 5. – С. 104–111.
5. Корхина, И. А. Один метод формирования оптимального портфеля проектов развития предприятия / И. А. Корхина // Східно-Європ. журн. передових технологій. – 2012. – № 2/2 (56). – С. 34–37.
6. Михайлова, Т. М. Разработка модели планирования эффективного расширения производства / Т. М. Михайлова, М. С. Караваева // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2010. – Вип. 34. – С. 189–192.
7. Мямлин, С. В. Оценка экономической эффективности инвестиционного проекта для железнодорожного транспорта с использованием различных методов / С. В. Мямлин, А. С. Блохина, З. Х. Цечоева // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 32. – С. 268–273.
8. Садловська, І. П. Тенденції розвитку залізничного транспорту України / І. П. Садловська // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 37. – С. 295–297.
9. Управление проектом. Основы проектного управления : учебник / под ред. М. Л. Разу. – М. : КНОРУС, 2010. – 768 с.
10. Юдин, Д. Б. Математические методы управления в условиях неполной информации / Д. Б. Юдин. – М. : Советское радио, 1974. – 400 с.

## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

11. Knopov, P. S. Regression Analysis Under a Priori Parameter Restrictions / P. S. Knopov, A. S. Korzhin. – New York : Springer, 2011. – 250 p.
12. Lee, J. Mixed Integer Nonlinear Programming / Jon Lee, Sven Leyffer. – New York : Springer, 2012. – 690 p.
13. Radulescu, C. Z. Project Portfolio Selection Models and Decision Support [Электронный ресурс] / C. Z. Radulescu, M. Radulescu. – Режим доступа: [http://sic.ici.ro/sic2001\\_4/art03.html](http://sic.ici.ro/sic2001_4/art03.html). – Загл. с экрана.

I. A. KORZHINA<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Управління проектами», Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, Дніпропетровськ, Україна, 49600, тел. +38 (063) 421 54 71, ел. пошта kor\_inna@mail.ru

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПОРТФЕЛЯ ПРОЕКТІВ ІЗ УРАХУВАННЯМ ВИПАДКОВИХ ФАКТОРІВ

**Мета.** Для визначення шляхів перспективного розвитку залізничного транспорту необхідно вирішувати завдання формування портфеля інвестиційних проектів. При цьому доводиться стикатися із невизначеністю у вихідних даних (ціни на послуги, матеріали, енергоносії). Щоб врахувати зазначену невизначеність пропонується використовувати розроблену модель стохастичного програмування. **Методика.** Для обліку невизначених даних вводяться ймовірнісні обмеження на величини ресурсів, що використовуються в портфелі проектів. Функції мети пропонується максимізувати поріг, який із заданою ймовірністю може перевищити чистий дохід за інтервал планування. **Результати.** Отримано модель стохастичного програмування з порядковими ймовірнісними обмеженнями. Коефіцієнтами цієї моделі були нормально розподілені випадкові величини. Виведені співвідношення дозволяють розрахувати математичні очікування та коваріаційні матриці цих коефіцієнтів. **Наукова новизна.** Відомі методи формування оптимального портфеля проектів виходять із того, що всі вихідні дані відомі точно. Виходячи з цього міркування, автори робіт зі створення оптимального портфеля проектів приходять до схеми детермінованого математичного програмування. У цій статті пропонується врахувати невизначеність у вихідних даних, що підвищить надійність оцінки ефективності портфеля проектів шляхом використання схеми стохастичного математичного програмування. **Практична значимість.** Розроблена модель може бути використана для вирішення завдань планування розвитку залізничного транспорту.

**Ключові слова:** портфель проектів; чистий дохід; інвестиції; стохастична оптимізація; випадкові коефіцієнти; ймовірність

I. A. KORZHINA<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Management of Projects», National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Av., 4, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600, tel. +38 (063) 421 54 71, e-mail kor\_inna@mail.ru

## MATHEMATICAL MODEL OF OPTIMAL PROJECT PORTFOLIO FORMING BASED ON RANDOM FACTORS

**Purpose.** To identify the ways of perspective development for railway transport one should solve the problem of forming the investment project portfolio. Thus, it is necessary to deal with uncertainty in the input data (prices of services, materials, energy products). To take into account this uncertainty it is proposed to use the developed model of stochastic programming. **Methodology.** For accounting of uncertain data the probabilistic limits on the quantities of resources, which are used in the project portfolio are imposed. As the objective function it is proposed to maximize the threshold, which with a given probability may exceed the planning interval of the net income. **Findings.** Stochastic programming model with line-by-line probabilistic constraints was obtained. Coefficients of this model are normally distributed random variables. Ratios, which allow calculating mathematical expectations and covariance matrices of these coefficients, were concluded. **Originality.** Known methods of forming the optimal project portfolio are based on the fact that all inputs are known exactly. On the basis of this consideration, the authors of works on the creating an optimal project portfolio have come to a scheme of deterministic mathematical programming. In this article we propose

## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

to take into account the uncertainty in the input data, which will increase the reliability of the portfolio effectiveness estimation through the use of stochastic mathematical programming scheme. **Practical value.** The developed model can be used in order to solve the planning problems of railway transport development.

*Keywords:* project portfolio; net income; investments; stochastic optimization; random factors; probability

## REFERENCES

1. Bushuiev, S.D. Chasova optymizatsiia portfelia realnykh investytsiinykh proektiv [Time optimization of real investment portfolio projects]. *Zbirnyk naukovykh prats Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni V. Dalia: «Upravlinnia proektamy ta rozvytok vyrobnytstva»* [Proc. of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University «Project management and development of production»], 2007, no. 2 (22), pp. 36-47.
2. Korkhin A.S., Minakova O.P. *Kompyuternaya statistika. Chast 2* [Computer statistics. Part 2]. Dnipropetrovsk, NGU Publ., 2009. 239 p.
3. Korkhina I.A., Malyy V.V. O prognozirovani tsen dlya otsenki effektivnosti proyektov [Predicting the prices to assess the effectiveness of projects]. *Teoriia ta praktyka metalurhii – Theory and Practice of Metallurgy*, 2011, no. 5-6 (part II), pp. 125-131.
4. Korkhina I.A. Metod formirovaniya optimalnogo portfelya investitsionnykh proyektov predpriyatiya na osnove dinamicheskoy modeli [The method of forming the optimal investment project portfolio for the enterprise on the basis of dynamic model]. *Naukovyi visnyk natsionalnoho hirnychoho universytetu* [Bulletin of the National Mining University], 2013, no. 5, pp. 104-111.
5. Korkhina I.A. Odin metod formirovaniya optimalnogo portfelya proyektov razvitiya predpriyatiya [One method of forming the optimal portfolio of enterprise development]. *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnologii – Eastern and European Journal of Advanced Technologies*, 2012, no. 2/2 (56), pp. 34-37.
6. Mikhaylova T.M., Karavayeva M.S. Razrabotka modeli planirovaniya effektivnogo rasshireniya proizvodstva [Planning model development of effective production expansion]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 34, pp.189-192.
7. Myamlin S.V., Blokhina A.S., Tsechoyeva Z.Kh. Otsenka ekonomicheskoy effektivnosti investitsionnogo proyekta dlya zheleznodorozhnogo transporta s ispolzovaniyem razlichnykh metodov [Assessment of the economic efficiency of the investment project for railway transport using different methods]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 32, pp. 268-273.
8. Sadlovska I.P. Tendentsii rozvytku zaliznychnoho transportu Ukrainy [Development trends of Railway Transport in Ukraine]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 37, pp. 295-297.
9. Razu M.L. *Upravleniye proyektom. Osnovy proyektного upravleniya* [Project management. Fundamentals of Project Management]. Moscow, KNORUS Publ., 2010. 768 p.
10. Yudin D.B. *Matematicheskiye metody upravleniya v usloviyakh nepolnoy informatsii* [Mathematical methods of control under incomplete information conditions]. Moscow, Sovetskoye radio Publ., 1974. 400 p.
11. Knopov P.S., Korkhin A.S. Regression Analysis Under a Priori Parameter Restrictions. New York, Springer Publ., 2011. 250 p.
12. Lee J., Leyffe S. Mixed Integer Nonlinear Programming. New York, Springer Publ., 2012. 690 p.
13. Radulescu C.Z., Radulescu M. Project Portfolio Selection Models and Decision Support. Available at: [http://sic.ici.ro/sic2001\\_4/art03.html](http://sic.ici.ro/sic2001_4/art03.html) (Accessed 17 December 2013).

*Статья рекомендована к публикации д.т.н, проф. Т. М. Кадильниковой (Украина); д.т.н, проф. А. А. Босовым (Украина)*

Поступила в редколлегию 03.02.2014

Принята к печати 14.03.2014

УДК 656.71-048.445

К. В. МАРИНЦЕВА<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Организация авиационных перевозок», Национальный авиационный университет, пр. Космонавта Комарова, 1, Киев, Украина, 03058, тел. +38 (044) 406 70 94, эл. почта kristin22@ua.fm

## КЛАССИФИКАЦИЯ АЭРОПОРТОВ И ПРИОРИТЕТНОСТЬ ИХ РЕКОНСТРУКЦИИ

**Цель.** Для Украины важно иметь сеть аэропортов, которая бы способствовала текущей и долгосрочной реализации потребностей населения и отраслей экономики в авиационных перевозках. Данное исследование направлено на установление признаков классификации аэропортов для определения их роли в развитии авиатранспортной системы Украины. **Методика.** В работе использовались методы статистического анализа для обработки данных по категориям производительности аэропорта, а также геоинформационная система для визуализации данных. **Результаты.** Установлено, что существующее в нормативной базе разделение аэропортов Украины на международные и внутренние, а также на координированные и неkoordinированные не является актуальным для определения роли аэропорта в развитии авиатранспортной системы страны и приоритетности в финансировании их модернизации соответственно. Разработан подход к определению признаков классификации аэропортов путем анализа категорий производительности. **Научная новизна.** Предложены признаки классификации аэропортов Украины: по виду деятельности и по обслуживанию регулярной маршрутной сети. По виду деятельности предлагается классифицировать аэропорты на: коммерческие основные, коммерческие грузовые основные, коммерческие грузовые и авиации общего назначения. По обслуживанию регулярной маршрутной сети предлагается разделить аэропорты на: основные, вспомогательные и второстепенные авиаузлы. Приведен пример классификации по заданным признакам. **Практическая значимость.** Она заключается в возможности использования предложенной классификации в задаче определения приоритетности финансирования аэропортов страны. В отличие от принятой практики директивного порядка финансирования в рамках государственной программы развития аэропортов, предлагается учитывать то обстоятельство, что возобновление функционирования аэропорта и/или его модернизация должны быть ответом на платежеспособный спрос потребителей (в данном случае – авиакомпаний), которые будут гарантами возвращения вложенных инвестиций.

*Ключевые слова:* класс аэропорта; признаки классификации; аэродромы; пассажиропоток

### Введение

Согласно проекту Концепции Государственной целевой программы развития аэропортов на период до 2023 года [7] решением проблемы развития авиационной отрасли Украины является выполнение ряда заданий по каждому из аэропортов. Плановая потребность в инвестициях составляет 19 млрд грн. Предполагается, что финансирование программы развития за счет государственного бюджета составит более 13 млрд грн., за счет местных бюджетов – около 2 млрд грн. В перечень заданий программы развития включены строительство, реконструкция и модернизация аэродромных комплексов и аэропортовой инфраструктуры, а также возобновление деятельности нефункционирующих аэропортов. Реализация данной Концепции и конкретных заданий по каждому из аэропортов порождает проблему определения оптимального распределения ограниченных финан-

совых и других ресурсов между функционирующими и нефункционирующими аэропортами. Кроме того, важным вопросом является очередность финансирования. Какие аэропорты необходимо модернизировать в первую очередь: функционирующие и прибыльные, функционирующие, но убыточные, или те, которые в силу сложившейся социально-экономической ситуации прекратили свое функционирование?

Для сравнения заметим, что в Польше пятью аэропортами в 2011 г. было обслужено почти 17 млн пас., а одиннадцатью аэропортами Германии в 2010 г. – 172 млн пас. (табл. 1). Очевидно, необходимо серьезно проанализировать целесообразность финансирования из государственного бюджета всей сети аэропортов Украины.

На первом этапе решения данной проблемы необходимо определить роль каждого аэропорта в развитии авиационной транспортной системы (АТС) Украины.

Таблица 1

**Пассажиропотоки аэропортов Польши и Германии (по данным ИКАО)**

Table 1

**Passenger traffic volumes of airports of Poland and Germany (according to ICAO)**

Аэропорт	Кол-во рейсов	Обслужено млн пас.
Польша, 2011 г.		
Copernicus (Вроцлав)	18 332	1 633 000
Frederic Chopin (Варшава)	127 339	9 322 000
John Paul II (Краков)	28 991	2 994 000
Katowice (Катовице)	25 724	2 505 000
Lodz Lublinek (Лодзь)	3 044	390 000
Всего	203 430	16 845 000
Германия, 2010 г.		
Cologne/Bonn (Кельн)	120 648	9 787 000
Dusseldorf (Дюссельдорф)	211 392	18 909 000
Frankfurt Intl (Франкфурт-на Майне)	456 293	52 646 000
Franz Josef Strauss (Мюнхен)	368 277	34 518 000
Fuhlsbuettel (Гамбург)	13 851	12 884 000
Другие	469 571	43 032 000
Всего	1 640 032	171 776 000

**Цель**

Для Украины важно иметь сеть аэропортов, которая способствовала бы текущей и долгосрочной реализации потребностей населения и отраслей экономики в авиационных перевозках. Каждый аэропорт играет определенную роль в развитии АТС, и поэтому инфраструктура аэропортов не может быть стандартной, одинаковой. Информационной основой реализации стратегии развития аэропортов может быть их классификация и выделение аэропортов, функционирование которых наилучшим образом будет соответствовать тенденциям демографического и экономического роста.

В данной статье предлагается подход к определению роли аэропортов Украины в сети путем их классификации.

*Анализ последних исследований.* В настоящее время известны разные классификации аэропортов в зависимости от функций, размеров, форм собственности, технических характеристик. В большинстве классификаций аэропорты разделены на гражданские и военные, а также международные и внутренние [11]. Классификация, которую применяют сейчас в большинстве стран СНГ, в основном отражает эксплуатационные признаки аэропортов [2]. Основным признаком классификации является годовой объем пассажирских перевозок, под которым имеют в виду суммарное количество всех пассажиров, включая пассажиров транзитных рейсов; назначение аэропортов, которое отражает их административно-территориальное расположение и характер перевозок.

Классификация аэропортов также осуществляется по следующим признакам: категориям; статусам; способностью принимать определенные типы воздушных судов (ВС). Так, по категориям аэропорты разделяют на: государственного значения, региональные и местного значения, расположенные в областных центрах, крупных промышленных городах и курортных зонах. По способности принимать определенные типы ВС аэропорты разделяют на те, которые могут принимать любые существующие гражданские ВС без ограничений, и те, которые способны принимать самолеты I класса и ниже, II класса и ниже, не выше III класса. Классы ВС определяются в зависимости от максимальной взлетной массы [4]. По статусу аэропорты разделяют на международные и внутренние.

На законодательном уровне классификация аэропортов Украины определена в нормативных документах [5, 6]. Согласно [5] *международный аэропорт* – аэропорт, предназначенный для приема и отправления ВС, выполняющих международные полеты, и в котором осуществляется таможенный, пограничный, санитарно-карантинный контроль, контроль на авиационную безопасность и другие виды обязательного контроля. *Внутренний аэропорт* – это аэропорт, определенный государством для обслуживания ВС, выполняющих рейсы на территории только данного государства.

В [6] аэропорты делят на *некоординированные* (пропускная способность аэропорта удовлетворяет спрос авиакомпаний) и *координированные* (спрос авиакомпаний на выполнение



## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

полетов в / из аэропорта превышает его пропускную способность). Слот-регулирование в не-координированном аэропорте осуществляется эксплуатантом аэропорта, в координированном – координатором аэропорта, назначенным уполномоченным органом по вопросам гражданской авиации.

Таблица 2

**Международная классификация аэропортов по принимаемым ВС и характеристикам взлетно-посадочных полос [13]**

Table 2

**International Classification of airports according to the airplanes and the characteristics of runways [13]**

Классификация ИКАО				
Кодовый элемент 1		Кодовый элемент 2		
Кодовый номер	Длина летной полосы	Кодовая буква	Размах крыла ВС	Расстояние между внешними колесами основного шасси ВС
1	Менее 800 м	A	Менее 15 м	Менее 4, 5 м
2	800–1 200 м	B	15–24 м	4, 5–6 м
3	1 200–1 800 м	C	24–36 м	6–9 м
4	1 800 м и более	D	36–52 м	9–14 м
		E	52–60 м	9–14 м
Классификация FAA				
Дизайн группа ВС		Размах крыла (м)		Пример типов ВС
I		< 15		Cessna 150, Cessna 172
II		< 15 < 24		Falcon 50
III		< 24 < 36		B-727, B-737
IV		< 36 < 52		A-300, B-767, DC-10
V		< 52 < 60		B-747, B-777
VI		< 60 < 80		Locheed C-5A

В статье [8] автор в качестве параметра классификации аэропортов рассматривает удаленность от центра города. Соответственно аэ-

ропорты делятся на три класса: *аэропорты в черте города*; аэропорты, удаленные не более чем на 30 км от центра города; аэропорты, значительно удаленные от центра города (более 30 км). Данная классификация использовалась затем для сравнительного анализа транспортной доступности украинских и зарубежных аэропортов.

В международной практике широко используется классификация аэропортов FAA (Federal Aviation Administration, США) и ИКАО (Международная Организация Гражданской Авиации).

FAA классифицирует аэропорты по виду их деятельности на следующие категории:

1. *Коммерческие* – это аэропорты, которые находятся в государственной собственности, обслуживают регулярные рейсы, количество вылетающих пассажиров не менее 2 500 чел. в год.

2. *Аэропорты авиации общего назначения*: вся авиация, кроме военной и коммерческой, работающей на регулярной основе.

В свою очередь коммерческие аэропорты делятся на следующие классы:

– основные (Primary): более 10 000 вылетающих пассажиров в год. В рамках данного класса различают следующие типы хабов: большие (L) – 1 % и более от общего количества обслуженных вылетающих пассажиров в США; средние (M) – от 0,25 % до 1 %; небольшой (S) – от 0,05 % до 0,25 %; не узловый (Nonhub) – менее 0,05 %;

– второстепенные (No primary) – от 2 500 до 10 000 вылетающих пассажиров в год;

– второстепенные (исключая коммерческие).

Аэропорты авиации общего назначения, в свою очередь, делятся на классы:

– национальные – аэропорты, в которых находятся в среднем около 200 ВС, включая 30 реактивных ВС;

– региональные – аэропорты, в которых находятся в среднем около 90 ВС, включая 3 реактивных ВС;

– местные – аэропорты, в которых находятся в среднем около 33 винтовых ВС;

– базовые – аэропорты, в которых находятся в среднем около 10 винтовых ВС.

Данная классификация используется для определения права аэропорта на финансирование в рамках Федеральной Программы модернизации аэропортов (AIR).

Другим подходом к классификации, применяемым в FAA и ИКАО, является использова-

## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

ние в качестве критерия классификации аэропортов технико-эксплуатационных характеристик, которые позволяют аэропорту обслуживать определенные типы ВС (табл. 2).

Авторы статьи [12] для классификации аэропортов и определения их роли в Европейской сети предлагают кластерный анализ и алгоритм имитации отжига (simulating annealing). В качестве входных параметров для проведения кластеризации они рассматривают следующие характеристики аэропортов: количество доступных мест на регулярных рейсах в день, количество рейсов в день, количество обслуживаемых направлений, протяженность обслуживаемых маршрутов, процент мест, предлагаемых лоукост-перевозчиками.

После обработки этими авторами были выделены 8 кластеров:

- кластер № 1 – мировые хабы, обслуживающие мировые альянсы (основные: Лондон Heathrow, Париж Charles de Gaulle, Амстердам, Франкфурт, Рим Fiumicino);
- кластер № 2 – хабы, в основном обслуживающие национальных перевозчиков (основные: Афины, Вена, Цюрих, Брюссель, Стокгольм);
- кластер № 3 – «вторые ворота», основной характеристикой которых является концентрация на небольшом количестве направлений, причем международные направления составляют не более 30 % от общего количества предлагаемых маршрутов (основные: аэропорты в Лиссабоне, Глазго, Венеции, Варшаве, Марселе);
- кластер № 4 – аэропорты с объемом перевозок 3–5 млн пассажиров в год, характерным для которых является концентрация лоукост-перевозчиков (в среднем предоставляющих до 75 % мест из общего количества), маршруты выполняются, в основном, внутри Европы;
- кластер № 5 – «ворота без лоукост-перевозчиков». В Европе насчитывается 46 аэропортов, в которых лоукост-перевозчики играют незначительную роль, маршруты выполняются, в основном, внутри Европы;
- кластер № 6 – небольшие региональные аэропорты;
- кластер № 7 – небольшие аэропорты, обслуживающие лоукост-перевозчиков, которые выполняют рейсы внутри Европы;
- кластер № 8 – местные аэропорты, количество которых составило 238. Количество обслуживаемых внутренних направлений в данных

аэропортах обычно не превышает 4, 5; рейсы выполняются в основном лоукост-перевозчиками.

### Методика

Для достижения баланса в распределении ресурсов между аэропортами Украины и установления признаков классификации, которая помогла бы определить роль каждого аэропорта в АТС страны, необходимо выполнить анализ авиационных и неавиационных факторов. Данные факторы могут быть выражены через такие категории производительности: вид деятельности, инфраструктура, доступность аэропорта и экономика региона (рис. 1).

### Результаты

По данным ГАС Украины, в стране функционируют 37 аэропортов и аэродромов гражданской авиации. Из них в государственной собственности находятся 8 аэропортов и аэродромов: «Международный аэропорт Борисполь», «Международный аэропорт «Львов» имени Данила Галицкого», аэродромы «Заводское», Киев/Антонов-1, Киев/Антонов-2, «Харьков» (Сокольники), «Кировоград», «Кременчуг» (два последних находятся на балансе Национального авиационного университета). В коммунальной собственности находятся 17 аэропортов и аэродромов. Большинство этих аэропортов находятся в областных центрах: Кривой Рог, Луганск, Белая Церковь, Винница, Донецк, Запорожье, Николаев, Одесса, Полтава, Ровно, Сумы, Тернополь, Ужгород, Херсон, Черкассы, Черновцы. Международный аэропорт «Киев» (Жуляны) также является коммунальной собственностью. Остальные аэропорты принадлежат открытым (публичным) акционерным обществам и обществам с ограниченной ответственностью. Они находятся в Днепропетровске, Ивано-Франковске, Мариуполе, Севастополе, Симферополе, Харькове.

По объемам пассажирских перевозок (рис. 2) в государственной собственности осталось только два аэропорта (в Борисполе и Львове), которые функционируют и имеют перспективу развития сети авиамаршрутов. Аэропорты с пассажиропотоком выше 500 тыс. чел. в Донецке, Одессе и Симферополе не являются государственными, хотя, по предварительным оценкам, имеют достаточный потенциал, чтобы в стратегическом плане оказывать существенное влияние на развитие АТС Украины.

## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

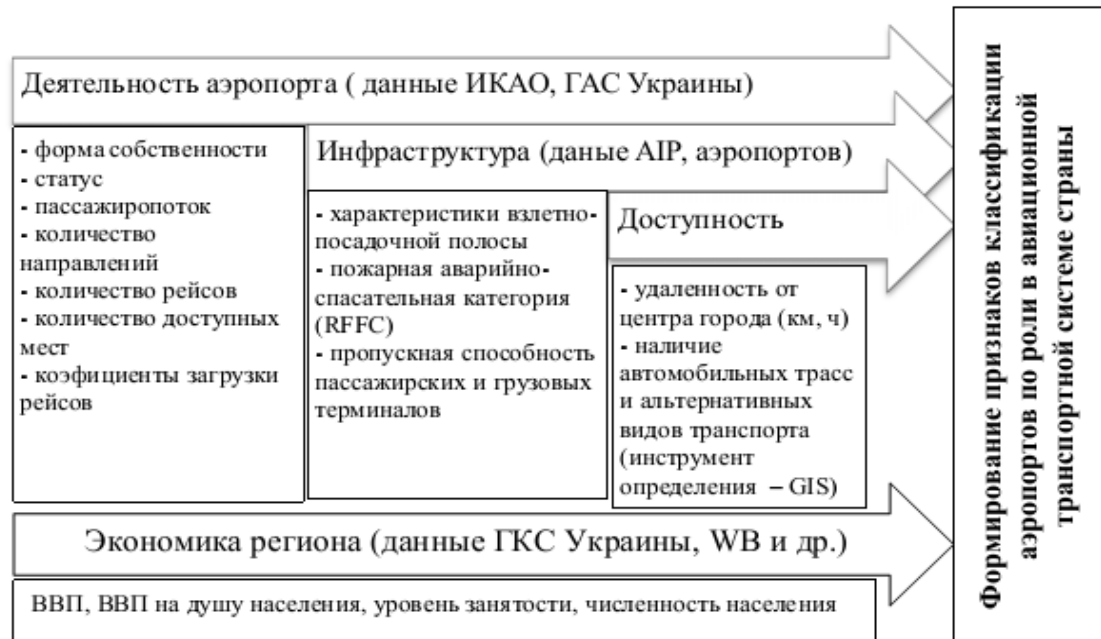


Рис. 1. Процесс формирования признаков классификации:

ГАС Украины – Государственная авиационная служба Украины; AIP – сборник аэронавигационной информации; GIS – глобальные информационные системы; ГКС Украины – государственный комитет статистики Украины; WB – Всемирный Банк

Fig. 1. Process of forming the classification characteristic:

SAA of Ukraine – State Aviation Administration of Ukraine; AIP – Aeronautical Information Publication; GIS – global information system; SSC of Ukraine – State Statistics Committee of Ukraine; WB – World Bank

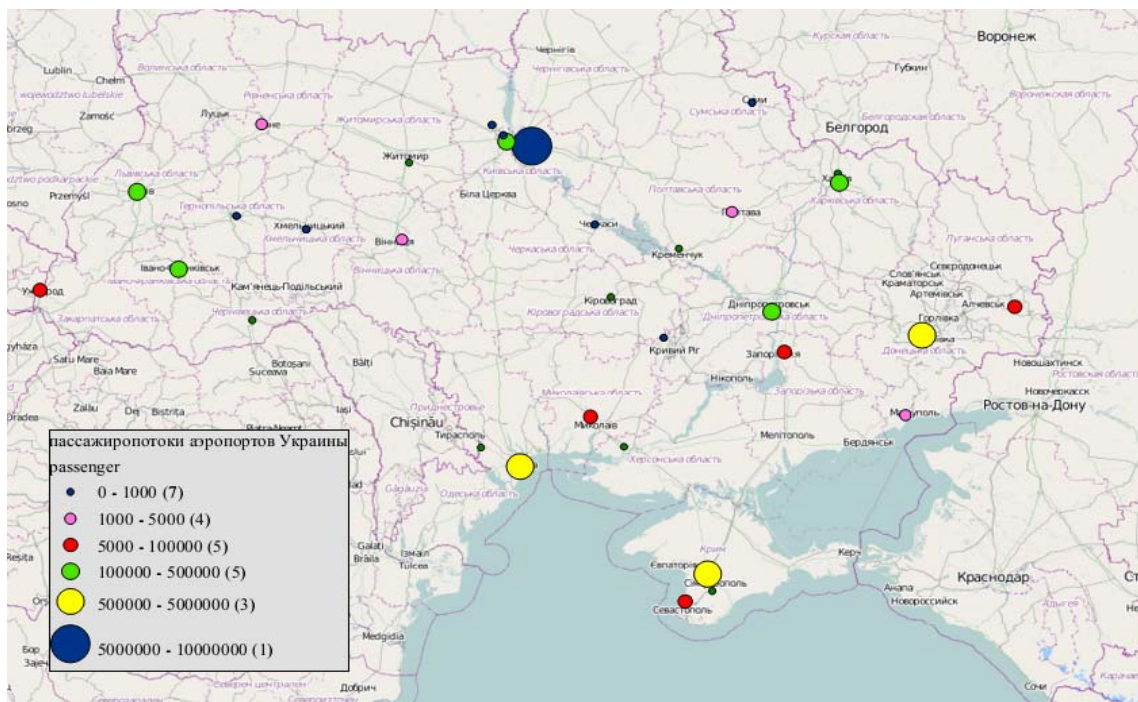


Рис. 2. Пассажиропотоки аэропортов Украины

Fig. 2. Passenger traffic of Ukrainian airports

## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Практически все аэропорты Украины имеют статус *международных* и только аэродромы «Заводское» (Симферополь), «Кременчуг», «Кировоград», Киев/Антонов-1 и аэропорты в Сумах, Полтаве имеют статус *внутренних*. Следовательно, классификация по статусу аэропорта в данном случае не может быть определяющей в приоритетности того или иного аэропорта.

Важными показателями деятельности аэропортов является количество регулярных маршрутов ( $k_i$ ) и рейсов ( $s_i$ ), обслуживаемых данными аэропортами (в теории сложных сетей данные показатели называются *степень* и *сила узла* [1]). По этим показателям, рассчитанным с помощью данных ИКАО за 2011 год [9], был составлен рейтинг функционирующих аэропортов (табл. 3). Характеристики взлетно-посадочных полос (ВПП) и RFFC определяют технико-эксплуатационные ограничения в развитии того или иного аэропорта и, соответственно, необходимость дополнительных инвестиций.

Так, из табл. 3, можно сделать предположение о возможности развития маршрутной сети и более интенсивной эксплуатации аэропорта в Одессе при условии повышения класса летной полосы и пожарной аварийно-спасательной категории. При выполнении данной модернизации появится возможность принимать такие ВС, как B757-300, B767-300, DC-8, DC-10, A300, A330-200 и другие, соответствующие классам летной полосы D, E и 8–10 категории RFFC.

ДП «Международный аэропорт Борисполь» имеет перспективу повышения категории RFFC до 9, 10, что сделает возможным принимать соответствующие ВС. Однако необходимость бюджетного финансирования соответствующих мероприятий должна обосновываться наличием потенциального спроса.

Анализ социально-экономического развития является неотъемлемой частью технико-экономического обоснования модернизации или строительства нового аэропорта. Такой анализ также позволяет определить, есть ли дефицит или избыток пропускной способности авиаузла, или условия, при которых они могут возникнуть.

Для определения роли аэропортов в развитии экономики региона и разработки соответствующего классификационного признака кратко остановимся на двух показателях, характеризующих социально-экономическое положение

в Украине: валовый внутренний продукт (ВВП) на душу населения и численность населения по регионам (рис. 3).

Таблица 3

**Рейтинг аэропортов Украины по количеству регулярных маршрутов и рейсов**

Table 3

**Ukrainian airports rating by the number of regular routes and flights**

Рейтинг	Аэропорт (узел)	$k_i$	$s_i$	Код аэродрома по ИКАО	RFFC
1	Киев (Борисполь)	86	24 787	4E	8
2	Одесса	21	2 888	4C	7
3	Донецк	15	1 663	4D	8
4	Львов	13	1 570	4D	8
5	Днепропетровск	8	1 261	4C	6
6	Симферополь	8	551	4D	7
7	Ивано-Франковск	5	81	4C	7
8	Харьков	4	583	4C/4D	7
9	Черновцы	1	542	н/д	6
10	Николаев	1	279	н/д	7
11	Луганск	1	242	4C	6
12	Запорожье	1	237	4C	8
13	Севастополь	1	59	4C	6
14	Кривой Рог	1	12	4C	6

Что касается распределения численности населения Украины по регионам, то разброс значений не является значительным. Выделяются лишь две области (Донецкая и Днепропетровская), численность населения которых превышает 3 млн чел. Остальные города и области можно разделить на три класса: с численностью населения до 1 млн чел.; от 1 до 2 млн чел. (основная часть областей) и от 2 до 4 млн чел. (6 областей и г. Киев).

## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

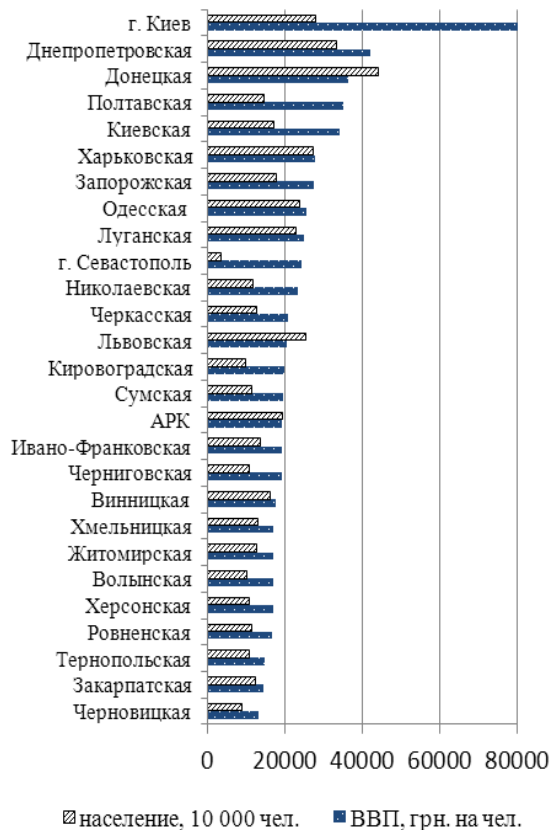


Рис. 3. Сравнительная характеристика регионов Украины по численности населения и доходу на душу населения (2011 г.)

Fig. 3. Comparative characteristics of the regions of Ukraine in terms of population and income per capita (2011)

Разброс значений по показателю ВВП на душу населения, который отражает все другие экономические показатели развития регионов, более существенный (от 13 228 грн в Черновечкой обл. до 79 729 грн в г. Киеве) и явно выделяет один экономически активный регион – г. Киев и Киевскую обл.

По-видимому, аэропорт не может повлиять на значительное экономическое развитие и подвижность населения в регионе. Функционирование аэропорта и его модернизация должны быть ответом на платежеспособный спрос потребителей (в данном случае авиакомпаний), которые будут гарантами возвращения вложенных инвестиций.

По мнению автора, классификация аэропортов должна учитывать реальное социально-экономическое положение региона, в котором

находится аэропорт, а модернизация должна соответствовать парку ВС, которые планируют эксплуатировать авиакомпании, обслуживающие или планирующие обслуживать данный регион.

По данным ГАС Украины, почти 90 % перевозок в 2011 году осуществляли две авиакомпании – «Аэросвит» и «Международные авиалинии Украины» (МАУ), бизнес-модель которых довольно трудно определить, хотя позиционировались они как сетевые классические авиакомпании. В процессе банкротства авиакомпании «Аэросвит» большая доля рынка перешла МАУ. То есть, на сегодня, несмотря на длинный список авиакомпаний, имеющих сертификат эксплуатанта, прямых конкурентов среди украинских авиакомпаний нет. МАУ оснащает свой парк ВС преимущественно самолетами иностранного производства, пользуясь услугами зарубежных лизинговых компаний. Учитывая ограниченные ресурсы парка ВС МАУ и невозможность совмещения нескольких бизнес-моделей одновременно, региональные аэропорты не могут рассчитывать на активное участие данной авиакомпании в их развитии.

Либерализация рынка авиационных перевозок (согласно Меморандуму относительно Соглашения об общем авиационном пространстве между ЕС и Украиной от 28.11.2013 г.) и совершенствование нормативной базы по лизингу ВС могут существенно повлиять на развитие деятельности аэропортов за счет увеличения количества авиакомпаний, в том числе и низкобюджетных, на рынке Украины.

### Научная новизна и практическая значимость

Учитывая полученные результаты анализа роли аэропортов в развитии АТС Украины, предлагается следующая их классификация:

#### 1. По виду деятельности:

А. Коммерческие основные: аэропорты, обслуживающие в основном регулярные рейсы, (доля регулярных рейсов больше доли нерегулярных); количество вылетающих пассажиров не менее 1 млн чел. в год, находятся в регионах с высокими и средними социально-экономическими показателями (определяется по рейтингу регионов страны); код аэродрома по ИКАО не ниже 4D, класс RFFC не ниже 7.

В. Коммерческие: аэропорты обслуживающие регулярные и нерегулярные рейсы, находятся



## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

в регионах с высокими и средними социально-экономическими показателями; код аэродрома по ИКАО не ниже 4С, класс RFFC не ниже 5.

С. Коммерческие грузовые основные: обслуживают регулярные и нерегулярные грузовые рейсы, находятся в регионах с высокими и средними социально-экономическими показателями.

Д. Коммерческие грузовые: обслуживают только грузовые рейсы, находятся в регионах с низкими социально-экономическими показателями.

Е. Авиация общего назначения: аэропорты обслуживающие только нерегулярные рейсы; применение авиации в национальной экономике; обслуживание рейсов бизнес-авиации; тренировочные полеты.

2. По обслуживанию регулярной маршрутной сети:

1) основной авиаузел: не менее 20 % регулярных маршрутов от общего количества регулярных маршрутов по стране.

2) вспомогательный авиаузел: не менее 5 % и не более 20 % регулярных маршрутов от общего количества регулярных маршрутов по стране.

3) второстепенный авиаузел: менее 5 % регулярных маршрутов от общего количества регулярных маршрутов по стране.

Пример результата классификации аэропортов Украины по их роли в авиатранспортной системе страны представлен на рис. 4. Отметим, что результаты получены на основе обработки данных ИКАО, АИР и ГКС Украины.

Приоритетность финансирования определенных классов аэропортов определяется заданными критериями эффективности конкретной государственной программы развития аэропортов.

Например, в условиях ограниченного бюджетного финансирования, пессимистического сценария развития экономики регионов и либерализации авиационного рынка возможна такая приоритетность инвестирования аэропортов (расположено по убыванию приоритетности):

- 1) аэропорты класса A1, A2;
- 2) аэропорты класса B1, B2;
- 3) аэропорты класса B3;
- 4) аэропорты класса C, D;
- 4) аэропорты класса E.

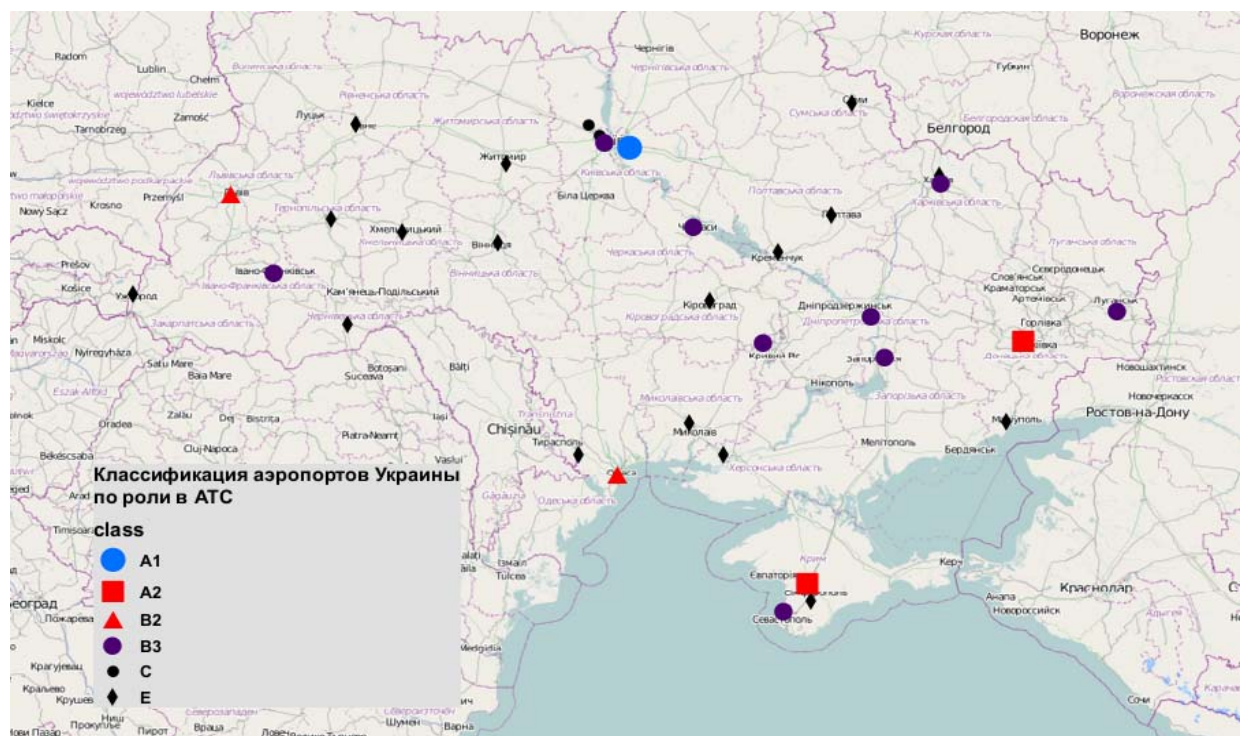


Рис. 4. Пример классификации аэропортов Украины для определения их роли в АТС (количество регулярных маршрутов определено по данным ИКАО 2011 года)

Fig. 4. An example of Ukrainian airports classification for determination of their role in the ATS (number of regular routes is determined according to ICAO, 2011)

## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Такая приоритетность обосновывается предположением, что аэропорты класса А не требуют значительных капитальных вложений в модернизацию их инфраструктуры. А результаты модернизации некоторых процессов путем внедрения современных технологий, например технологий «быстрого путешествия», «e-cargo» [3] будут иметь большую эффективность, учитывая объемы пассажиро- и грузопотоков, в сравнении с аэропортами других классов.

**Выводы**

1. Ограниченные ресурсы финансирования аэропортов в рамках государственной программы модернизации аэропортов порождают задачу определения приоритетности развития аэропортов. Разработка и утверждение на государственном уровне классификации аэропортов для определения их роли в АТС Украины может быть первым этапом решения данной задачи. Примером такой классификации может быть классификация FAA, США.

2. Эффективность деятельности аэропортов зависит от существующего платежеспособного спроса на его услуги. Увеличение количества авиакомпаний, как основных потребителей услуг аэропортов, учитывая современное состояние рынка авиационных перевозок в Украине, возможно либо в условиях либерализации, либо при вложении огромных финансовых ресурсов для создания авиаперевозчиков с разными видами бизнес-моделей.

3. Качественная классификация по предложенным признакам предполагает необходимость создания эффективной государственной статистической базы данных деятельности авиапредприятий.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

- Босов, А. А. Структурная сложность систем / А. А. Босов, В. М. Ильман // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 40. – С. 174–179.
- ВНТП 3-81. Ведомственные нормы технологического проектирования аэровокзалов аэропортов. – М. : МГА, 1982. – 211 с.
- Литвиненко, С. Л. Прикладні аспекти реалізації концепції інформатизації вітчизняних вантажних авіаперевізників / С. Л. Литвиненко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 37. – С. 200–202.
- НПП ГА-85. Наставление по производству полетов в гражданской авиации СССР. – М. : Воздушный транспорт, 1985. – 254 с.
- Про затвердження Правил надання експлуатантам дозволів на виліт з аеропортів України та приліт до аеропортів України : Наказ № 897/703 від 28.11.2005 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z1572-05>. – Загл. с екрана.
- Повітряний кодекс України. Верховна Рада України. Кодекс від 19.05.2011 р. № 3393-VI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3393-17/page4>. – Загл. с екрана.
- Про схвалення Концепції Державної цільової програми розвитку аеропортів на період до 2023 року : Проект постанови Каб. Міністрів України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.mtu.gov.ua/uk/alias\\_50/print/30712.html](http://www.mtu.gov.ua/uk/alias_50/print/30712.html). – Загл. с екрана.
- Рябенко, Т. О. Транспортні рішення аеропорту (на прикладі аеропорту «Бориспіль» м. Київ) [Електронний ресурс] / Т. О. Рябенко // Містобудування та територіальне планування. – К., 2009. – Вип. 34. – Режим доступу: [http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/MTP/2009\\_34/pdf/mtp3461.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/MTP/2009_34/pdf/mtp3461.pdf). – Загл. с екрана.
- ICAO. Air Carrier Statistics - Traffic Data [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://portal.icao.int>. – Загл. с екрана.
- Airport Categories. Federal Aviation Administration web-site [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.faa.gov/airports/planning\\_capacity/passenger\\_allcargo\\_stats/categories/](http://www.faa.gov/airports/planning_capacity/passenger_allcargo_stats/categories/). – Загл. с екрана.
- Kumar, B. An Illustrated Dictionary of Aviation / B. Kumar, D. DeRemer, D. Marshall. – New York : McGraw Hill Professional, 2005. – 752 p. – Режим доступу: <http://www.answers.com/topic/airport-classification>. – Загл. с екрана.
- Malighetti, P. Airport classification and functionality within the European network / P. Malighetti, S. Paleari, R. Redondi // Problems and Perspectives in Management. – 2009. – Vol. 7, № 1. – P. 183–196.
- Wisconsin State Airport System Plan. – Airport Classification Review and Update. Technical Report. – Bangalore : Wilbur Smith Associates, 2010. – 88 p.

К. В. МАРІНЦЕВА<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Організація авіаційних перевезень», Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, Київ, Україна, 03058, тел. +38 (044) 406 70 94, ел. пошта kristin22@ua.fm

## КЛАСИФІКАЦІЯ АЕРОПОРТІВ І ПРІОРИТЕТНІСТЬ ЇХ РЕКОНСТРУКЦІЇ

**Мета.** Для України важливо мати мережу аеропортів, яка б сприяла поточній і довгостроковій реалізації потреб населення та галузей економіки в авіаційних перевезеннях. Дане дослідження направлено на встановлення ознак класифікації аеропортів для визначення їх ролі в розвитку авіатранспортної системи України. **Методика.** У роботі використовувалися методи статистичного аналізу для обробки даних за категоріями продуктивності аеропорту, а також геоінформаційна система для візуалізації даних. **Результати.** Встановлено, що існуючий у нормативній базі поділ аеропортів України на міжнародні та внутрішні, а також на координовані й некоординовані не є актуальним для визначення ролі аеропорту в розвитку авіатранспортної системи країни та пріоритетності у фінансуванні їх модернізації відповідно. Розроблено підхід до визначення ознак класифікації аеропортів шляхом аналізу категорій продуктивності. **Наукова новизна.** Запропоновано ознаки класифікації аеропортів України: за видом діяльності та за обслуговуванням регулярної маршрутної мережі. За видом діяльності пропонується класифікувати аеропорти на: комерційні основні, комерційні, комерційні вантажні основні, комерційні вантажні та авіації загального призначення. За обслуговуванням регулярної маршрутної мережі пропонується розділити аеропорти на: основні, допоміжні та другорядні авіаузли. Наведено приклад класифікації за заданими ознаками. **Практична значимість.** Вона полягає в можливості використання запропонованої класифікації в задачі визначення пріоритетності фінансування аеропортів країни. На відміну від прийнятої практики директивного порядку фінансування в рамках державної програми розвитку аеропортів, пропонується враховувати ту обставину, що відновлення функціонування аеропорту та/або його модернізації повинні бути відповіддю на платоспроможний попит споживачів (у даному випадку – авіакомпаній), які будуть гарантами повернення вкладених інвестицій.

*Ключові слова:* клас аеропорту; ознаки класифікації; аеродроми; пасажиропотік

K. V. MARINTSEVA<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Air Transportation Management», National Aviation University, Kosmonavt Komarov Av., 1, Kyiv, Ukraine, 03058, tel. +38 (044) 406 70 94, e-mail kristin22@ua.fm

## AIRPORTS CLASSIFICATION AND PRIORITY OF THEIR RECONSTRUCTION

**Purpose.** It is important for Ukraine to have a network of airports, which would promote the current and long-term implementation of air transportation needs of the population and the economics. This study aims to establish criteria of airports classification to determine their role in the development of the air transport system of Ukraine. **Methodology.** The methods of statistical analysis were used for the processing of data according to categories of airport productivity and geographic information system for data visualization. **Findings.** It is established that the existing division of Ukrainian airports into international and domestic, as well as into coordinated and non-coordinated ones is not relevant for determining the role of airport in the development of air transport system of the country and accordingly for the priority in financing of their modernization. The approach to the determination of airports classifications using analysis of performance categories was developed. **Originality.** Classification criteria of the airports in Ukraine are proposed: by type of activity and by the maintenance of scheduled route network. It is proposed to classify the airports by the type of activity to the primary commercial, commercial, cargo primary commercial, cargo commercial and general aviation. According to the scheduled route network maintenance it is proposed to classify the airports as the primary, non-primary and auxiliary hubs. An example of classification by the given criteria is submitted. **Practical value.** The value of the obtained results is in the possibility of using the proposed classification in the task of determining the priorities for financing the country's airports. As opposed to the practice of directed funding procedure in the framework of the state program of airports development, it is proposed to take into



## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

account the fact that the resumption of the functioning of the airport and/or its modernization should be as a response to effective demand of consumers (in this case, airlines), which will be the guarantors of investment return.

*Keywords:* class of airport; classification criteria; aerodrome; passenger traffic

## REFERENCES

1. Bosov A.A., Ilman V.M. Strukturnaya slozhnost sistem [Structural complexity of systems]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 40, pp. 174-179.
2. *VNTP 3-81. Vedomstvennyye normy tekhnologicheskogo proyektirovaniya aerovokzalov aeroportov*. [VNTP 3-81. Departmental norms of technological design of terminals at the airports], Moscow, MGA Publ., 1982. 211 p.
3. Lytvynenko S.L. Prykladni aspekty realizatsii kontseptsii informatyzatsii vitchyznianskykh vantazhnykh aviapereviznykiv [Applied aspects of the concept implementation of domestic cargo carriers informatization]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 37, pp. 200-202.
4. *NPP GA-85. Nastavleniye po proizvodstvu poletov v grazhdanskoj aviatsii SSSR* [USSR civil aviation flight operation manual (MFO CA-85)]. Moscow, Vozdushnyy transport Publ., 1985. 254 p.
5. *Pro zatverdzhennia Pravyl nadannia ekspluatantam dozvoliv na vylit z aeroportiv Ukrainy ta prylit do aeroportiv Ukrainy*. [Concerning Approval of the Rules that Grant Permission to Operators for Departure and Arrival in Ukraine Airports]. Available at: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z1572-05> (Accessed 08 January 2014).
6. *Povitrianyi kodeks Ukrainy* [Air code of Ukraine]. Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3393-17/page4> (Accessed 08 January 2014).
7. *Pro skhvalennia Kontseptsii Derzhavnoi tsilovoi prohramy rozvytku aeroportiv na period do 2023 roku* [On the Approval of Concept of State target program of airports development for the period up to 2023]. Available at: [http://www.mtu.gov.ua/uk/alias\\_50/print/30712.html](http://www.mtu.gov.ua/uk/alias_50/print/30712.html) (Accessed 08 January 2014).
8. Riabchenko T.O. Transportni rishennia aeroportu (na prykladi aeroportu «Boryspil» m. Kyiv) [Transport solutions for the airport (on the example of the airport «Borispol», Kyiv)]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia* [Urban and territorial planning], 2009, issue 34. Available at: [http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/MTP/2009\\_34/pdf/mtp3461.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/MTP/2009_34/pdf/mtp3461.pdf) (Accessed 08 January 2014).
9. ICAO. Air Carrier Statistics - Traffic Data. Available at: <https://portal.icao.int> (Accessed 08 January 2014).
10. Airport Categories. Federal Aviation Administration web-site. Available at: [http://www.faa.gov/airports/planning\\_capacity/passenger\\_allcargo\\_stats/categories/](http://www.faa.gov/airports/planning_capacity/passenger_allcargo_stats/categories/) (Accessed 08 January 2014).
11. Kumar B., DeRemer D., Marshall D. An Illustrated Dictionary of Aviation, New York, McGraw Hill Professional Publ., 2005. 752 p. Available at: <http://www.answers.com/topic/airport-classification> (Accessed 08 January 2014).
12. Malighetti P., Paleari S., Redondi R. Airport classification and functionality within the European network. *Problems and Perspectives in Management*, 2009, vol. 7, no.1, pp. 183-196.
13. Wisconsin State Airport System Plan – Airport Classification Review and Update. Technical Report. Bangalore, Wilbur Smith Associates Publ., 2010, 88 p.

*Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Г. Н. Юном (Украина); д.т.н., проф. А. А. Босовым (Украина)*

Поступила в редколлегию 05.02.2014

Принята к печати 21.03.2014

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.424.023.1"401.1"

О. М. БОНДАРЕВ<sup>1\*</sup>, В. Л. ГОРОБЕЦЬ<sup>1</sup>, С. В. МЯМЛІН<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 08, ел. пошта onildpps@gmail.com

<sup>1</sup>Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 08, ел. пошта onildpps@gmail.com

<sup>2</sup>Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 03, ел. пошта sergeymyamin@gmail.com

### МЕТОДИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ З ПОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ТРАНСПОРТУ

**Мета.** Метою роботи є науково обґрунтоване впровадження напрацьованих методик у виконання робіт із подовження призначеного терміну служби одиниць тягового та моторного рухомих складів промислового транспорту. **Методика.** Для досягнення поставленої мети було проведено аналіз напрацьованих методик із подовження призначеного терміну служби тягового та моторного рухомих складів магістрального транспорту; напрацьовані методики під час вирішення питань щодо подовження призначеного терміну експлуатації одиниць рухомого складу було адаптовано відповідно до тепловозів ТГМ6А та тягових агрегатів типу ОПЕ1А. **Результати.** На підставі комплексу проведених експериментальних та теоретичних досліджень отримано результати, які надали підставу для визначення можливості використання напрацьованих методик у вирішенні питань із подовження призначеного терміну експлуатації одиниць рухомого складу стосовно тепловозів ТГМ6А та тягових агрегатів типу ОПЕ1А. **Наукова новизна.** На основі експериментальних і теоретичних досліджень виконано наукове супроводження робіт, що забезпечить подовження призначеного строку служби тягових та моторних одиниць промислового рухомого складу. **Практична значимість.** Розроблено технічні рішення із заходами, які мають виконуватися під час експлуатації в межах подовженого призначеного терміну служби тягових та моторних одиниць промислового рухомого складу підприємств, на яких використовуються тепловози та тягові агрегати.

**Ключові слова:** візки; кузови; розрахункові моделі; експериментальні дослідження; теоретичні розрахунки; тепловози ТГМ6А; тягові агрегати ОПЕ1А; показники міцності

#### Вступ

На всіх підприємствах металургійної галузі України технологічні процеси, поставка готової продукції замовникам, шляхом вивозу її залізничним транспортом на колії примикання магістрального транспорту Укрзалізниці, переважно забезпечується тепловозами серій ТГМ4 та ТГМ6. Загальний парк на провідних підприємствах на-

ближається до ста одиниць. Ці тепловози були виготовлені переважно у вісімдесятих роках минулого сторіччя з призначенням 25-річним терміном експлуатації на підприємствах на території Росії. Подібне спостерігається і у гірнично-збагачувальних комбінатах з тяговими агрегатами серій ПЕ2М та ОПЕ1А виробництва на ДП «НВК Електровозобудування», м. Дніпропетровськ.

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

Вказаний призначений термін експлуатації встановлювався при суттєво завищених значеннях коефіцієнтів запасу міцності та передбачав, що протягом вказаного терміну повинна відбутися заміна парку рухомого складу на нові одиниці, які за техніко-економічними показниками мали відповідати вимогам. На сьогодні більшість вказаних одиниць вичерпали призначений термін служби, і тому вони всі повинні були пройти переосвідцтво на придатність до подальшої експлуатації. Необхідність у приділенні підвищеної уваги до технічного стану таких одиниць рухомого складу, як несучі конструкції візків та кузовів пов'язана з їхнім суттєвим впливом на безпеку руху. До того ж з часом зменшується показники втоми матеріалу елементів конструкцій, збільшується рівень навантажень, що відповідно впливає на стан колій промислових підприємств.

**Мета**

Метою роботи є науково обґрунтоване впровадження напрацьованих методик у виконання робіт з подовження призначеного терміну служби одиниць тягового та моторного рухомого складу промислового транспорту.

**Методика**

Здійснено аналіз напрацьованих методик з подовження призначеного терміну служби тягового та моторвагонного рухомого складу магістрального транспорту [1–3, 8]; адаптовано напрацьовані методик стосовно вирішення питань з подовження призначеного терміну експлуатації одиниць рухомого складу тепловозів ТГМ6А [1, 14] та тягових агрегатів типу ОПЕ1А [10].

Наприкінці ХХ сторіччя фахівцями Дніпропетровського інституту інженерів залізничного транспорту (сьогодні ДНУЗТ) спільно з спеціалістами Південмашу за замовленням Укрзалізниці було розроблено методологію та виконано комплекс робіт, які стали основою встановлення переліку заходів при визначенні залишкового ресурсу основних несучих конструкцій моторвагонного та тягового рухомого складу з вичерпаним призначеним терміном експлуатації [2, 8, 12].

На підставі розроблених та затверджених методик з заходами, що вирішують питання поетапного подовження терміну служби оди-

ниць рухомого складу магістральних залізниць України [1], за замовленням провідного металургійного підприємства, було виконано комплекс робіт стосовно подовження строку служби парку тепловозів серії ТГМ6А [14].

**Результати**

Нижче наведено основні результати досліджень з визначення напружено-деформованого стану та показників втоми матеріалу несучих конструкцій рам візків та кузова тепловозів ТГМ6А [14].

На рис. 1 наведено загальний вигляд тепловоза ТГМ6А зі складом вантажних вагонів, а на рис. 2, 3 – місця розташування вимірювальних пристроїв.



Рис. 1. Загальний вигляд тепловоза ТГМ6А з рухомим складом з вантажних вагонів

Fig. 1. General view of TGM6A locomotive with freight car train

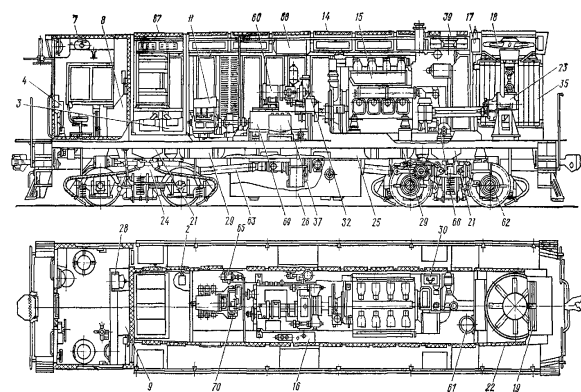


Рис. 2. Основні елементи несучих конструкцій та обладнання тепловоза ТГМ6А

Fig. 2. Basic elements of supporting structures and equipment of TGM6A locomotive

Під час проведення випробувань було застосовно 12 способів для визначення вертикальних

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

зусиль, що діють на рами візків та кузова, а також 18 – для визначення напружень в найбільш навантажених точках рам візків та кузова.

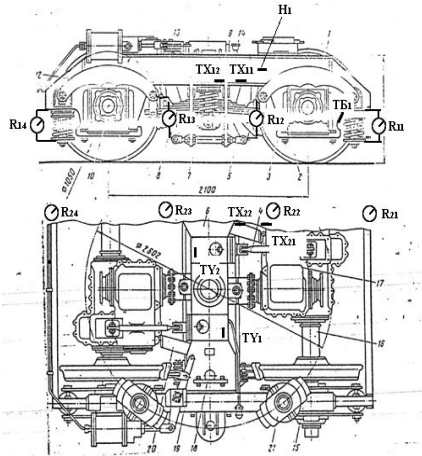


Рис. 3. Розташування вимірювальних пристроїв на рамі візка

Fig. 3. Position of measuring devices on bogie frame

На рис. 4–7 наведено залежності від швидкості руху найбільших напружень, вимірюваних у дослідних поїздах по прямих, в кривих ділянках колії, а також по стрілочних переводах.

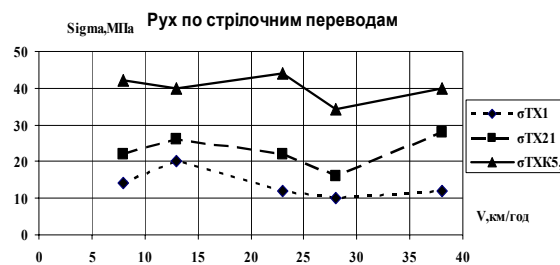


Рис. 4. Найбільші напруження при русі по стрілочних переводах

Fig. 4. Maximal stresses when moving in turnouts

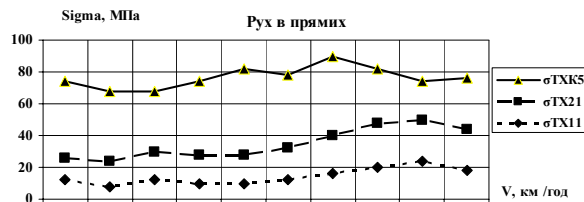


Рис. 5. Найбільші напруження при русі в прямих ділянках колії

Fig. 5. Maximal stresses when moving in straight track sections

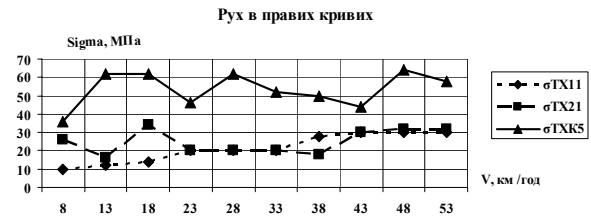


Рис. 6. Найбільші напруження при русі в кривих

Fig. 6. Maximal stresses when moving in curves

З наведених залежностей отримано, що істотний вплив на рівень напружень мають криволінійні ділянки колії. Досить великі складові напружень виникають у перерізах в місцях установки домкратів на поздовжніх балках бічного обшивання, що викликає необхідність посилення цих перерізів з метою зниження рівнів напружень.

Для оцінки впливу складу вантажних вагонів на рівень навантаженості несучих конструкцій тепловоза було здійснено відповідну дослідну поїздку. При цьому склад поїзда було сформовано з 25 завантажених піввагонів, тепловоза ТГМ6А та вагона – лабораторії ДНУЗТа. Загальна вага поїзда складала 2 270 т.

На рис. 7–8 наведено найбільші напруження в елементах несучих конструкцій рами візка та кузова при русі у складі поїзда.

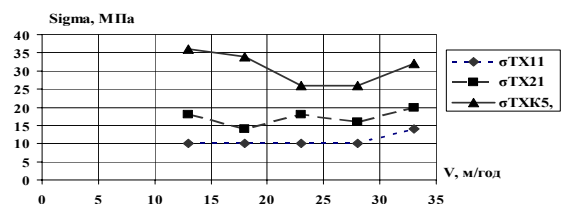


Рис. 7. Найбільші напруження при русі в прямих ділянках колії

Fig. 7. Maximal stresses when moving in straight track sections

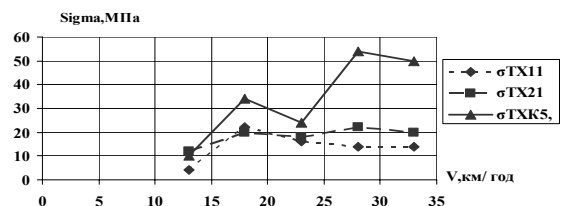


Рис. 8. Найбільші напруження при русі в кривих

Fig. 8. Maximal stresses when moving in curves

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

Порівняння рівнів напружених станів елементів несучих конструкцій виявило, що найбільша навантаженість в основних елементах несучих конструкцій рам візків та рами кузова формується при поїздках по внутрішньозаводських коліях під час вивозу шлаку у відвал. Тому при визначенні коефіцієнтів запасу міцності режим руху зі складом завантажених піввагонів у тій кількості, яка знаходиться в роботі при забезпеченні технологічних циклів, напружений стан цього режиму можна не враховувати.

На рис. 9–10 наведено зміни коефіцієнтів динаміки горизонтальних поперечних рамних зусиль, зусиль у надбуксовому підвішуванні та зусиль взаємодії рами кузова та рами візка залежно від швидкості руху при рухові у складі поїзда.

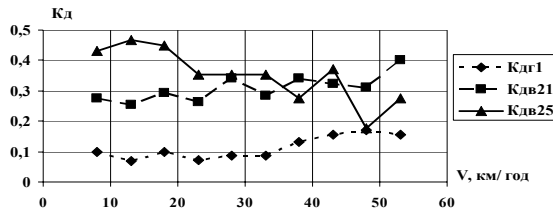


Рис. 9. Зміна коефіцієнтів динаміки горизонтальних поперечних рамних та вертикальних зусиль при рухові в прямих ділянках колії

Fig. 9. Change of horizontal dynamic coefficients of transverse and vertical frame forces when moving in straight track sections

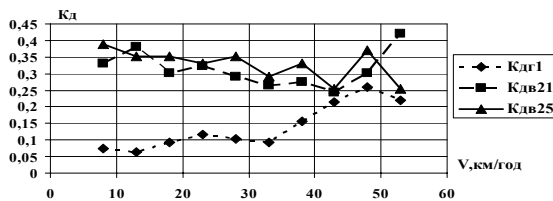


Рис. 10. Зміна коефіцієнтів динаміки горизонтальних поперечних рамних та вертикальних зусиль при рухові в кривих ділянках колії

Fig. 10. Change of horizontal dynamic coefficients of transverse and vertical frame forces when moving in curved track sections

З наведених на рис. 9–10 результатів маємо, що в робочому діапазоні швидкостей руху тепловозів ТГМ6А значення коефіцієнтів динаміки в більшості випадків перевищують нормативні показники [9].

Для виконання міцносних розрахунків елементів несучих конструкцій рами кузова здійс-

нено статистичну обробку значень зусиль, які створюються у автозчепному пристрої  $S_a$ . На рис. 11–12 наведено розподіл густин ймовірностей створення найбільших значень розтягуючих та стискаючих зусиль.

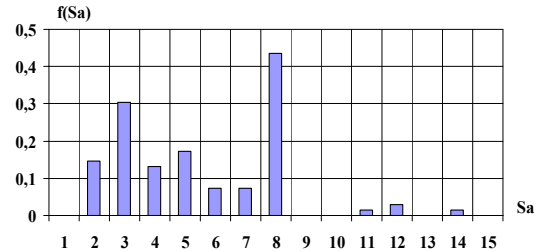


Рис. 11. Розподіл густин ймовірностей розтягуючих зусиль з боку автозчепу в умовах експлуатації

Fig. 11. Probability density distribution of tensile efforts from the coupling during operation

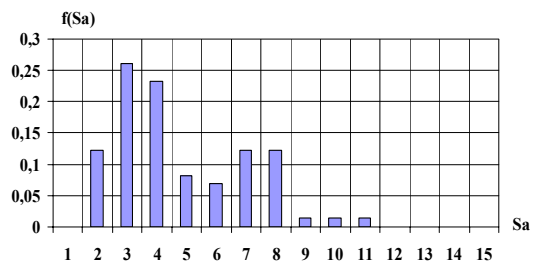


Рис. 12. Розподіл густин ймовірностей стискаючих зусиль з боку автозчепу в умовах експлуатації

Fig. 12. Probability density distribution of compressing efforts from the coupling in operation

На основі креслярських документів несучих конструкцій кузова тепловоза було створено її твердотільну модель [11] та розрахункову скінченно-елементну схему [5, 6] (рис. 13). Розроблена скінченноелементна схема складається з 2 310 пластинчатих скінченних елементів.

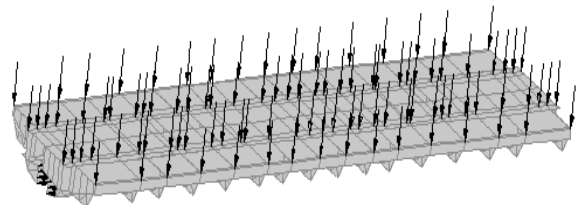


Рис. 13. Розрахункова скінченно-елементна схема та схема навантаження рами кузова тепловоза:

Fig. 13. Calculation finite-element scheme and the scheme of loading of locomotive body frame

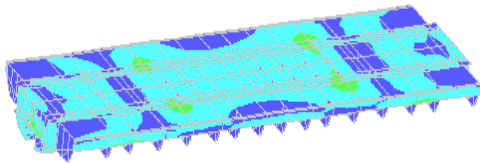


## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

Розрахункова схема, граничні умови закріплення та способи прикладання навантажень обиралися таким чином, щоб найкраще відображалися основні особливості роботи конструкції в умовах експлуатації. Головною метою розрахунків напруженого стану елементів несучої конструкції (далі НК) є виявлення місць в елементах конструкції з найбільшими напруженнями.

Напружений стан елементів рами кузова оцінювався при дії нормативних видів навантаження. На рис. 14 зображено поля розподілу напружень в рамі кузова тепловоза при навантаженні за першим розрахунковим режимом [9].

*a – a*



*б – б*

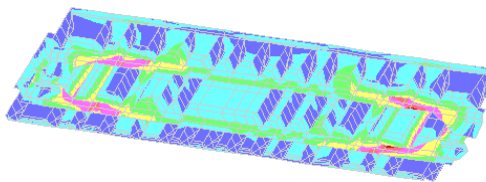


Рис. 14. Напружений стан рами кузова тепловоза ТГМ6А: *a* – вигляд зверху; *б* – вигляд знизу

Fig. 14. Stress state of body frame for TGM6A locomotive: *a* – top view; *b* – bottom view

В табл. 1 наведено найбільші еквівалентні напруження в елементах рами кузова тепловоза.

Для розробки розрахункової схеми визначення напружено-деформованого стану несучих конструкцій рами візка було враховано, що рама тепловоза з кузовом спирається на два двовісні візки однакової конструкції з щелепними буксами та з одноступеневим ресорним підвішуванням [7]; рама візка складається з двох боковин, з'єднаних між собою литою шворневою балкою та двома кінцевими балками зі швелера № 12. За конструктивними особливостями шворнева балка працює тільки на дію поздовжнього навантаження та при цьому не сприймає вертикальних зусиль тому, що шворнінь не спирається на дно гнізда.

Вага кузова та його обладнання передається до рам візків за допомогою опор, розташованих навколо шворня.

Таблиця 1

**Еквівалентні напруження в елементах конструкції кузова**

Table 1

**Equivalent stresses in elements of body construction**

№ пор.	Вузол або елемент конструкції	Напруження, МПа
1	Стяжна шухляда	120–140
2	Поздовжня балка	70–180
3	Бічна балка	40–65
4	Поперечні листи (поміж поздовжніми балками)	40–140
5	Фігурні кронштейни	40–95
6	Сталеві листи (підлога рами)	75–90

Боковини рами, зварені з листової сталі марки СтЗ, мають коробчастий переріз з ввареними литими буксовими щелепами.

Вертикальне навантаження, що передається на кожний візок тепловоза за допомогою шарових опор становить 343 кН (35 тс), кожна опора приймає навантаження у 85,75 кН (8,6 тс).

Так само, як і для рами кузова було розроблено твердотільну модель та відповідну розрахункову скінченно-елементну схему, яка наведена на рис. 14.

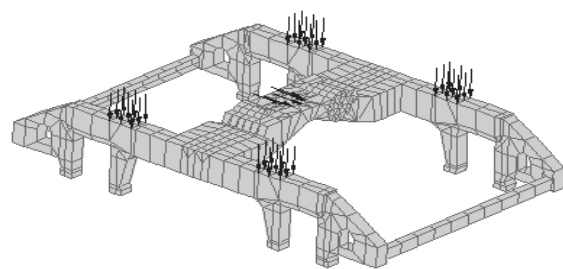


Рис. 14. Розрахункова схема навантаження рами візка

Fig. 14. Calculation scheme of bogie frame loading

В реальній конструкції передача вертикального навантаження від рам візків до колісних пар відбувається через пружини. В розрахунковій схемі в цих перерізах встановлено стержні, вертикальна жорсткість яких відповідає вертикальній жорсткості пружин.

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

Напружений стан елементів рам візків тепловоза ТГМ6А оцінювався при дії нормативних видів навантажень відповідно до першого розрахункового режиму [9].

На рис. 15 зображено розподіл напружень в рами візка при навантаженні за першим розрахунковим режимом [9].

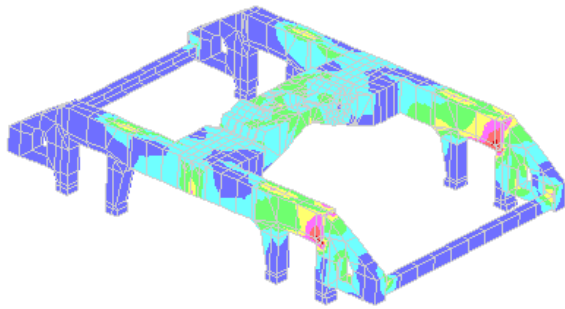


Рис. 15. Напружений стан рами візка тепловоза ТГМ6А

Fig. 15. Stress state of bogie frame for locomotive TGM6A

В табл. 2 наведено значення найбільших еквівалентних напружень в елементах рам візків тепловоза.

Таблиця 2

**Еквівалентні напруження в елементах рам візків**

Table 2

**Equivalent stress in elements of bogie frame**

№ пор.	Вузол (елемент) конструкції	Максимальні напруження, МПа
1	Шворнева балка (область підп'ятника)	80–120
2	Бічна балка (зварні шви з щелепами)	180–200
3	Поперечні кінцеві балки (зварні шви з щелепами)	80–120

За результатами досліджень було зроблено висновки:

1. Найбільш навантаженими елементами рам кузовів тепловозів ТГМ6А є їхні основні поздовжні балки.

2. Найбільш навантаженими елементами рам візків тепловозів ТГМ6А є зварні шви щелеп.

3. Напруження в найбільш навантажених елементах конструкції екіпажу на 7–10 % перевищують нормативні значення [9], які визначено

для найбільш низькоякісних сталей, що використовуються в локомотивобудуванні. Це потребує більш уточненого врахування комплексу динамічних навантажень, які виникають в елементах екіпажної частини тепловоза в експлуатації.

Розглянемо питання використання методики порівняльної оцінки навантаженості елементів рами кузова тепловоза з метою вирішення питань оцінки ресурсу та строку їх служби [1, 3].

Будь-яка ідеально спроектована зварна конструкція не може бути рівномірною. Цьому сприяють такі причини:

– неможливість на етапі проектування точного врахування всього просторового комплексу навантажень, що діють на кузов рухомого складу;

– неоднорідність конструкції рами рухомого складу та, відповідно, різний вплив навантажень визначеного типу на один і той самий елемент конструкції;

– бажання конструкторів створити найбільш легку за вагою конструкцію сприяє неусвідомленому послабленню міцності другорядних елементів;

– наявність зварних та інших з'єднань, які послаблюють матеріал елементів конструкцій рухомого складу.

Таким чином у будь-якій складній конструкції буде присутній «слабкий» елемент (СЕ), з якого починатиметься руйнування конструкції від навантажень, що діють в умовах експлуатації.

«Слабким» елементом будемо вважати частину конструкції, яка внаслідок діючих на неї навантажень та особливостей її геометричних та механічних характеристик, зазнає найбільш раннього руйнування в процесі експлуатації.

Будемо вважати конструкцію такою, яка має додатний баланс ресурсу, якщо співвідношення ресурсу «слабкого» елемента та основних елементів несучих конструкції, що визначають її перехід в граничний стан [9], підпорядковується співвідношенню

$$b_i = \frac{R_i}{R_{\min}} = \frac{D_{\min}}{D_i} > 1 \quad (1)$$

де  $b_i$  – коефіцієнт балансу ресурсу для  $i$ -го основного несучого елемента конструкції;  $R_i$  – ресурс (в тому числі остаточний) основного елемента конструкції;  $D_i = \Sigma \sigma^m p$  – питоме (за

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

період часу) напруження основного елемента конструкції в циклах ( $p$  – імовірність появи напруження рівня  $\sigma$ );  $R_{min}$ ,  $D_{min}$  – теж, відповідно, для «слабкого» елемента несучої конструкції.

Зв'язок ресурсу та напруження (1) впливає з того, що вираз напруження в одиницях часу є оцінкою ресурсу, тобто

$$R_i = \frac{\Delta T D_{\Sigma}}{D_i}, \quad (2)$$

де  $\Delta T$  – період часу, до якого відноситься напруження  $D_i$ ;  $D_{\Sigma}$  – сумарне напруження матеріалу до відмови.

У випадках, коли виникає необхідність визначення положень найбільш напружених перерізів елементів складних конструкцій, до яких відносяться одиниці рухомого складу, під час динамічних навантажень в процесі коливань та використання МСКЕ, розрахункові схеми таких складних систем наводяться у вигляді систем з кінцевою кількістю ступенів вільності. Поведінок такої системи можна вивчати за допомогою математичної моделі, до складу якої увійде система диференціальних рівнянь у вигляді [14]

$$\mathbf{B}\ddot{\mathbf{y}}(t) + \mathbf{y}(t) = \mathbf{B} P(t), \quad (3)$$

де  $\mathbf{B}$  – матриця коефіцієнтів впливу переміщень;  $\mathbf{M}$  – діагональна матриця мас;  $\mathbf{y}(t)$  – вектор переміщень системи;  $P(t)$  – вектор зовнішнього навантаження.

Для визначення власних форм та частот коливань таких систем слід знайти розв'язок системи рівнянь вигляду (3)

$$\bar{\mathbf{B}}\bar{\mathbf{M}}\mathbf{v} - \lambda\mathbf{v} = 0, \quad (4)$$

де  $\bar{\mathbf{B}}$  – нормована матриця коефіцієнтів впливу переміщень;  $\bar{\mathbf{M}}$  – нормована матриця мас;  $\mathbf{v}$  – вектор форм власних коливань системи;  $\lambda$  – власні числа.

Оцінку власних чисел  $\lambda$  можна зробити, як середнє відношення прикладеного інерційного навантаження до переміщення, яке викликано цим навантаженням

$$\lambda = \frac{\sum_k \bar{\mathbf{B}}\bar{\mathbf{M}}\ddot{\mathbf{y}}(t)}{\sum_k \mathbf{y}(t)}. \quad (5)$$

При цьому частота  $f$  власних коливань конструкції може бути визначена з співвідношення

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\sum_k \mathbf{B}\ddot{\mathbf{y}}(t)}{\sum_k \mathbf{y}(t)}}. \quad (6)$$

Форму коливань конструкції локомотива, як твердого тіла, можна надати у вигляді суми двох складових

$$\mathbf{y} = \mathbf{y}_m + \mathbf{y}_d, \quad (7)$$

де  $\mathbf{y}_m$  – макропереміщення точок (вузлів) конструкції під дією навантаження внаслідок деформування ресорного підвішування;  $\mathbf{y}_d$  – переміщення вузлів конструкції внаслідок її власної деформації. З врахуванням малості другої складової суми у виразі (7) для вказаних форм коливань з достатнім ступенем точності можна скласти вираз

$$\omega^2 \mathbf{B}\ddot{\mathbf{y}}_m + \mathbf{y}_m = 0. \quad (8)$$

Таким чином, для визначення форм коливань конструкції, як твердого тіла, до неї слід прикласти інерційне навантаження, подібне розподілу макропереміщень конструкції під її дією.

Це спрощення може бути застосовано також для перших форм згину та кручення конструкції кузова локомотива, що є достатнім під час оцінки динамічної навантаженості його основних несучих конструкцій, для яких характерним буде рух з переважною участю перших (нижчих) форм та частот коливань.

У випадку, коли відомий достатній для аналізу динаміки конструкції набір власних форм та частот її коливань, система рівнянь (3) зводиться до системи незалежних диференціальних рівнянь вигляду

$$\Lambda \ddot{\mathbf{q}}(t) + \frac{\mathbf{q}(t)}{\delta_0 m_0} = \frac{1}{m_0} \mathbf{V}^T \bar{\mathbf{B}}\bar{\mathbf{M}} P(t), \quad (9)$$

де  $\Lambda$  – діагональна матриця власних чисел;  $\mathbf{q}$  – вектор головних координат (переміщень);  $\delta_0$  – нормуючий коефіцієнт матриці піддатливості;  $m_0$  – нормуючий коефіцієнт матриці мас системи;  $\mathbf{V}^T$  – транспонована матриця власних форм коливань.

Оцінювання максимального напруження в основній несучій конструкції визначається через напруження в «слабкому» елементі (СЕ) та співвідношення величин напружень в основній констру-



## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

кції і СЕ для несприятливої форми коливань у вигляді

$$s \geq \frac{T_{\xi}}{T_{\min \xi}} s_{\min} . \quad (10)$$

З метою запобігання виконання повного аналізу НДС всіх елементів та вузлів конструкції кузова локомотива, у випадку, коли немає необхідності локалізації прогнозованого місця руйнування, достатньо виконати дослідження напруження в найбільш навантаженій точці конструкції, такої, що  $\|T_{\xi}\| = \max(T_{\xi})$ . Звідки остаточно отримуємо розрахункову формулу для порівняльної оцінки навантаженості основних несучих конструкцій і «слабкого» елемента

$$s_E \leq \frac{\|T_{\xi}\|}{T_{\min \xi}} s_{\min} . \quad (11)$$

Верхня оцінка напрацювання основних елементів конструкції буде визначена як

$$D = \sum_j s_j^m N_j = \left( \frac{\|T_{\xi}\|}{T_{\min \xi}} \right)^m \sum_j s_{\min j}^m N_j = \left( \frac{\|T_{\xi}\|}{T_{\min \xi}} \right)^m D_{\min} \quad (12)$$

Вираз, що встановлює зв'язок між ресурсом найбільш навантаженої точки основної несучої конструкції з ресурсом «слабкого» елемента,

$$R = \left( \frac{T_{\min \xi}}{\|T_{\xi}\|} \right)^m R_{\min} . \quad (13)$$

З врахуванням фактичного місця розташування датчика (співвідношення напружень по формі коливань в його розташуванні та максимальним напруженням в перерізі балки) та наявності концентраторів напружень в області «слабкого» елемента і в основній несучій конструкції кузова тепловоза, формула (13) доповнюється коефіцієнтами перерахунку за співвідношенням

$$R = \left( \frac{T_{\min \xi} k_{S \min} k_{K \min}}{\|T_{\xi}\| k_{K \xi}} \right)^m k_n^{-1} R_{\min} . \quad (14)$$

В цій формулі:  $k_{K \xi}$  – найбільший коефіцієнт концентрації напружень в основній несучій конструкції кузова тепловоза (у разі потреби оцінки ресурсу його зварних з'єднань);  $k_{S \min} = \sigma_{\xi \max} / \sigma_{\xi 0}$  – відношення максимального напруження в перерізі «слабкого» елемента  $\sigma_{\xi \max}$  при несприятливій формі коливань  $\xi$  конструкції кузова тепловоза до напруження  $\sigma_{\xi 0}$  (для тієї самої форми коливань) в місці розташування датчика в області «слабкого» елемента (коефіцієнт розподілу напружень по перерізу);  $k_{K \min}$ ,  $k_{K \xi}$  – коефіцієнти концентрації напружень в області «слабкого» елемента конструкції кузова тепловоза і основної несучої конструкції (НК);  $k_n \leq [k_{\sigma}]^m = 1 \div 16$  – коефіцієнт надійності розрахунку напрацювання, пов'язаний з коефіцієнтом запасу витривалості, величина якого обирається з умов та характеру експлуатації НК, стану та віку несучих конструкцій, а також забезпечення безпеки руху на магістральних коліях УЗ.

Виконання динамічних міцносних ходових випробувань тепловоза ТГМ6А виявило, що незадовільний стан колій промислового підприємства сприяє підвищенню показників його динамічності. В зв'язку з такою ситуацією відповідним чином обирається зовнішнє навантаження, що формує динамічну навантаженість конструкції кузова тепловоза:

- квазістатичне навантаження від реалізації максимальної сили тяги;
- вертикальні зусилля в підвішуванні;
- горизонтальні поперечні (рамні) сили.

Для виконання подальшого розрахунку навантаженості елементів рами кузова тепловоза слід визначити режим його руху, що найбільше навантажує основні поздовжні балки рами його кузова.

Оцінка напрацювання, яка сприймається основними поздовжніми балками кузова тепловоза, виконується за даними натурних випробувань на основі розрахунку питомого (на один цикл коливань) напрацювання в точках ТХК4, ТХК5 розташованих в області «слабкого» елемента і в одній з найбільш навантажених частин основної поздовжньої балки.

При цьому відповідно до норм [9], в перерізі «слабкого» елемента враховувався коефіцієнт концентрації напружень за формулою

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

$$K_{\sigma} = \frac{K_1 K_2}{\gamma m} \beta_K \eta, \quad (15)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт, який враховує вплив неоднорідності матеріалу деталі. Для прокату, поковки та штамповки  $K_1 = 1,1$ ;  $K_2$  – коефіцієнт, який враховує вплив внутрішніх напружень в деталі. Величина  $K_2$  залежить від поперечних розмірів деталі (до 250 мм,  $K_2 = 1,0$ ). Величина  $m$  приймається залежно від класу обробки деталі; для грубої станочної обробки  $m = 0,85$ . Коефіцієнт  $\gamma = 0,54$  враховує розмірний фактор. Величина  $\beta_K = 1,0$  враховує геометричні концентратори напружень в конструкції (в даній точці відсутні);  $\eta = 1,0$  – коефіцієнт, який залежить від імовірності руйнування деталі.

Приймаємо для точок  $K_{\sigma TХK4} = 2,4$ ;  $K_{\sigma TХK5} = 2,4$ . При порівняльному розрахунку коефіцієнти концентрації враховуватися не будуть.

Результати розрахунку напруження найбільш навантажувальних для основних поздовжніх балок рами кузова дослідів наведено в табл. 3. В цій таблиці прийняті позначення:  $\sigma_j$  – розряд (квантіль) напруження симетричного циклу, що спостерігається у точці конструкції;  $p_j$  – імовірність появи напруження величини  $\sigma_j$ .

Таблиця 3

**Порівняльна оцінка питомого напруження в точках ТХК4 і ТХК5, отриманих під час натурних випробувань**

Table 3

**Comparative evaluation of specific running time in the points TKHK4 and TKHK5, obtained during actual testing**

№ пор.	Дослід	Запис	Показник степіня $m$	Питоме (на 1 цикл коливань) напруження $D_E = \sum_j \sigma_j^m p_j$ , МПа <sup>4</sup>		
				Точка ТХК4	Точка ТХК5	$D_{TХK5}/D_{TХK4}$
1	6	3		346,36	9 604,25	27,7
2	9	2		998,75	28 980,41	29,0

Примітка: напруження від ваги кузова тепловоза прийняті за результатами його розрахунку на міцність та становлять для точки ТХК4 – 78 МПа, для ТХК5 – 50 МПа.

За даними реалізацій була виконана перевірка методики порівняльної оцінки ресурсу несучих конструкцій.

На рис. 15 та 16, з запасом по амплітуді, наведено розподіл еквівалентних напружень в точках ТХК4 та ТХК5 відповідно.

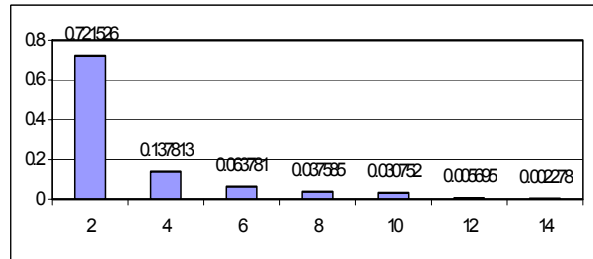


Рис. 15. Гістограма розподілу напружень в області основної несучої конструкції ТХК4

Fig. 15. Histogram of stress distribution in the area of basic supporting structure TKHK4

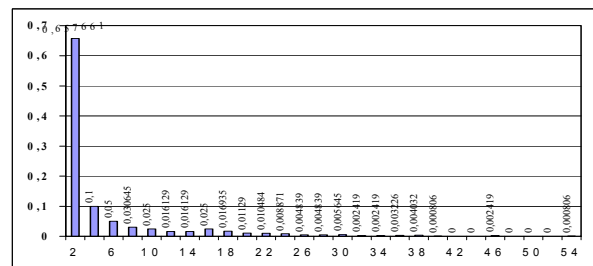


Рис. 16. Гістограма розподілу напружень в області «слабкого» елемента ТХК5

Fig. 16. Histogram of stress distribution in the area of «weak» TKHK5

Результати обробки дослідних даних відносно зв'язку показників навантаженості «слабкого» елемента ТХК5 та у еталонній точці ТХК4 наведено на рис. 17.

З аналізу (рис. 18) випливає, що напруження в «слабкому» елементі пов'язані з напруженнями в контрольній точці основної поздовжньої балки, в основному в області низьких (до 3,5 Гц) частот. При цьому зміна модуля взаємного спектра складає в цьому діапазоні до 20 дБ. Крім діапазону низьких частот слід відмітити область (6,5–8,2 Гц) та частоту першого згинального тону ( $\approx 12,8$  Гц), де функція когерентності має значиму величину ( $> 0,6$ ). Таким чином, подальший аналіз енергії коливань з метою оцінки впливу форм коливань кузова тепловоза на його напружено-деформований стан слід виконувати в діапазонах частот, наведених в табл. 4.

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

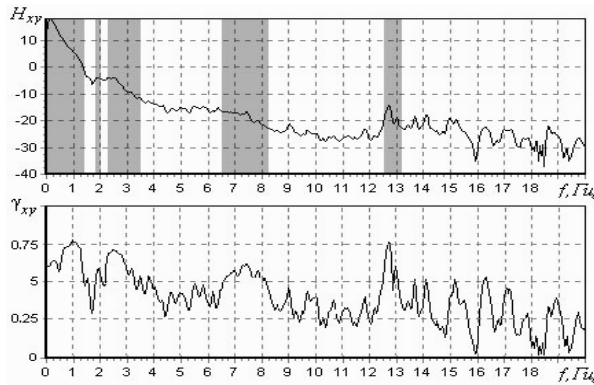


Рис. 17. Взаємна спектральна щільність  $H_{xy}$ , [дБ] та функція когерентності  $\gamma_{xy}$  напруження в «слабкому» ланцюзі ТХК4 і контрольній точці ТХК5 основної поздовжньої балки тепловоза

Fig. 17. Cross spectrum density  $H_{xy}$  [dB] and the coherence function of  $\gamma_{xy}$  stress in the «weak» element ТХК4 and control point ТХК5 of the basic longitudinal beam of locomotive

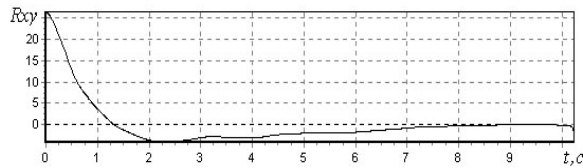


Рис. 18. Функція взаємної кореляції  $R_{xy}$  [МПа<sup>2</sup>с] напруження в «слабкому» ланцюзі ТХК4 і контрольній точці ТХК5 основної поздовжньої балки тепловоза

Fig. 18. Mutual correlation function  $R_{xy}$  [MPa<sup>2</sup>c] of stress in the «weak» element ТХК4 and control point ТХК5 of the basic longitudinal beam of locomotive

Таблиця 4

**Діапазони частот, при яких контрольовані напруження  $\sigma_{ТХК4}$  та  $\sigma_{ТХК5}$  взаємно корелюють**

Table 4

**Spectrum of frequencies, at which controlled stresses  $\sigma_{ТХК4}$  and  $\sigma_{ТХК5}$  mutually correlate**

№ пор.	Частотний діапазон, Гц	Примітки
1	0–3,5	Область частот коливань локомотива як твердого тіла
2	6,5–8,2	Область можливого діапазону роботи обладнання, можливо, перша форма кручення
3	12,5–13,3	Область першого тону коливань поздовжнього згину рами тепловоза

Отримана функція взаємної кореляції (рис. 18) наближається до ланцюга лінійного підсилювання у декотрій смузі частот, що попередньо підтверджує можливість застосування співвідношення (13) до порівняльної оцінки ресурсу конструкції кузова тепловоза ТГМ6А за методом «слабкого» елемента.

Наведемо за цією методикою результати розрахунку ресурсу основних несучих конструкцій та призначення подовження строків служби тепловозів ТГМ6А

З врахуванням експлуатаційних даних про руйнування в області бічної поздовжньої допоміжної балки та даних про негативний баланс співвідношень напрацювань, слід зробити висновки про необхідність врахування залишкових напружень в області стикових зварних з'єднань частин поздовжньої балки.

Відповідно до [1, 8] напруження в області «слабкого» елемента з врахуванням залишкових напружень в області зварних швів та характеру впливу статичних складових напружень на ресурс визначаються як

$$\sigma_o = (0,3 \div 0,4) \sigma_T \psi = 0,4 \cdot 240 \cdot 0,3 = 28,8 \text{ МПа} \quad (16)$$

$$T_{\min \xi} = \sigma_{\min \xi} + \sigma_o$$

Далі, на основі виконаних спектрального та частотного аналізів циклічних напружень кузова тепловоза було визначено, що під час оцінки його ресурсу необхідно брати до уваги його коливання як твердого тіла.

В табл. 5 наведено результати для оцінки ресурсу кузова тепловоза ТГМ6А, які отримані на основі результатів табл. 4 та співвідношення (16).

В формулі (14) позначимо

$$C_{CR} = \left( \frac{T_{\min \xi} k_{S \min} k_{K \min}}{\|T_{\xi}\| k_{K \xi}} \right)^m k_n^{-1}. \quad (17)$$

В розрахунках приймалося, що коефіцієнти  $k_{K \min} = 1$ ,  $k_{K \xi} = 1$ .

Згідно з даними цієї таблиці, найбільш несприятливим відносно до напрацювань в «слабкому» елементі та в основних поздовжніх балках є коливання галопування, при цьому позитивний баланс напрацювання складає 1,89.

На основі обробки даних експлуатаційної статистики, з імовірністю 0,997, мінімальний час появи тріщин визначено за формулою

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

$$R_{\min} = \bar{R}_{\min} - 3 \delta_{\min}, \quad (18)$$

де  $R_{\min}$  – середній вік руйнування,  $\delta_{\min}$  – дисперсія віку руйнування.

Таблиця 5

## Вихідні дані для оцінки ресурсу кузова

Table 5

## Output data for assessing body resource

№ пор.	Форма коливань	Напруження $T_{\min}, \text{МПа}$	Коефіцієнт		
			$k_{S\min}$	$k_n$	$C_{CR}$
1	Підстрибування	39,2	1,02	1,0	1,91
2	Галопування	33,9	1,03	1,0	1,89
3	Поперечний віднос	49,3	1,0	1,0	1,97
4	Перевалка	30,4	2,22	10,0	140,9
5	Виляння кузова	50,0	1,0	1,0	1,95

Таблиця 6

## Оцінка ресурсу кузова тепловозів ТГМ6А підприємства, що обстежувалися

Table 6

## Assessing of the body resource of TGM6A locomotives of enterprise that were tested

№ експлуатаційної групи	Склад експлуатаційної групи	Нижня границя віку руйнування	Уточнен коеф. $k_n$	Коеф. $C_{CR}$	Оцінка ресурсу, роки	Залишковий ресурс, роки
1	157,204	23,3	1,2	1,55	36	5
2	557, 701, 794, 837, 862, 954, 1 012–1 014, 1 265, 1 266, 1 454	18,7	1,07	1,76	33	10
3	1 748	–	–	–	30	19

\*Примітка: значення коефіцієнта  $k_n$  обрано з врахуванням різного ступеня морального та фізичного зносу екіпажної частини тепловозів з врахуванням того, що вони експлуатуються без виходу на магістральні колії УЗ.

На рис. 19 зображено загальний вигляд тягового агрегату ОПЕ1АМ [15].



Рис. 19. Загальний вигляд тягового агрегату ОПЕ1АМ

Fig. 19. General view of traction aggregate OPE1AM

З метою визначення можливості подовження терміну експлуатації тягових агрегатів ОПЕ1АМ з прийнятими методиками [8, 14] було здійснено обстеження стану його несучих конструкцій та виявлено, що вони не зазнали суттєвого корозійного пошкодження.

Для виконання розрахунків ресурсу були використані дані попередніх випробувань, а також результати з визначення границі витривалості на основі вимірювання твердості матеріалу основних несучих конструкцій [12, 16].

Оцінку показників міцності несучих конструкцій рам візків електровоза управління, дизельної секції, моторного думпкара та рами кузова електровоза управління виконано на основі динамічних ходових випробувань, а також аналітичних розрахунків несучих конструкцій рам кузовів інших одиниць тягового агрегату відповідно до Норм [9] за допомогою метода скінчених елементів.

В рамках виконання робіт з використання непрямих методів контролю ресурсу несучих конструкцій електропоїздів ЕР1, ЕР2, ЕР9 [12], на базі випробувальної лабораторії ДКБ «Південне» (ДП Південний машинобудівний завод)

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

було здійснено лабораторний експеримент із порівняльною оцінкою твердості плоских стандартних зразків до та після випробувань. Плоскі зразки були вирізані з низьколегованої малоуглецевої листової сталі 20ГФЛ. Результати порівняння твердості зразків наведені на рис. 20. Для наведених даних отримані математичні очікування і стандарти відхилення, які склали:

– зразок перед випробуваннями: математичне очікування твердості –  $Mx = 167 \text{ HB}$ , стандарт відхилення  $S = 3 \text{ HB}$ ;

– зразок після випробувань: математичне очікування –  $Mx = 163 \text{ HB}$ , стандарт відхилення  $S = 5 \text{ HB}$ .

З урахуванням отриманих величин стандартів відхилень, зміна твердості за Бринелем рам візків і зразків перебуває в межах статистичної похибки. Більше того, характер зміни твердості в наведених випадках протилежний.

Порівняння результатів, отриманих з вимірювання твердості екземплярів рам візків електропоїздів ЕР1 та зразків, з якими виконувалися випробування, не дозволяє зробити висновки про можливість використання твердості металу за Бринелем як основу одного з методів неруйнівного контролю ресурсу несучої конструкції. У той же час, вимірювання поверхневої мікротвердості пропонується як один з можливих способів неруйнівної технології контролю ресурсу матеріалів (хоча з урахуванням звичайного стану поверхні НК рухомого складу, така технологія буде складною в застосуванні).

З метою виявлення залежності між границею витривалості та границею текучості було виконано випробування, які склалися з двох етапів:

1. Визначення режиму  $\sigma_p$  та кількості руйнівних циклів  $N_R(\sigma_p)$  при зазначеному навантаженні.

2. Прикладення напруження в об'ємі 85, 90, 95 % від  $N_R(\sigma_p)$  з наступним випробуванням зразків на статичне розтягування.

Результати, отримані в роботі [12], можуть дати певне уявлення щодо характеру зміни твердості матеріалу в процесі напруження (хоча, очевидно, внаслідок невеликого відхилення значень від вихідних, не можуть бути визнані єдиним критерієм оцінки напруження та ресурсу).

Результати, нормовані відносно вихідних величин твердості, наведено в табл. 7.

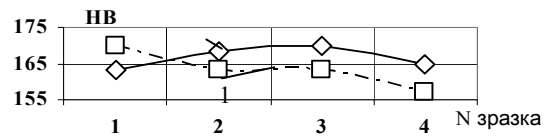


Рис. 20. Твердість за Бринелем (HB) плоских сталевих зразків на початку циклічного навантаження (лінія 1) і після руйнування (лінія 2)

Fig. 20. Brinell hardness (HB) of flat steel samples at the beginning of cyclic loading (line 1) and after destruction (line 2)

Таблиця 7

Відносна зміна твердості зразків з малоуглецевої сталі в процесі напруження

Table 7

Relative hardness change of samples from low-carbon steel in the process of working

№ пор.	Параметр	Значення, %	
		Вихідний стан	Перед руйнуванням
1	Твердість (HB)	100	97,6
2	Серед. квад. відхил. (HB)	1,79	3,1

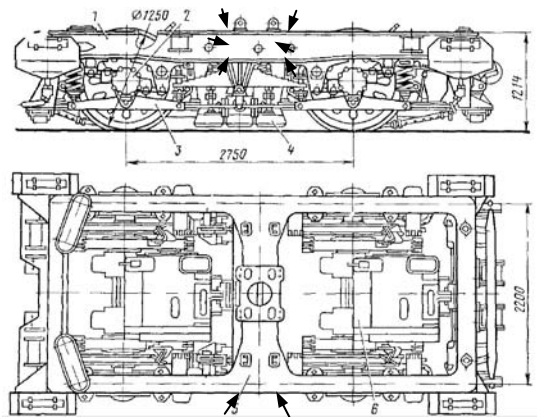


Рис. 21. Місця вимірювання твердості матеріалу на візках електровоза управління, дизельної секції та моторного думпкара

Fig. 21. Places of hardness measuring of materials on the bogies of control electric locomotive, diesel section and the motor dumping car

З метою оцінки можливості зміни за час експлуатації міцносних характеристик металу рам візків виконано вимірювання твердості металу. Несучі конструкції виготовлено з гарячекатаної сталі марки 16Д ГОСТ 6713-91.

Таблиця 8

## Величини твердості матеріалу несучих конструкцій рам візків

Table 8

## Hardness coefficients of supporting structure material of the bogie frames

№ візка	Верхня полиця		Бічна стінка		Нижня полиця	
	Середнє значення, %	Середнє квадратичне відхилення, %	Середнє значення, %	Середнє квадратичне відхилення, %	Середнє значення, %	Середнє квадратичне відхилення, %
4 814	204	1,7	153	1,9	154,3	5,1
4 815	226	3,4	138,8	4,3	157,6	4,3
4 192	187,7	4,7	136	3,7	148,1	3,6
4 459	175,6	2,3	134	3,9	146,2	3,5
4 478	213,8	4,8	149	3,2	158,1	4,1
4 475	212,6	4,5	132	3,5	160,2	4,3

Таблиця 9

Відносні величини твердості матеріалу несучих конструкцій рам візків з урахуванням нерівномірного стану поверхні (коефіцієнт концентрації  $K_\sigma = 1,1 \cdot 1,0 / 0,75 = 1,467$  [9])

Table 9

Relative hardness coefficients of supporting structure materials for bogie frames taking into account uneven surface condition (concentration coefficient  $K_\sigma = 1,1 \cdot 1,0 / 0,75 = 1,467$  [9])

№ візка	Верхня полиця		Бічна стінка		Нижня полиця	
	Середнє значення, %	Середнє квадратичне відхилення, %	Середнє значення, %	Середнє квадратичне відхилення, %	Середнє значення, %	Середнє квадратичне відхилення, %
4 814	100	0,57	100	0,66	100	2,71
4 815	100	1,03	100	1,4	100	1,42
4 192	100	1,71	100	1,38	100	1,35
4 459	100	0,89	100	1,54	100	1,39
4 478	100	1,53	100	1,03	100	1,34
4 475	100	2,43	100	1,15	100	1,43

Твердість вимірювалась на верхній та нижній полицях, а також в середині бічної стінки поздовжньої балки в зоні приєднання до неї поперечної шкворневої балки динамічним твердоміром ТДМ-1, який повірений відповідно до ДСТУ 06.04.2010.

Місця, в яких вимірювалась твердість матеріалу рам візків електровоза управління, дизельної секції та моторного думпкара, зображено на рис. 21, а величини твердостей – у табл. 8.

Вихдячи з даних табл. 9, можна зробити висновки, що в рамі візка тягового агрегату най-

більше напруження за номіналом та характером показників твердості має нижня полиця поздовжньої балки, якій необхідно приділити особливу увагу при організації контролю її технічного стану та мати на увазі, у разі потреби, можливість розробки проектів її посилення.

В роботах [16–19] наведено результати з оцінки впливу на показники втоми різних факторів як конструктивних, так і технологічних.

Відповідно до даних робіт [7, 13], отриманих для великого об'єму конструкційних матеріалів, між границями витривалості (при вигині



## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

або розтягуванні) і текучості існує відома регресійна залежність (рис. 22).

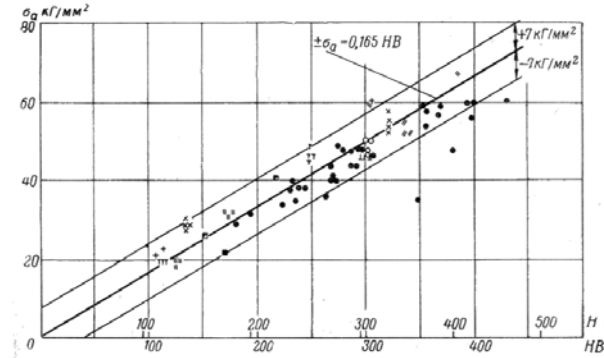


Рис. 22. Залежність між межею витривалості і твердості за Бринелем (HB) і Роквелом (H) для сталей (за даними різних авторів)

Fig. 22. The relationship between the limit of endurance and Brinell (HB) and Rockwell (H) hardness for steels (according to different authors).

Згідно з цими даними границя витривалості  $\sigma_{-1}$  може бути пов'язана з твердістю за Бринелем (HB) лінійною залежністю вигляду

$$\sigma_{-1} [\text{МПа}] = 1,65 HB \pm 70 [\text{МПа}]. \quad (1)$$

Необхідно зазначити, що формула (1) досить обґрунтована для міцних сталей і надає недостовірні результати для низьколегованих маловуглецевих сталей, в основному впроваджених для виробництва несучих конструкцій рухомого складу.

Крім того, з даних рис. 22 і формули (1) слідує наявність статистичного розсіювання в кореляційному зв'язку вказаних вище величин, що тим більше схиляє до використання в подальших викладеннях нижньої границі витривалості при використанні регресійної залежності (1).

Оцінка середньої границі витривалості матеріалу рам візків на верхніх полицях наданого агрегату орієнтовно складає

$$\begin{aligned} \sigma_{-1} [\text{МПа}] &= 1,65 HB \pm 70 [\text{МПа}] = \\ &= 1,65 \cdot 146,2 \pm 70 = 241,2 \left[ \frac{171,2}{311,2} \right] \text{МПа}. \end{aligned}$$

Таким чином, орієнтовне мінімальне значення середньої величини границі витривалості для нижніх полиць матеріалу обстежених рам візків складає  $\sigma_{-1 \min} = 171,2 \text{ МПа}$ .

Спеціалістами Галузевої науково-дослідної лабораторії ДНУЗТа було виконано статичні та динамічні міцносні випробування з визначення напружено-деформованого стану основних несучих елементів рам візків електровоза управління.

Напруження вимірювалися в найбільш навантажених перерізах – в місцях переходу шворневого бруса до поздовжніх балок рами візка по нижньому та верхньому листах, а також на верхньому листі навколо плити підп'ятника.

Статичні напруження визначалися від ваги кузова.

Динамічні складові напружень вимірювалися під час руху в прямих, кривих малих радіусів (до 120 метрів) та при рухові по стрілочних переводах.

На рис. 23 наведено місця розташування тензорезисторів для вимірювання напружень.

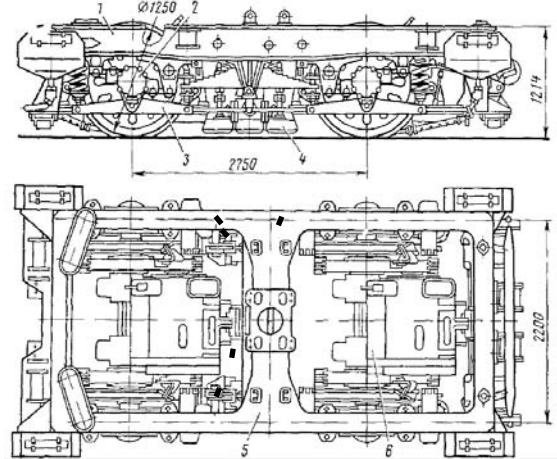


Рис. 23. Місця встановлення тензорезисторів для вимірювання напружень

Fig. 23. Places of resistive strain sensors to measure the stresses

Як показники міцності було визначено коефіцієнти запасу втомної міцності  $n_{\text{вм}} = \frac{\sigma_{-1}}{\kappa \sigma_a + \psi \sigma_m}$

та коефіцієнт запасу міцності по статичній несучій спроможності  $n_T = \frac{\sigma_T}{\sigma_a + \sigma_m}$ ,  $\sigma_m = \sigma_{\text{cm}} + \sigma_f$ , де  $\sigma_{-1}$  – границя витривалості при симетричному циклі;  $\sigma_a$  – амплітуди циклів напружень при заданій швидкості руху;  $\sigma_{\text{cm}}$  – статичне напруження від ваги кузова;  $\sigma_f$  – на-

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

пруження від сили тяги при відповідній швидкості руху;  $\kappa$  – коефіцієнт, який враховує зменшення витривалості конструкції, приймається згідно з чинною нормативною документацією рівним 2,1;  $\psi$  – коефіцієнт асиметрії циклу, який при  $\sigma_{cm} > 0$  дорівнює 0,3, а при  $\sigma_{cm} < 0$  – 0,1. Нижче в табл. 11 наведено результати вимірювань та розрахунків з визначення коефіцієнтів запасу.

Таблица 11

**Результати вимірювань та розрахунків  
з визначення коефіцієнтів запасу**

Table 11

**Results of measurements and calculations concern-  
ing the determination of safety coefficient**

Коефіцієнт	Позначення точки				
	1	2	3	4	5
$\sigma_{cm}$ , МПа	– 52	– 53	28	19	39
$\sigma_f$ , МПа	40	41	20	14	24
$\sigma_m = \sigma_{cm} + \sigma_f$ , МПа	92	94	48	33	63
$\sigma_a$ , МПа	25	26	31	32	25
$n_{em}$	3,46	3,23	2,69	2,76	2,98
$n_T$	2,03	2,0	3,04	3,7	2,73

Ці результати було отримано при таких значеннях: границя витривалості  $\sigma_{-1} = 212,5$  МПа та границя текучості  $\sigma_T = 240$  МПа.

Чинною нормативною документацією встановлено, що наведені коефіцієнти запасу міцності  $n_{em} \geq 2$ ,  $n_T \geq 2$ . Дані наведеної таблиці свідчать, що міцність основних несучих елементів конструкції рами візка електровоза управління забезпечена.

На основі розробленої твердотільної моделі рами кузова електровоза управління тягового агрегату було отримано скінченно-елементну розрахункову модель для виконання числових розрахунків з визначення напруженого стану, яка наведена на рис. 24, складається з 233 789 вузлових точок та нараховує 123 615 скінчених елементів.

На рис. 25–27 наведено: види деформованих станів рами кузова електровоза управління при

дії різних варіантів навантажень; поля розподілу напружень; фрагменти конструкцій з відзначенням точок, в яких створюються найбільші еквівалентні за четвертою теорією міцності напруження.

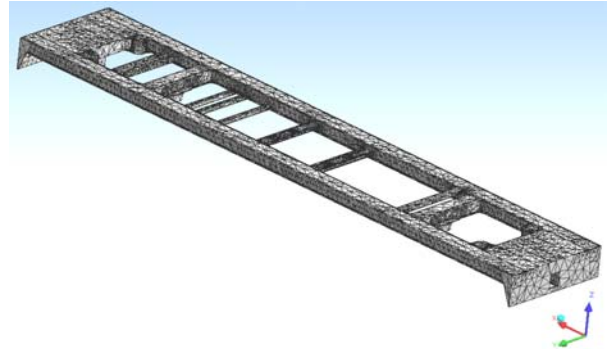


Рис. 24. Скінченно-елементна розрахункова схема рами кузова електровоза управління

Fig. 24. Finite-element calculation scheme of body frame of control electric locomotive

В розрахунках на дію вертикального навантаження приймалося, що сумарна вага від обладнання, яка діє на раму кузова електровоза складає 61 т, або 598,41 кН. Ця вага зображалася у вигляді діючого розподіленого навантаження на відповідних дільницях елементів конструкції та складалася з ваги трансформатора, двох вентиляторів та іншого обладнання. Найбільший рівень еквівалентних напружень за четвертою теорією міцності від дії цього навантаження (див. рис. 25) створюється у точці, відміченою маркером, та дорівнює 83 МПа.

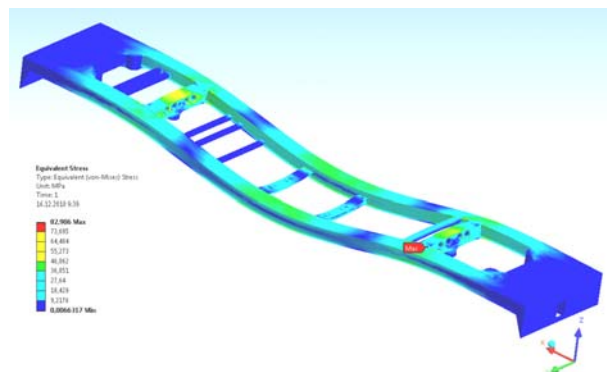


Рис. 25. Поля розподілу еквівалентних напружень у рамі кузова електровоза управління при дії вертикального навантаження

Fig. 25. Fields of equivalent stress distribution in the body frame of control electric locomotive with vertical loading



## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

На рис. 26 наведено результати моделювання руху тягового агрегату в режимі тяги. Величина тягового зусилля за умовою зрушення тягового агрегату з місця дорівнює 1 260 кН. У відміченій маркером точці на рамі кузова в цьому режимі руху найбільше розрахункове напруження дорівнює 128 МПа.

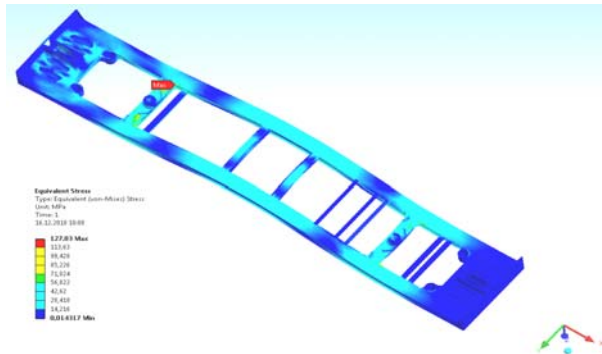


Рис. 26. Поля розподілу еквівалентних напружень та деформований стан рами кузова при русі в режимі тяги (тягове зусилля агрегату 1 260 кН)

Fig. 26. Fields of equivalent stress distribution and the deformed state of bogie frame when moving in traction mode (traction mode of aggregate 1 260 kN)

На рис. 27 наведено поле розподілу напружень та вигляд деформованого стану при дії стискаючих зусиль відповідно до Норм [9]. Найбільші напруження створюються у точці, відміченій маркером.

У разі продовженого терміну під час експлуатації необхідно контролювати стан місць та вузлів рами кузова, позначених маркером.

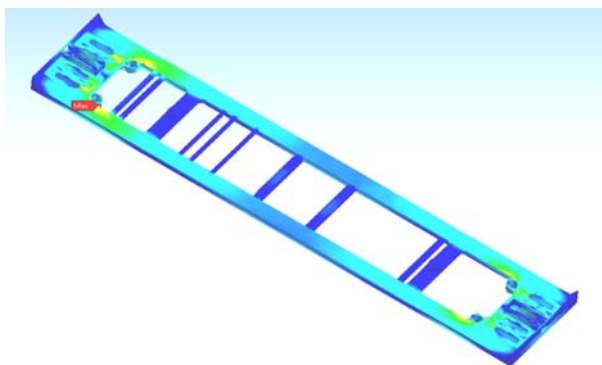


Рис. 27. Поля розподілу напружень та деформований стан рами кузова при дії поздовжньої стискаючої сили 2 500 кН

Fig. 27. Fields of stress distribution and the deformed state of bogie frame under longitudinal compressing force 2 500 kN

На рис. 28 наведено твердотільну модель рами моторного думпкара та розрахункову скінченно-елементну схему моделі, яка складається з 150 648 вузлів та має 81 909 скінченних елементів.

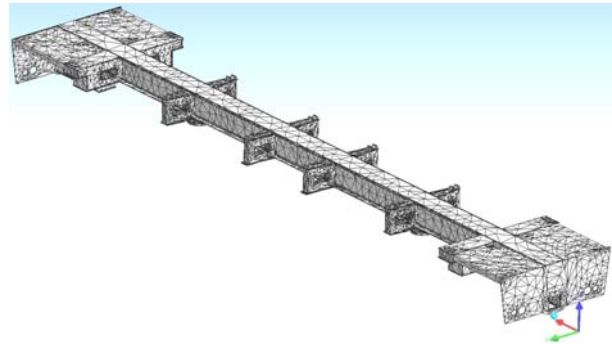


Рис. 28. Розрахункова скінченно-елементна схема моделі рами моторного думпкара

Fig. 28. Calculation finite-element scheme of frame model for motor dumping car

На рис. 29 наведено деформований стан та розподіл напружень від дії вертикального навантаження вагою кузова та обладнання 54,2 кН, а також від вантажу вагою у 604 кН.

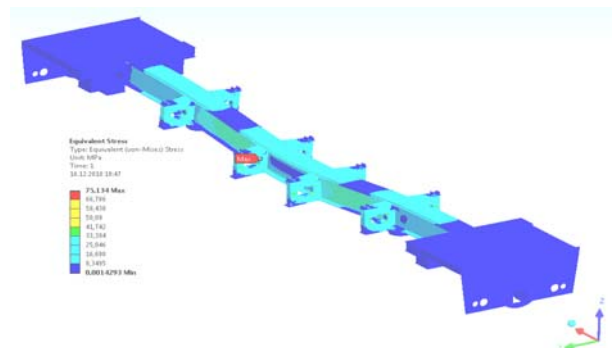


Рис. 29. Розподіл напружень та вигляд деформованого стану рами моторного думпкара від дії вертикального навантаження

Fig. 29. Stress distribution and view of deformed state of motor dumping car frame under the action of vertical loading

На рис. 30 зображено деформований стан та поле розподілу напружень в рамі моторного думпкара при русі в режимі тяги.

Найбільші напруження від дії вертикального навантаження створюються в середній частині рами та досягають 58,4 МПа, а при зрушенні з місця – в зоні стяжної шухляди поглинаючого апарату автозчепу та досягають 200 МПа.

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

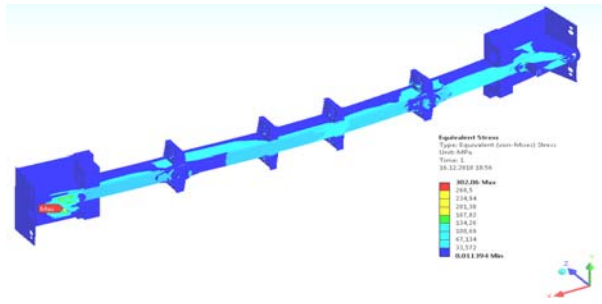


Рис. 30. Поля розподілу напружень та вигляд деформованого стану рами моторного думпкара при зрушенні з місця тягового агрегату (тягове зусилля всього агрегату 1 260 кН)

Fig. 30. Stress distribution field and view of deformed state of motor dumping car frame when starting of traction aggregate (traction force of aggregate 1 260 kN)

Нижче на рис. 31 наведено вигляд твердотільної моделі рами кузов дизельної секції та її скінченно-елементна схема, яка складається з 482 400 елементів та 931 327 вузлів.

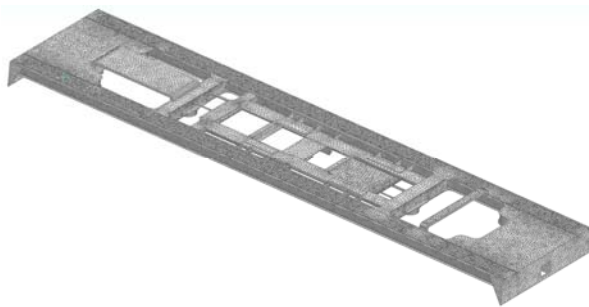


Рис. 31. Скінченно-елементна модель рами кузова дизельної секції

Fig. 31. Finite-element model of diesel section body frame

На рис. 32 наведено поле розподілу еквівалентних напружень від ваги обладнання, розташованого в кузові дизельної секції.

З наведених результатів розрахунків отримано, що найбільші напруження виникають на верхній поличці поперечної балки та досягають в її середній частині 80 МПа.

На рис. 33 наведено розподіл еквівалентних напружень при моделюванні режиму тяги.

З наведених на рис. 33 результатів числових розрахунків отримано, що в цьому режимі найбільші еквівалентні напруження створюються в несучих конструкціях, розташованих в зоні автозчипного пристрою та досягають 160 МПа.

На рис. 34 наведено загальний вигляд твердотільної моделі рами візків тягового агрегату

та скінченно-елементна розрахункова схема моделі для виконання числових розрахунків, яка складається з 18 943 елементів та має 109 794 вузли.

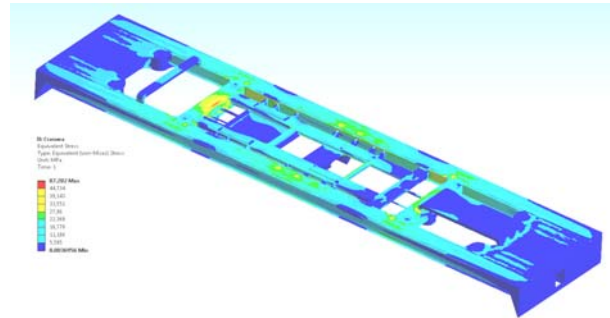


Рис. 32. Поле розподілу еквівалентних напружень в рамі кузова від ваги обладнання, що розташоване в кузові дизельної секції

Fig. 32. Equivalent stress distribution field in the bogie frame from the equipment weight placed in the body of diesel section

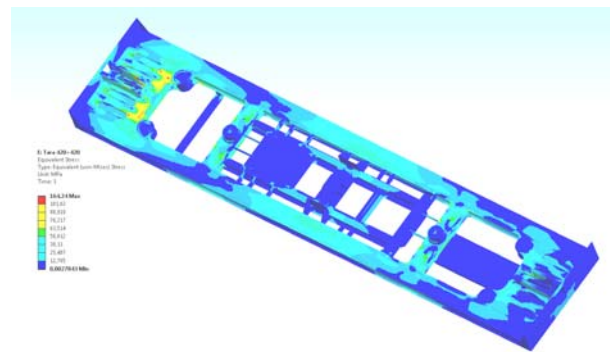


Рис. 33. Поле розподілу еквівалентних напружень при русі в режимі тяги

Fig. 33. Equivalent stress distribution field when moving in traction mode

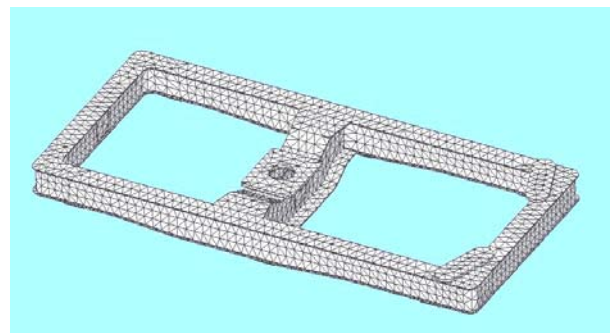


Рис. 34. Скінченно-елементна розрахункова схема моделі рам візків тягового агрегату

Fig. 34. Finite-element calculation scheme of bogie frame model for traction aggregate

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

На рис. 35 наведено результати розрахунку рами візка на дію вертикального навантаження, а на рис. 36 – на дію вертикального та поздовжнього навантаження при зрушенні тягового агрегату з місця.

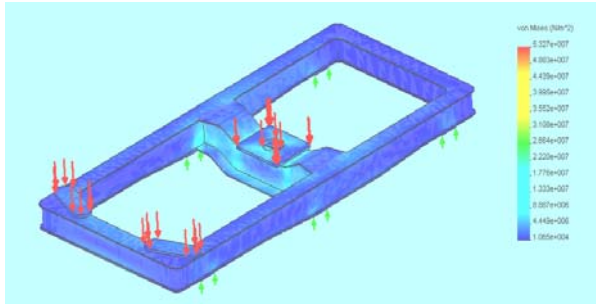


Рис. 35. Результати розрахунку рами візка на дію вертикального навантаження та поле розподілу напружень

Fig. 35. Results of calculation of bogie frame for the action of vertical loading and the field of stress distribution

Найбільші напруження, які отримано під час розрахунку напружено-деформованого стану цього варіанта, досягають 53 МПа.

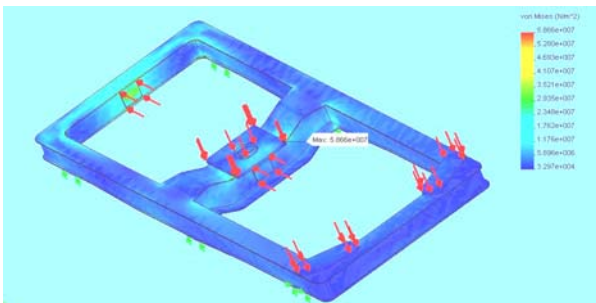


Рис. 36. Поле розподілу напружень в рамі візка від дії вертикального та поздовжнього навантаження при зрушенні тягового агрегату з місця

Fig. 36. Stress distribution field in bogie frame from vertical and longitudinal loading when starting of traction aggregate

З рис. 36 видно, що найбільші напруження не перевищують 59 МПа. Місце, в якому створюються найбільші напруження, відмічено маркером.

### Наукова новизна та практична значимість

На основі експериментальних та теоретичних досліджень виконано наукове супроводження робіт з розробки заходів з подовження

терміну призначеного строку служби одиниць тягових та моторних одиниць промислового рухомого складу.

Розроблено технічні рішення з заходами, які мають виконуватися під час експлуатації в межах подовженого призначеного терміну служби тягових та моторних одиниць промислового рухомого складу підприємств, на яких використовуються у забезпеченні основних технологічних циклів тепловози та тягові агрегати.

### Висновки щодо строку служби несучих конструкцій

В результаті виконаних експериментальних випробувань з визначення рівнів напружень, що створюються в умовах експлуатації в несучих конструкціях рам візків електровоза управління і моторного думпкара та розрахунків напруженого стану рам візків і кузовів рухомих одиниць складу тягового агрегату ОПЕ1АМ, зроблено такі висновки:

- ресурс рам візків електровоза управління, дизельної секції і моторного думпкара на поточний момент складає 40 років їх експлуатації за умови здійснення систематичного неруйнуючого контролю;

- ресурс рам кузовів одиниць тягового агрегату складає 40 років за умови здійснення систематичного неруйнуючого контролю;

- візки, в основному металі рам яких буде виявлено повторне виникнення тріщини на місці раніше зробленого заварювання, виключаються з подальшої експлуатації;

- наднормативна експлуатація кузовів електровоза управління та дизельної секції забезпечується виконанням необхідних робіт при капітальних ремонтах з подовженням строку служби (КРП) за станом корозійного зношення несучих конструкцій та їх періодичного неруйнівного контролю з метою прогнозування розвитку корозії несучих конструкцій при виконанні наступних капітальних ремонтів (КР1, КР2);

- наднормативна експлуатація несучих конструкцій рам візків та кузовів забезпечується проведенням систематичного неруйнівного контролю кваліфікованим персоналом;

- наднормативна експлуатація тягового агрегату не допускається при відсутності справних гасителів коливань, які передбачені конструкторською документацією (КД);

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

– колісні пари мають бути відремонтовані відповідно до Інструкції ВНД 32.0.07.001-2001.

На основі отриманих результатів замовнику надається розроблене Технічне рішення заходів, які необхідно виконувати під час подовженого терміну експлуатації відповідних одиниць рухомого складу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Боднар, Б. Е. Методы сравнительной оценки ресурса несущих конструкций подвижного состава / Б. Е. Боднар, В. Л. Горобец, И. М. Грушак // Вестн. Восточноукраинского нац. ун-та им. В. Даля. – 2004. – № 3 (78). – С. 118–126.
- Бондарев, О. М. Методики оцінки залишкового ресурсу пасажирського рухомого складу / О. М. Бондарев, В. Л. Горобец, Б. Я. Остапук // Залізн. трансп. України, 2002. – № 5. – С. 28–30.
- Бондарев, О. М. Визначення строку служби несущих конструкций моторвагонного рухомого складу із застосуванням методики порівняння їх динамічної навантаженості / О. М. Бондарев, В. Л. Горобец, І. М. Грушак // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – Вип. 24. – С. 18–24.
- Горобец, В. Л. Аналіз експлуатаційної наробки несущих конструкций рухомого складу в задачах продовження терміну його експлуатації / В. Л. Горобец, О. М. Бондарев, В. М. Скобленко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 35. – С. 10–16.
- Дашенко, А. Ф. ANSYS в задачах инженерной механики : монографія / А. Ф. Дашенко, Д. В. Лазарева, Н. Г. Сурьянинов. – Одесса : Астропринт, 2007. – 488 с.
- Зенкевич, О. С. Метод конечных элементов в технике / О. С. Зенкевич. – М. : Мир, 1975. – 542 с.
- Логунов, В. Н. Устройство тепловоза ТГМ6А / В. Н. Логунов, В. Т. Смагин, Ю. И. Дорошин. – М. : Транспорт, 1989. – 320 с.
- Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций тягового подвижного состава. – К. : Гос. администрация ж.-д. трансп. Украины, 1998. – 51 с.
- Нормы расчета и оценки прочности несущих элементов и динамических качеств экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. – М. : ВНИИЖТ РФ, 1997. – 147 с.
- Оцінка показників міцності елементів несущих конструкций тягових агрегатів ОПЕ1А та подовження терміну їх служби / О. М. Бондарев, В. Л. Горобец, Є. М. Дзічковський та ін. // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 40. – С. 17–27.
- Потемкин, А. Е. Твердотельное моделирование в системе КОМПАС-3D / А. Е. Потемкин. – БХВ : СПб., 2004. – 512 с.
- Проведення досліджень залишкового ресурсу несущих конструкций электропоездов ЕР1 після їх модернізації та КРП, розробка Технічних рішень на подовження терміну їх експлуатації понад 50 років : звіт з НДР. Тема (робота) № 194/07–ЦТех–1030/07–ЦЮ від 16 липня 2007 р. – Д. : ДНУЗТ, 2007. – 60 с.
- Трощенко, В. Т. Сопротивление усталости металлов и сплавов : в 2 т. / В. Т. Трощенко, Л. А. Сосновский. – К. : Наукова думка, 1987. – 2 т.
- Экспериментальная оценка динамических качеств тепловозов ТГМ6А в условиях их эксплуатации на путях промтранспорта / А. М. Бондарев, В. Л. Горобец, И. М. Грушак и др. // 36. наук. пр. КУЕТТ. Серия Трансп. системы і технології. – К., 2003. – Вип. 4. – С. 13–21.
- Электроподвижной состав промышленного транспорта : справочник / Л. В. Балон, В. А. Браташ, М. Л. Бичуч и др. ; под ред. Л. В. Балона. – М. : Транспорт, 1987. – 296 с.
- Хейвуд, Р. Б. Проектирование с учетом усталости / Р. Б. Хейвуд. – М. : Машиностроение, 1969. – 504 с.
- Boyer, Howard E. Metals Handbook, 8th Edition. Volume 10 : Failure Analysis and Prevention. Fatigue Failures / Howard E. Boyer. – American Society for Metals, Metals Park, OH. – 1975. – 604 p.
- Effect of size and frequency on fatigue properties of SM50B butt welded joint / Yoshida S., Innagaki N., Kanao M. et al. – Japan Welding Society. – 1978. – № 9. – P. 5–10.
- Fatigue crack growth behaviours at the toe of fillet welded joints under plane bending load / Y. Mitsui, Y. Kurobane, K. Harada, M. Konomi. J. – Japan Welding Society. – 1983. – № 3. – P. 58–65.

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

А. М. БОНДАРЕВ<sup>1\*</sup>, В. Л. ГОРОБЕЦ<sup>1</sup>, С. В. МЯМЛИН<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 08, эл. почта onildpps@gmail.com

<sup>1</sup>Каф. «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 08, эл. почта onildpps@gmail.com

<sup>2</sup>Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 03, эл. почта sergeymyamin@gmail.com

## МЕТОДЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОДЛЕНИЮ СРОКА СЛУЖБЫ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА

**Цель.** Целью работы является научно обоснованное внедрение наработанных методик исполнения работ по продлению назначенного срока службы единиц тягового и моторного подвижных составов промышленного транспорта. **Методика.** Для достижения поставленной цели был проведен анализ наработанных методик по продлению назначенного срока службы тягового и моторного подвижных составов магистрального транспорта; наработанные методики во время решения вопросов касательно продления назначенного срока эксплуатации единиц подвижного состава были адаптированы к тепловозам ТГМ6А и тяговым агрегатам типа ОПЕ1А. **Результаты.** На основании комплекса проведенных экспериментальных и теоретических исследований получены результаты, которые дали повод для определения возможности использования наработанных методик в решении вопросов по продлению назначенного срока эксплуатации единиц подвижного состава касательно тепловозов ТГМ6А и тяговых агрегатов типа ОПЕ1А. **Научная новизна.** На основании проведенных экспериментальных и теоретических исследований выполнено научное сопровождение работ, обеспечивающих продление назначенного срока службы тяговых и моторных единиц промышленного подвижного состава. **Практическая значимость.** Разработаны технические решения с мероприятиями, которые должны выполняться во время эксплуатации в пределах продленного назначенного срока службы тяговых и моторных единиц промышленного подвижного состава предприятий, на которых в обеспечении основных технологических циклов используются тепловозы и тяговые агрегаты.

**Ключевые слова:** тележки; кузова; расчетные модели; экспериментальные исследования; теоретические расчеты; тепловозы ТГМ6А; тяговые агрегаты ОПЕ1А; показатели прочности

О. М. BONDAREV<sup>1\*</sup>, V. L. GOROBETS<sup>1</sup>, S. V. MYAMLIN<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Structural Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 08, e-mail onildpps@gmail.com

<sup>1</sup>Dep. «Structural Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 08, e-mail onildpps@gmail.com

<sup>2</sup>Dep. «Cars and Wagon Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 03, e-mail sergeymyamin@gmail.com

## METHODS AND RESEARCH CONCERNING SERVICE LIFE EXTENSION OF SUPPORTING STRUCTURES OF TRACTION ROLLING STOCK FOR INDUSTRIAL TRANSPORT

**Purpose.** The purpose of work is scientifically grounded introduction of the acquired techniques into works for service life extension of the traction and motor rolling stock for industrial transport. **Methodology.** To achieve the purpose it was analyzed the acquired techniques for service life extension of the traction and motor rolling stock for mainline transport. The acquired techniques during solution of problems concerning the service life extension of rolling stock units were adapted to the locomotives TGM6A and traction aggregates OPE1A. **Findings.** On the basis of experimental and theoretical complex of studies some results were obtained. They gave the ground to determine



## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

the possibility of acquired techniques use when solving the problems on service life extension of rolling stock units concerning locomotives TGM6A and traction aggregates OPE1A. **Originality.** On the basis of conducted experimental and theoretical studies scientific maintenance of the works providing extension of service life of traction and motor units of industrial rolling stock was executed. **Practical value.** Technical solutions and measures, which have to be carried out during operation within the prolonged appointed service life of traction and motor units of industrial rolling stock enterprises using locomotives and traction aggregates to provide the basic technological cycles were developed.

**Keywords:** bogies; bodies; calculation models; experimental studies; theoretical calculations; TGM6A locomotives; traction aggregates OPE1A; durability indicators

## REFERENCES

1. Bodnar B.Ye., Gorobets V.L., Grushchak I.M. Metody sravnitel'noy otsenki resursa nesushchikh konstruktсий podvizhnogo sostava [Methods of comparative evaluation of the supporting units' resource of rolling stock]. *Vestnik Vostochnoukrainskogo natsionalnogo universiteta imeni V. Dala* [Bulletin of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University], 2004, no. 3 (78), pp. 118-126.
2. Bondarev O.M., Horobets V.L., Ostapiuk B.Ya. Metodyky otsinky zalyshkovoho resursu pasazhyrskoho rukhomoho skladu [Methods of residual life evaluation of passenger rolling stock]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2002, no. 5. pp. 28-30.
3. Bondarev O.M., Horobets V.L., Hrushchak I.M. Vyznachennia stroku sluzhby nesuchykh konstruktсий motorvahnnoho rukhomoho skladu iz zastosuvanniam metodyky porivniannia yikh dynamichnoi zavantazhenosti [Determination of the bearing structures durability of motor and wagon rolling stock using the matching technique of their dynamic load]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnogo universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 24, pp. 18-24.
4. Horobets V.L., Bondarev O.M., Skoblenko V.M. Analiz ekspluatatsiinoi narobky nesuchykh konstruktсий rukhomoho skladu v zadachakh prodovzhennia terminu yoho ekspluatatsii [Analysis of supporting structures operational life length of rolling stock in the problems of its service life extension]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnogo universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 35, pp. 10-16.
5. Dashchenko A.F., Lazareva D.V., Suryaninov N.G. *ANSYS v zadachakh inzhenernoy mekhaniki* [ANSYS in problems of engineering mechanics]. Odessa, Astroprint Publ., 2007. 488 p.
6. Zenkevich O.S. *Metod konechnykh elementov v tekhnike* [The finite element method in engineering]. Moscow, Mir Publ., 1975. 542 p.
7. Logunov V.N., Smagin V.T., Doroshin Yu.I. *Ustroystvo teplovoza TGM6A* [TGMLA diesel locomotive structure]. Moscow, Transport Publ., 1989. 320 p.
8. *Metodika otsenki ostatochnogo resursa nesushchikh konstruktсий tyagovogo podvizhnogo sostava* [Method of the residual life estimation of locomotives supporting units]. Kyiv, Gosudarstvennaya administratsiya zheleznodorozhnogo transporta Ukrainy Publ., 1998. 51 p.
9. *Normy rascheta i otsenki prochnosti nesushchikh elementov i dinamicheskikh kachestv ekipazhnoy chasti lokomotivov zheleznykh dorog MPS RF kolei 1520 mm* [Calculating and assessing norms of the supporting units strength and dynamic qualities of the railways locomotive underframe in MPS RF, type 1520 mm]. Moscow, VNIIZhT RF Publ., 1997. 147 p.
10. Bondarev O.M., Horobets V.L., Dzichkovskiy Ye.M., Kryvchykov O.Ye., Yagoda D.O., Bondareva V.S. Otsinka pokaznykiv mitsnosti elementiv nesuchykh konstruktсий tiahovykh ahrehativ OPE1A ta podovzhennia terminu yikh sluzhby [Evaluation of supporting structures strength elements of OPE1A traction units and prolongation of its service life]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnogo universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 40, pp. 17-27.
11. Potemkin A. *Tverdotelnoye modelirovaniye v sisteme KOMPA – 3D* [Solid modeling of KOMPAS-3D system]. Saint Petersburg, BKHV Publ., 2004. 512 p.
12. *Provedennia doslidzhen zalyshkovoho resursu nesuchykh konstruktсий elektropoizdiv ER1 pislia yikh modernizatsii ta KRP, rozrobka Tekhnichnykh rishen na podovzhennia terminu yikh ekspluatatsii ponad 50 rokiv* [Research concerning residual resource of supporting units of EF1 electric trains after their modernization and

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

- capital repair, development of technical solutions in order to extend their lifetime for more than 50 years]. Dnipropetrovsk, DNUZT Publ., 2007. 60 p.
13. Troshchenko V.T., Sosnovskiy L.A. *Soprotivleniye ustalosti metallov i splavov* [Fatigue resistance of metals and alloys]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1987. 2 vol.
  14. Bondarev A.M., Gorobets V.L., Grushchak I.M. Eksperimentalnaya otsenka dinamicheskikh kachestv teplovozzovov TGM6A v usloviyakh ikh ekspluatatsii na putyakh promtransporta [Experimental evaluation of TGM6A locomotives dynamic qualities in their operation conditions on the industrial transport tracks]. *Zbirnyk naukovykh prats KUETT. Seriya Transportni systemy i tekhnologii* [Proceedings of KUETT. Series Transport systems and technologies]. Kyiv, 2003, issue 4, pp. 13-21.
  15. Balon L.V., Bratash V.A., Bichuch M.L. *Elektropodvizhnoy sostav promyshlennogo transporta* [Electric stock of industrial transport]. Moscow, Transport Publ., 1987. 296 p.
  16. Kheyvud R.B. *Proyektirovaniye s uchetom ustalosti* [Designing taking into account fatigue]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1969. 504 p.
  17. Boyer Howard E. Metals Handbook, 8th Edition. Volume 10: Failure Analysis and Prevention. Fatigue Failures. American Society for Metals Publ., 1975. 604 p.
  18. Yoshida S., Innagaki N., Kanao M. Effect of size and frequency on fatigue properties of SM50B butt welded joint. *Japan Welding Society*, 1978, no. 9, pp. 5-10.
  19. Mitsui Y., Kurobane Y., Harada K., Konomi M. Fatigue crack growth behaviours at the toe of fillet welded joints under plane bending load. *Japan Welding Society*, 1983, no. 3, p. 58-65.

Стаття рекомендована до публікації к.т.н., доц. А. Л. Пуларією (Україна);  
к.т.н., доц. О. Д. Жаковським (Україна)

Надійшла до редколегії 05.03.2014

Прийнята до друку 15.04.2014

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.46.015:531.44

С. В. МЯМЛІН<sup>1\*</sup>, Л. О. НЕДУЖА<sup>2\*</sup>, А. О. ШВЕЦЬ<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010, Україна, тел./факс +38 (056) 793 19 03, ел. пошта sergeymyamin@gmail.com

<sup>2\*</sup> Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010, Україна, тел./факс +38 (056) 793 19 03, ел. пошта lforhen@i.ua

<sup>2</sup> Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010, Україна, тел./факс +38 (056) 793 19 03

### ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПОКАЗНИКІВ ТЕРТЯ В СИСТЕМІ «КУЗОВ – ВІЗОК» НА ДИНАМІКУ ВАНТАЖНОГО ВАГОНА

**Мета.** Основними вимогами до конструкції вагонів нового покоління, згідно Програми оновлення рухомого складу, є вимоги, які дозволять знизити експлуатаційні витрати й підвищити економічну ефективність їх використання з урахуванням досягнень науково-технічної думки. У зв'язку з актуальністю цієї тематики робота присвячена дослідженню впливу коефіцієнту тертя в опорному з'єднанні «п'ятник – підп'ятник – ковзуни» вантажних вагонів на їх основні динамічні показники – коефіцієнти горизонтальної та вертикальної динаміки, прискорення кузова, рамну силу, коефіцієнт стійкості від сходу з рейок. **Методика.** Дослідження проводилось методом чисельного інтегрування та математичного моделювання динамічної завантаженості вантажного вагону з використанням програмного комплексу «Dynamics of Rail Vehicles» («DYNRAIL»). **Результати.** Дослідження показали, що вплив на показники безпеки руху мають не тільки параметри тертя в опорному з'єднанні «п'ятник – підп'ятник – ковзуни» вантажного вагона в порожньому й завантаженому стані з візками ЦНІИ-ХЗ (модель 18-100). Вплив мають також інші складові динаміки руху вантажного вагона, а саме: радіуси кривих ділянок колії, висота зовнішньої рейки тощо. **Наукова новизна.** Автором досліджено вплив тертя на динамічну завантаженість вагона з використанням нових підходів до вирішення задачі прогнозування динаміки рухомого складу. Прогнозування здійснювалось на значно оновленому теоретичному матеріалі, який охоплює всю історію розвитку теорії тертя й включає результати новітніх експериментальних досліджень із урахуванням швидкості руху на прямих і кривих ділянках колії малого та середнього радіусу. **Практична значимість.** Одержані результати мають практичну спрямованість. У ході виконання теоретичних досліджень та після проведення моделювання з поліпшеним методом урахування процесів тертя отримано залежності основних динамічних показників чотиривісного вантажного піввагона від значення коефіцієнта тертя в системі «кузов – візок» із урахуванням швидкості руху. Результати досліджень знайшли своє наукове використання в низці публікацій авторів у спеціальних та науково-популярних виданнях.

**Ключові слова:** вантажні вагони; ковзуни візків; швидкість руху; прямі та криві ділянки колії; динамічні показники

#### Вступ

Залізничний транспорт України відіграє важливу роль у соціально-економічному житті нашої держави та здійснює великий обсяг перевізної роботи (його питома вага в загальному

вантажообігу складає біля 85 % – українські залізниці займають четверте місце в Євразії та шосте місце в світі за обсягами вантажів, що перевозяться, а в пасажирообігу – 45 %); на залізничному транспорті працює 2 % всього пра-



## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

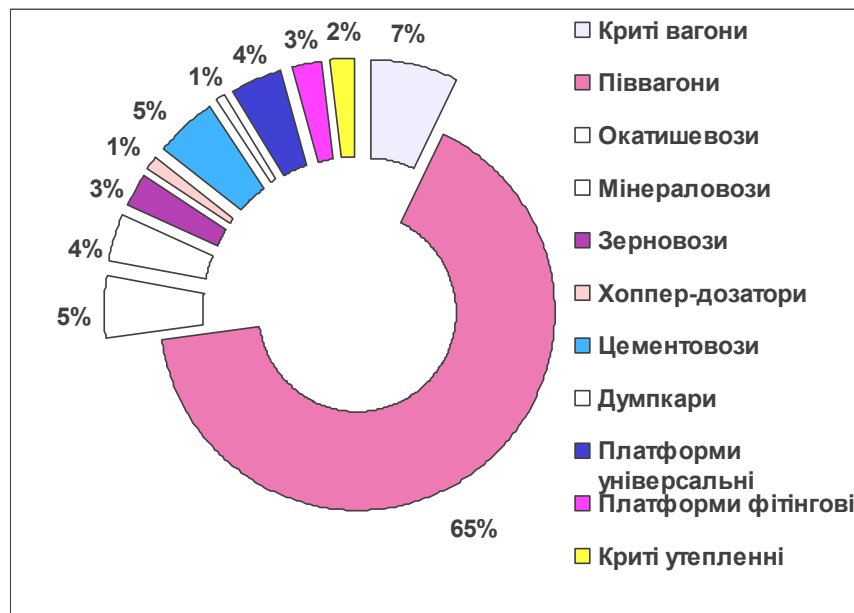


Рис. 1. Структура парку рухомого складу

Fig. 1. Structure of rolling stock fleet

цездатного населення держави [13]. Це підтверджує, що транспортна галузь повинна рухатися в напрямку інноваційних змін, підвищувати своє значення як важливої транзитної підсистеми на шляху оновлення не тільки інфраструктури, а й стратегії всіх складових перевізного процесу, в тому числі і у взаємозв'язку з іншими видами транспорту.

Насамперед, основними напрямками діяльності залізничної галузі є:

- розвиток швидкісного руху поїздів;
- підвищення рівня безпеки руху;
- розробка нового рухомого складу і модернізація існуючого парку.

Найбільший відсоток (рис. 1) рухомого складу, який експлуатується, припадає на піввагони, тому доцільним є вивчення їх динамічної завантаженості на основі технічних рішень, розробок, сучасних технологій, наукових досліджень, на які зорієнтована залізнична галузь України [10, 18].

### Мета

Як відомо з попередніх досліджень [5, 16, 17, 19], вивчення динаміки вантажних вагонів – це складна теоретична задача, мета якої – визначення допустимих та безпечних, з точки зору взаємодії колеса і рейки, швидкостей руху.

В зв'язку з актуальністю цієї тематики поставлено завдання щодо дослідження впливу різних факторів та характеристик технічного стану ходових частин вантажних вагонів (які неминуче виникають при їх експлуатації) на їхні основні динамічні показники.

Серед них не останню роль відіграє така система як «кузов – візок». Тому основна увага в роботі приділяється впливу зміни сили тертя між кузовом та візками.

Теоретичні дослідження виконувалися шляхом математичного моделювання динамічної навантаженості вантажного вагона в порожньому і завантаженому стані з візками ЦНИИ-ХЗ (модель 18-100) при русі в прямих та кривих ділянках колії різних радіусів з установленими швидкостями руху для визначення основних динамічних показників вантажного вагона. Як дослідний розглядався піввагон.

Математичне моделювання динамічної навантаженості вантажного вагона здійснювалося з використанням програмного комплексу «Dynamics of Rail Vehicles» («DYNRAIL») [12, 20], розробленого в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна.

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

## Методика

Перші дослідження з вивчення тертя ковзання були виконані Кулоном і були повторені Мореном [1]. Основоположником теорії тертя при наявності мастила є вчений М. П. Петров, подальший розвиток ця теорія знайшла у працях М.Є. Жуковського та інших дослідників.

Як відомо, розрізняють два випадки тертя ковзання:

1) тертя в стані спокою і, зокрема, тертя на початку руху;

2) тертя в стані руху.

Коли система перебуває в рівновазі, сила тиску горизонтальної поверхні на елемент має рівнодійчу  $N$ , нормальну до поверхні, рівну і протилежну вазі  $P$  тіла з масою (рис. 2, а).

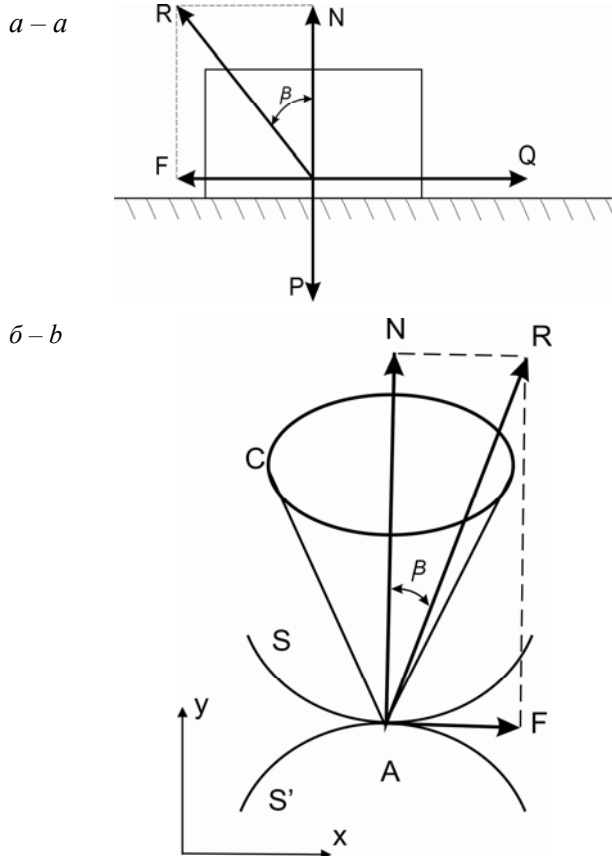


Рис. 2. Схематичне зображення сил між тілами з урахуванням тертя:

$a$  – в стані спокою;  $b$  – з однією точкою дотику – конус тертя

Fig. 2. Diagram of the forces between bodies taking into account friction:

$a$  – at rest;  $b$  – with one contact point – cone of friction

Реакція поверхні  $R$  на тіло дорівнює і є протилежною рівнодійчій ваги  $P$  і прикладеної горизонтальної сили  $Q$ . Ця реакція розкладається на дві: нормальну  $N$ , рівну і прямопротилежну силі  $P$ , і дотичну  $F$ , рівну і протилежну силі  $Q$ . Дотична складова і є силою тертя. Для кута  $\beta$  між реакцією  $R$  і нормаллю  $N$  маємо:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{F}{N} = \frac{Q}{P}. \quad (1)$$

Якщо поступово збільшувати  $Q$ , то настане момент, коли ця сила досягне значення  $F_p$ , при якому тіло приходить в рух. Відповідне числове значення  $F_p$  сили  $F$  називається тертям на початку руху; відповідне значення  $\phi$  кута  $\beta$  для якого

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{F_p}{P} \quad (2)$$

і є кутом тертя.

Ковзання починається з того моменту, коли рівнодійча сил  $P$  і  $Q$ , прикладених до тіла, утворює з нормаллю кут, що перевищує  $\phi$ .

Кулон виміряв значення  $F_p$  і  $\phi$  на досліді, за результатами якого він вивів три закони [2, 11, 14]:

1. Тертя на початку руху не залежить від площі поверхонь, що знаходяться у дотику.

2. Воно залежить від природи цих поверхонь.

3. Воно пропорційне нормальній складовій реакції, або нормальній складовій тиску.

Постійне відношення сили тертя  $F_p$  на початку руху до нормальної реакції  $N$  або до нормального тиску  $P$  і є коефіцієнтом тертя  $f$ :

$$f = \frac{F_p}{N} = \frac{F_p}{P}. \quad (3)$$

Кут тертя  $\phi$  визначається за формулою:

$$\operatorname{tg} \phi = f. \quad (4)$$

На практиці частіше зустрічається випадок рівноваги тіл з тертям в одній точці дотику. Для цього розглядається тіло  $S$  (рис. 2, б), покладене на інше тіло  $S'$ , з яким воно має дотик на дуже малій частині поверхні [1]. Припускається, що остання приведена до однієї точки  $A$ . Реакція  $R$  тіла  $S'$  на тіло  $S$  складається з нормальної реакції  $N$  і дотичної реакції  $F$ , напрям якої невідомий і максимум якої дорівнює  $fN$ . Кут  $\beta$  між  $R$

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

і  $N$  буде менше кута тертя  $\varphi$ . Для того, щоб тіло  $S$  було в рівновазі, необхідно, щоб існувала рівновага між безпосередньо прикладеними до тіла  $S$  силами і реакцією  $R$  або щоб сили, прикладені до тіла, мали одну рівнодіючу, рівну і прямопротилежну до сили  $R$ , тобто:

- а) проходить через точку  $A$ ;
- б) спрямовану так, щоб притискати тіло  $S$  до тіла  $S'$ ;
- в) утворює з нормаллю  $AN$  кут, менший ніж кут тертя.

Ці необхідні умови достатні і якщо вони виконані, то можливо припустити, що рівнодіюча прикладених сил безпосередньо перенесена в точку  $A$  і розкладена на дві сили: на нормальну силу  $P$  і на дотичну силу  $Q$ ; під дією цих сил ковзання не буде, оскільки кут рівнодіючої з нормаллю менше  $\varphi$ , внаслідок чого (рис. 2, б):

$$\frac{Q}{P} < f, \quad Q < f P \quad (5)$$

і дотична складова менша, ніж тертя на початку руху. Якщо розглядати конус обертання з віссю  $AN$ , що утворює з  $AN$  кут  $\varphi$ , то для рівноваги необхідно і достатньо, щоб сили мали рівнодіючу, напрямком якої проходить через точки  $A$  і  $C$ , що лежать у середині конуса.

З попередніх міркувань можна зробити висновки, що будь-яка прикладена до тіла сила, яка проходить через точку  $A$  і утворюючи з нормаллю кут, менший ніж  $\varphi$ , тобто сила, що лежить у середині конуса  $C$  урівноважується реакцією тіла, оскільки цю силу можна розкласти так, як ми тільки що вказали.

Для обчислення кута тертя складемо рівняння статички, з яких отримано:

$$R_1 = R \cos \beta = N, \quad (6)$$

$$R_2 = R \sin \beta = F_{mp} \leq F_{mp}^{np} \leq N \quad f = \cos \beta, \quad (7)$$

де  $R_1, R_2$  – складові  $R$ .

Виконавши арифметичні операції бачимо, що

$$R \sin \beta \leq R f \cos \beta, \quad (8)$$

$$\operatorname{tg} \beta \leq \beta. \quad (9)$$

Кут тертя – це кут сили з  $N$ , тангенс якого дорівнює коефіцієнту тертя:

$$\operatorname{tg} \varphi_{mp} = f, \quad \beta \leq \varphi_{mp}. \quad (10)$$

Коефіцієнт тертя  $f$  – величина безрозмірна, визначається дослідним шляхом і залежить від матеріалу контактуючих (тих, що стикаються) тіл і стану поверхонь (характер обробки, температури, вологості і т. ін.).

Значення коефіцієнта тертя  $f_0$  для деяких матеріалів:

- дерево по дереву 0,4–0,7;
- метал по металу 0,15–0,25;
- сталь по льоду 0,027.

У випадку руху припускається, що рухається тверде тіло, обмежене деякою поверхнею і стикається з іншим тілом в точці. Якщо є тертя, то реакція одного тіла на друге розкладається на дві сили: нормальну  $N$ , яка називається нормальною реакцією, і дотичну  $F$ , яка є силою тертя і підпорядковується трьом наступним законам:

Сила тертя спрямована в сторону, протилежну відносній швидкості матеріальної точки по відношенню до поверхні тіла. Вона не залежить від величини швидкості та пропорційна нормальній реакції:

$$F = f N, \quad (11)$$

коефіцієнт  $f$  є коефіцієнтом тертя на початку руху.

Згідно з дослідями Герца ці закони можуть бути застосовні головним чином в разі безпосереднього тертя (тобто, коли поверхні тертя сухі). Вони повинні бути змінені, якщо поверхні розділені змащувальними речовинами; в цьому випадку відношення  $F/N$  залежить від швидкості і від сили  $N$  [3, 4, 15]. В інженерних розрахунках звичайно виходять з низки встановлених дослідним шляхом закономірностей, які з достатньою для практики точністю відображають основні особливості явища тертя.

Динамічний коефіцієнт тертя ковзання  $f$ , як зазначалося раніше, також є величиною безрозмірною і визначається дослідним шляхом. Значення коефіцієнта залежить не тільки від матеріалу і стану поверхонь, але і, в деякій мірі, від швидкості рухомих тіл. У більшості випадків із збільшенням швидкості коефіцієнт  $f$  спочатку зменшується, а потім зберігає майже постійне значення.

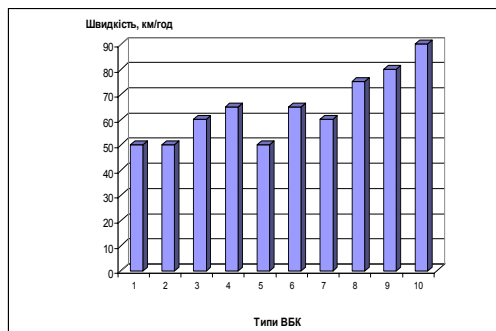
Встановлення допустимих швидкостей руху вагонів по прямим та кривим ділянках колії є складною інженерною задачею, яка вимагає диференційного підходу і враховує технічний

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

стан верхньої будови колії (ВБК) та ходових частин рухомого складу [6, 7, 9].

Результати встановлення допустимих швидкостей (на підставі виконаних раніше досліджень) наведені у вигляді гістограм для прямих (рис. 3, а) та кривих ділянок колії (рис. 3, б – нумерація типів ВБК згідно з табл. 1), які демонструють розподіл значень швидкості руху залежно від типу верхньої будови колії (для прямих ділянок) або від радіусу кривої та типу верхньої будови колії (для кривих ділянок). Згідно з цими даними найбільш міцними з усіх обраних типів ВБК є рейки марки Р65(6) 1 840, 2 000 Щ, Гр, П і важче, які дозволяють рухатись зі швидкістю 90 км/год як в кривих, так і в прямих ділянках колії. Використання рейок цієї марки дозволить рух у кривих малого радіусу зі швидкістю 70 км/год, що значно вище порівняно з іншими марками.

а – а



б – б

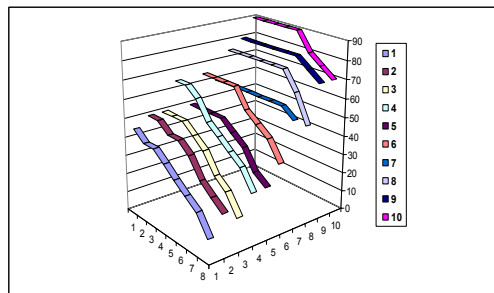


Рис. 3. Значення швидкості руху залежно від типу верхньої будови колії для прямих (а) та кривих (б) ділянок

Fig. 3. Motion speed value depending on track superstructure for tangent (a) and curved (b) sections

Допустимі швидкості руху визначались за результатами порівняння отриманих динамічних показників з їх допустимими значеннями згідно з Нормами [8].

Допустимі величини динамічних показників для вантажних вагонів наведені в табл. 2.

Таблиця 1

## Типи верхньої будови колії (ВБК)

Table 1

## Types of track superstructure

№ п/п	Тип верхньої будови колії
1	Р43(6) 1 600 П
2	Р430(6) 1 840, 2 000 П
3	Р43(6) 1 600 Гр
4	Р430(6) 1 840, 2 000 Гр
5	Р43(6) 1 600 Щ
6	Р43(6) 1 840, 2 000 Щ
7	Р50(6) 1 600 Щ, Гр, П
8	Р50(6) 1 840, 2 000 Щ, Гр, П
9	Р65(6) 1 600 Щ, Гр, П
10	Р65(6) 1 840, 2 000 Щ, Гр, П і важче

Таблиця 2

## Допустимі динамічні показники для вантажних вагонів

Table 2

## Permissible dynamic coefficients for freight cars

Критерій	Завантажений вагон	Порожній вагон
[Кдв]	0,8	0,85
[Кдг]	0,4	0,4
[Кст]	1,3	1,3
[Н <sub>р</sub> /Р <sub>о</sub> ]	0,3	0,38
[a <sub>г</sub> ]	0,3	0,3
[a <sub>в</sub> ]	0,6	0,7

Серед всіх пар тертя при визначенні динамічної навантаженості вантажних вагонів однією з домінуючих є тертя в системі «кузов – візок». Саме дослідженню цієї системи у зв'язку із технічним станом ходових частин вантажних вагонів та визначенню їхніх основних динамічних показників і присвячене це дослідження.

Опорне з'єднання кузова і візків є найважливішою підсистемою вантажного вагона, від правильного вибору конструктивної схеми і параметрів якої багато в чому залежать як його динамічні, так і інші техніко-економічні харак-

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

теристики. Кузов вагона під час руху здійснює коливання і кутові повороти відносно вертикальної, поздовжньої і поперечної горизонтальної осей. Основним опорним з'єднанням кузова і візка є п'ятник – підп'ятник, в якому реалізуються момент тертя, який перешкоджає повороту візка довкола вертикальної осі, а також сили тертя, які перешкоджають кутовому переміщенню кузова на підп'ятнику візка.

Основне функціональне призначення ковзунів на кузові і надресорній балці полягає в запобіганні надмірному перевалюванню кузова на підп'ятнику візка і зменшенні бічного качання та вилання. При цьому момент тертя в опорному з'єднанні «п'ятник – підп'ятник – ковзуни» не повинен перевищувати певних величин для того, щоб не було надмірної дії на колію, колісні пари та букси візка.

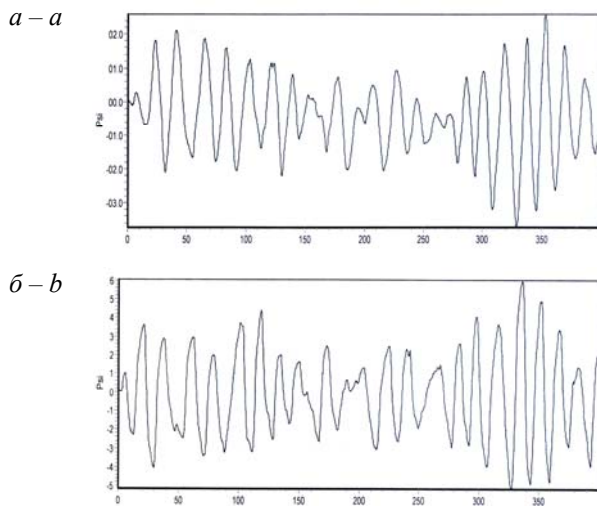


Рис. 4. Осцилограми відносних кутових переміщень об'єктів зв'язку «кузов – надресорна балка» в прямих ділянках колії:  
а – переміщення кузова; б – переміщення надресорної балки

Fig. 4. Oscillograms of relative angular displacement of objects of communication "body – bolster" in tangent track sections:  
a – body movement; b – bolster movement

Наведені на рис. 4, 5 осцилограми переміщень кузова та надресорної балки візка при русі вантажного вагона у прямих та кривих ділянках колії безперечно демонструють наявність автоколивань. Цей процес вказує на те, що в ковзунах реалізуються моменти тертя, які перешкоджають виланню візка, та сили тертя. Однак, не зважаючи на те, що ковзуни кузова

і візка взаємодіють між собою, значення коефіцієнта тертя не робить істотного впливу на основні динамічні показники.

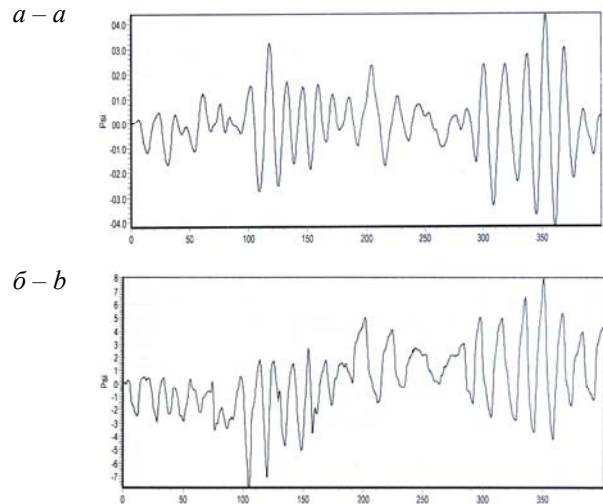


Рис. 5. Осцилограми відносних кутових переміщень об'єктів зв'язку «кузов – надресорна балка» в кривих ділянках колії:  
а – переміщення кузова; б – переміщення надресорної балки

Fig. 5. Oscillograms of relative angular displacement of objects of communication "body – bolster" in curved track sections:  
a – body movement; b – bolster movement

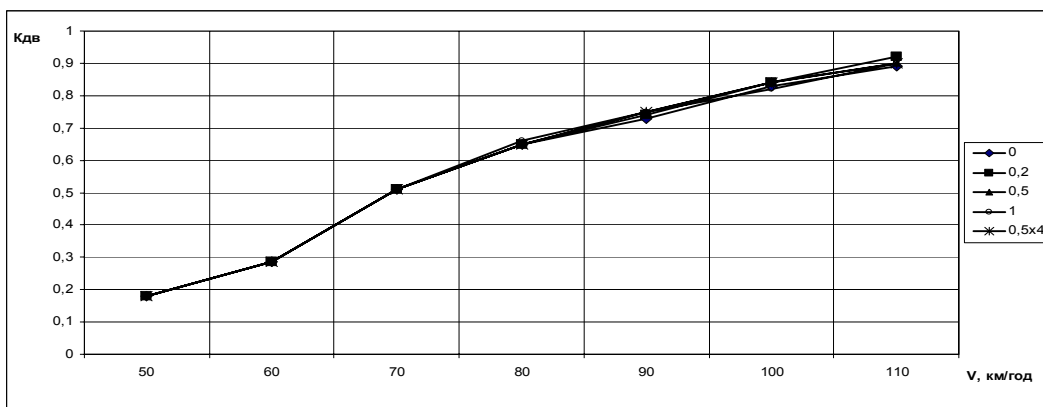
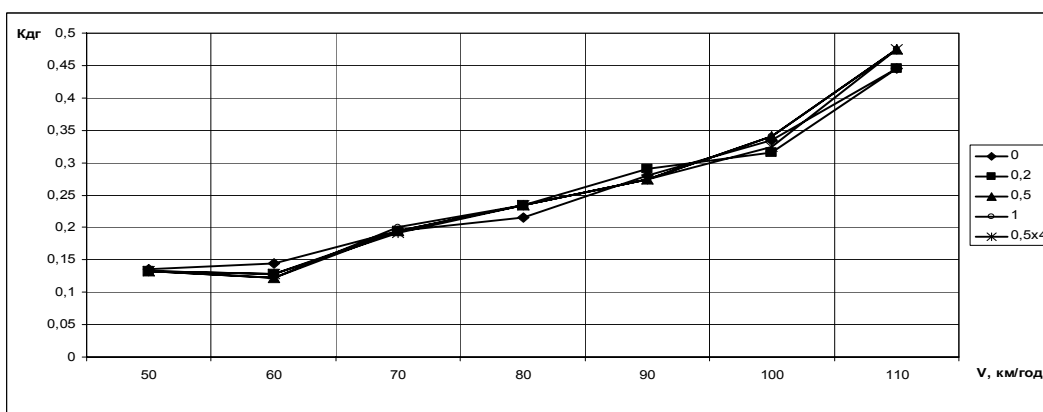
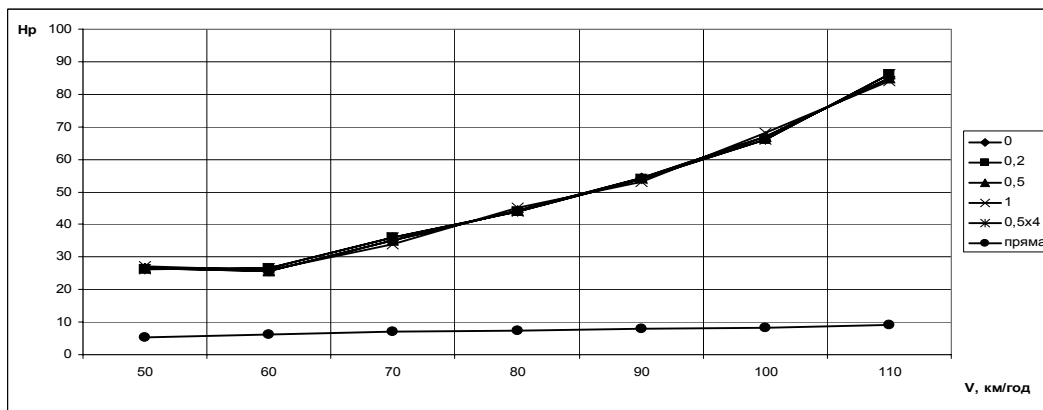
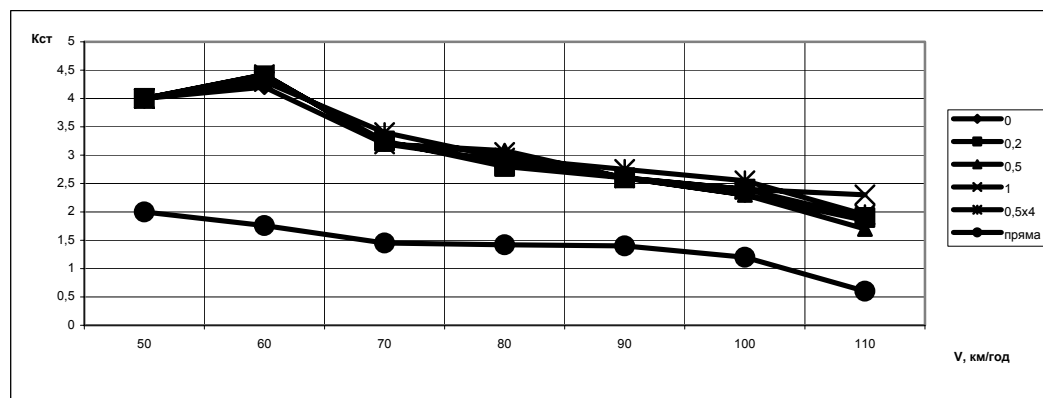
## Результати

В дослідженні впливу тертя на динамічну навантаженість вагона розглянуто декілька станів:

- нормальний, при якому коефіцієнт демпфірування прийнято рівним 1;
- стан із пониженим тертям, який виникає в конструкції візка при завищенні клина порівнянні з нормальним станом, в цьому випадку коефіцієнт  $\phi$  прийнято рівним 0,2 або 0,5;
- передемпфований стан системи, при якому коефіцієнт  $\phi$  прийнято рівним 1,5;
- повна відсутність тертя в системі, при цьому коефіцієнт  $\phi$  прийнято рівним 0.

За результатами виконаних розрахунків побудовано графіки залежності основних динамічних показників (рис. 6): коефіцієнтів вертикальної та горизонтальної динаміки; рамної сили; коефіцієнта стійкості; горизонтальне та вертикальне прискорення кузова чотиривісного вантажного піввагона з урахуванням швидкості руху від значення коефіцієнта тертя в системі «кузов – візок».

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

 $a - a$  $b - b$  $b - c$  $c - d$ 

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

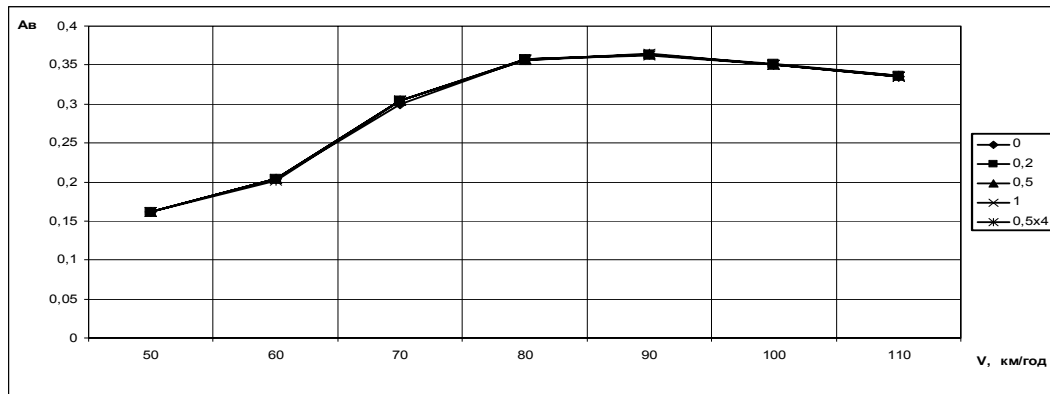
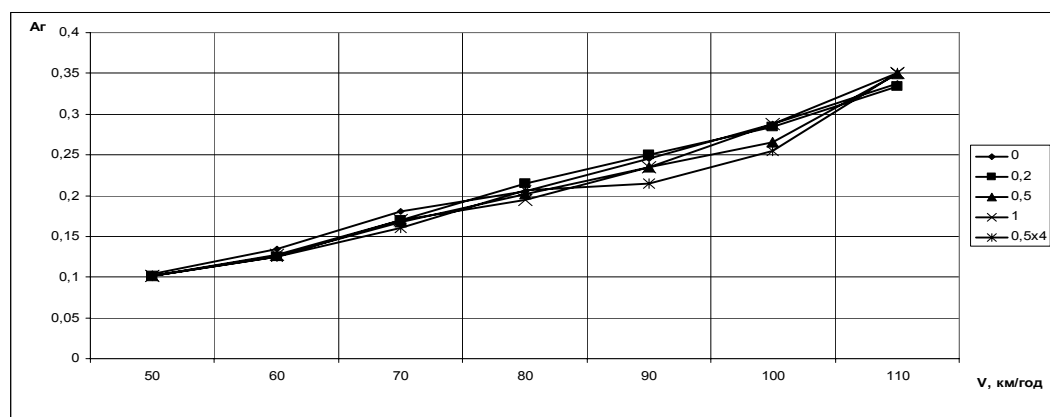
 $d - e$  $e - f$ 

Рис. 6. Діаграми зміни динамічних показників від швидкості руху:

$a$  – коефіцієнт вертикальної динаміки;  $b$  – коефіцієнт горизонтальної динаміки;  $c$  – рамна сила;  
 $d$  – коефіцієнт стійкості;  $e$  – вертикальне прискорення кузова;  $f$  – горизонтальне прискорення кузова

Fig. 6. Diagram of change for dynamic performance from motion speed:

$a$  – vertical dynamic coefficient;  $b$  – horizontal dynamic coefficient;  $c$  – frame force;  
 $d$  – derailment coefficient;  $e$  – vertical acceleration of body;  $f$  – horizontal acceleration of body

З наведених графіків видно, що основні динамічні показники чотиривісного вантажного вагона істотно не залежать від коефіцієнта тертя і при швидкості руху до 100 км/год знаходяться в межах допустимих значень, які відповідають Нормам [8].

При швидкості руху 110 км/год коефіцієнти вертикальної та горизонтальної динаміки перевищують допустимі значення. Горизонтальні прискорення кузова набувають допустимих значень вже при 100 км/год. Встановлена допустима швидкість руху вагонів по прямих та кривих ділянках колії – 90 км/год – підтверджується цим дослідженням.

Наведені результати теоретичних досліджень дозволяють зробити висновок, що істотний вплив на показники безпеки руху мають не тільки параметри тертя в опорному з'єднанні «п'ятник – підп'ятник – ковзуни» вантажного

вагона в порожньому і завантаженому стані з візками ЦНИИ-ХЗ (модель 18-100), а й інші складові динаміки руху вантажного вагона, а саме: радіуси кривих ділянок колії, висота зовнішньої рейки тощо.

### Наукова новизна та практична значимість

Робота «Дослідження впливу показників тертя на динаміку вантажного вагона» полягає в дослідженні впливу тертя на динамічну завантаженість вагона з використанням нових підходів до вирішення задачі прогнозування динаміки рухомого складу за допомогою програмного комплексу «Dynamics of Rail Vehicles» («DYNRAIL»). Наукове значення цієї статті полягає також у тому, що вперше на значно оновленому теоретичному матеріалі, який охоплює всю історію розвитку теорії тертя і вклю-



## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

чає результати новітніх експериментальних досліджень, комплексно досліджено та показано у взаємозв'язку процеси динамічної завантаженості рухомого складу.

Практична значимість роботи полягає в тому, що одержувані результати мають практичну спрямованість. В ході виконання теоретичних досліджень та після моделювання з поліпшеним методом урахування процесів тертя отримано залежності основних динамічних показників чотиривісного вантажного піввагона від значення коефіцієнта тертя у системі «кузов – візок» з урахуванням швидкості руху. Результати досліджень знайшли своє наукове використання в низці публікацій авторів у спеціальних та науково-популярних виданнях, виступах на наукових конференціях.

## Висновки

В результаті досліджень отримано залежності основних динамічних показників чотиривісного вантажного вагона від параметрів ковзунів з урахуванням швидкості руху.

Таким чином, отримані результати розрахунків дозволяють об'єктивно оцінити вплив технічного стану ходових частин вагонів на показники безпеки руху.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аппель, П. Статика. Динамика точки / П. Аппель. – М. : Гос. изд. физико-матем. лит., 1960. – 515 с.
2. Бондаренко, А. А. Теоретична механіка / А. А. Бондаренко, О. О. Дубінін, О. М. Переславцев. – К. : Знання, 2004. – 590 с.
3. Вериго, М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериго, А. Я. Коган. – М. : Транспорт, 1986. – 560 с.
4. Вершинский, С. В. Динамика вагона / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, В. Д. Хусидов. – М. : Транспорт, 1991. – 360 с.
5. Динамика грузовых вагонов с учетом поперечного смещения тележек / Н. И. Луханин, С. В. Мямлин, Л. А. Недужая, А. А. Швець // 36. наук. пр. ДонІЗТ. – Донецьк, 2012. – Вип. 29. – С. 234–241.
6. Лазарян, В. А. Динамика вагонов / В. А. Лазарян. – М. : Транспорт, 1964. – 256 с.
7. Лазарян, В. А. Динамика транспортных средств / В. А. Лазарян. – К. : Наукова думка, 1985. – 528 с.
8. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) (с изменениями и дополнениями № 1 (с 01.02.2000 г.) и № 2 (с 01.03.2002 г.)). – М. : ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 352 с.
9. Определение допускаемых скоростей движения грузовых вагонов по ж.-д. путям колеи 1520 мм / В. Д. Данович, В. В. Рыбкин, С. В. Мямлин и др. // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2003. – Вип. 2. – С. 77–86.
10. Офіційний веб-сайт Укрзалізниці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.uz.gov.ua](http://www.uz.gov.ua). – Назва з екрана.
11. Павловський, М. А. Теоретична механіка : підруч. для студ. вищих навч. закладів / М. А. Павловський. – К. : Техніка, 2002. – 512 с.
12. Свидетельство о регистрации авторского права на произведение № 7305. Компьютерная программа «Dynamics of Rail Vihscles» («DYNRAIL») / С. В. Мямлин ; зарегистр. 20.03.2003.
13. Сергиенко, Н. И. Состояние и перспективы развития вагонного хозяйства Укрзалізниці / Н. И. Сергиенко // Вагон. парк. – 2011. – № 9. – С. 4–13.
14. Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики : учебн. для вузов / С. М. Тарг. – М. : Высш. шк., 1986. – 416 с.
15. Шадур, Л. А. Вагоны. Конструкция, теория и расчет / под. ред. Л. А. Шадура. – М. : Транспорт, 1980. – 440 с.
16. Bubnov, V. M. Dynamic performance of freight cars on bogies model 18-1711 / V. M. Bubnov, S. V. Myamlin, N. V. Mankevych // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 4 (46). – С. 118–126.
17. Determination of Dynamic Performance of Freight Cars Taking Into Account Technical Condition of Side Bearers / S. Myamlin, L. Neduzha, O. Ten, A. Shvets // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 1 (43). – С. 162–169.
18. Myamlin, S. Construction Analysis of Mechanical Parts of Locomotives / S. Myamlin, M. Luchanin, L. Neduzha // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2013. – Vol. 13, № 3. – P. 162–169.
19. Research of Friction Indices Influence on the Freight Car Dynamics / S. Myamlin, L. Neduzha, O. Ten, A. Shvets // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2013. – Vol. 13, № 4. – P. 159–166.
20. Spatial Vibration of Cargo Cars in Computer Modelling with the Account of Their Inertia Properties / S. Myamlin, A. Ten, L. Neduzha, A. Shvets // Proc. of 15th Intern. Conf. «Mechanika». – Kaunas, 2010. – P. 325–328.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

С. В. МЯМЛИН<sup>1\*</sup>, Л. А. НЕДУЖАЯ<sup>2\*</sup>, А. А. ШВЕЦ<sup>2</sup><sup>1\*</sup>Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 03, эл. почта sergeymyamin@gmail.com<sup>2\*</sup>Каф. «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 03, эл. почта nlorhen@i.ua<sup>2</sup>Каф. «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 03

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРЕНИЯ В СИСТЕМЕ «КУЗОВ – ТЕЛЕЖКА» НА ДИНАМИКУ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

**Цель.** Основными требованиями к конструкции вагонов нового поколения, согласно Программы обновления подвижного состава, являются требования, которые позволят снизить эксплуатационные расходы и повысить экономическую эффективность их использования с учетом достижений научно-технической мысли. В связи с актуальностью данной тематики работа посвящена исследованию влияния коэффициента трения в опорном соединении «пятник – подпятник – скользуны» грузовых вагонов на их основные динамические показатели – коэффициенты горизонтальной и вертикальной динамики, ускорения кузова, рамную силу, коэффициент устойчивости от схода с рельсов. **Методика.** Исследование проводилось методом численного интегрирования и математического моделирования динамической нагруженности грузового вагона с использованием программного комплекса «Dynamics of Rail Vehicles» («DYNRAIL»). **Результаты.** Исследования показали, что влияние на показатели безопасности движения имеют не только параметры трения в опорном соединении «пятник – подпятник – скользуны» грузового вагона в пустом и загруженном состоянии с тележками ЦНИИ-ХЗ (модель 18-100). Влияние имеют и другие составляющие динамики движения грузового вагона, а именно: радиусы кривых участков пути, высота наружного рельса и т.п. **Научная новизна.** Автором исследовано влияние трения на динамическую нагруженность вагона с использованием новых подходов к решению задачи прогнозирования динамики подвижного состава. Прогнозирование осуществлялось на значительно обновленном теоретическом материале, который охватывает всю историю развития теории трения и включает результаты новейших экспериментальных исследований с учетом скорости движения на прямых и кривых участках пути малого и среднего радиуса. **Практическая значимость.** Полученные результаты имеют практическую направленность. В ходе выполнения теоретических исследований и после моделирования с улучшенным методом учета процессов трения получены зависимости основных динамических показателей четырехосного грузового полувагона от значения коэффициента трения в системе «кузов – тележка» с учетом скорости движения. Результаты исследований нашли свое научное использование в ряде публикаций авторов в специальных и научно-популярных изданиях.

**Ключевые слова:** грузовые вагоны; скользуны тележек; скорость движения; прямые и кривые участки пути; динамические показатели

S. V. MYAMLIN<sup>1\*</sup>, L. O. NEDUZHJA<sup>2\*</sup>, A. O. SHVETS<sup>2</sup><sup>1\*</sup>Dep. «Cars and Wagon Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 03, e-mail sergeymyamin@gmail.com<sup>2\*</sup>Dep. «Structural Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 03, e-mail nlorhen@i.ua<sup>2</sup>Dep. «Structural Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 03

## DETERMINATION OF FRICTION PERFORMANCE INFLUENCE IN THE SYSTEM "BODY–BOGIE" ON THE FREIGHT CAR DYNAMICS

**Purpose.** The main requirements for the design of a new generation of cars, according to the Program of rolling stock renovation, are the requirements reducing the operating costs and increasing the cost-effectiveness of their use, taking into account the achievements of scientific and technical thought. Due to the urgency of this subject the paper

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

is devoted to the study of the friction coefficient influence in the bearing connection «center plate – center bowl – bearers» of freight cars on their main dynamic parameters – coefficients of horizontal and vertical dynamics, body acceleration, frame strength, derailment stability factor. **Methodology.** The study was conducted by numerical integration and mathematical modeling of the freight car dynamic loading using the software package «Dynamics of Rail Vehicles» («DYNRAIL»). **Findings.** Investigations have shown that the safety movement parameters are influenced by both the friction parameters in bearing connection «center plate – center bowl – bearers» of freight cars in empty and loaded state with bogies TSNII-X3 (model 18-100) and the other components of freight car dynamics, namely: radii of curved track sections, height of outer rail, etc. **Originality.** The author investigated the friction influence on the car dynamic loading using new approaches to solving the problem of predicting the rolling stock dynamics. Prediction was carried out on the basis of significantly updated theoretical material that covers all history of the friction theory and includes the results of recent experimental studies because of the speed on the straights and curves of small-and medium-range sections of the road. **Practical value.** The obtained results have practical orientation. During the research and after modeling with the improved method of accounting of friction processes dependencies of main dynamic parameters of a four-freight gondola on the value of the friction coefficient in the "body – bogie" with regard to speed were obtained. The results of scientific studies have found their scientific use in a number of author publications in the special scientific and popular publications.

**Keywords:** freight cars; side bearing; traveling speed; straight and curved track sections; dynamic performance

## REFERENCES

1. Appel P. *Statika. Dinamika tochki* [Statics. Particle dynamics]. Moscow, Gos. izd. fiziko-matem. liter. Publ., 1960. 515 p.
2. Bondarenko A.A., Dubinin O.O., Pereiaslavl'tsev O.M. *Teoretychna mekhanika* [Theoretical mechanics]. Kyiv., Znannia Publ., 2004. 590 p.
3. Verigo M.F., Kogan A.Ya. *Vzaimodeystviye puti i podvizhnogo sostava* [Railway track and rolling stock interaction]. Moscow, Transport Publ., 1986. 560 p.
4. Vershinskiy S.V., Danilov V.N., Khusidov V.D. *Dinamika vagona* [Car dynamics]. Moscow, Transport Publ., 1991. 360 p.
5. Lukhanin N.I., Myamlin S.V., Neduzhaya L.A., Shvets A.A. *Dinamika gruzovykh vagonov s uchetom poperechnogo smeshcheniya telezhek* [Freight cars dynamics, taking into account transversal displacement of the bogies]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu* [Proc. of the Donetsk Railway Transport Institute], 2012, issue 29, pp. 234-241.
6. Lazaryan V.A. *Dinamika vagonov* [Dynamics of cars]. Moscow, Transport Publ., 1964. 256 p.
7. Lazaryan V.A. *Dinamika transportnykh sredstv* [Dynamics of vehicles]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1985. 528 p.
8. *Normy dlya rascheta i proyektirovaniya vagonov zheleznikh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh)* [Standards for design and construction of railroads with 1520 mm track cars (non-self-propelled)]. Moscow, GosNIIIV-VNIIZhT Publ., 1996. 352 p.
9. Danovich V.D., Rybkin V.V., Myamlin S.V., Reydemeyster A.G., Tryakin A.G., Khalipova N.V. *Opredeleyeniye dopuskayemykh skorostey dvizheniya gruzovykh vagonov po zh.-d. putyam kolei 1520 mm* [Permissible velocity determination of the freight cars on the railroads with the 1520 mm tracks]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2003, issue 2, pp. 77-86.
10. *Ofitsiyniy veb-sait Ukrzaliznytsi* [Official web-site of Ukrzaliznytsia]. Available at: [www.uz.gov.ua](http://www.uz.gov.ua) (Accessed 21 January 2014).
11. Pavlovskiy M.A. *Teoretychna mekhanika* [Theoretical mechanics]. Kyiv, Tekhnika Publ., 2002. 512 p.
12. Myamlin S.V. *Kompyuternaya programma «Dynamics of Rail Vehicles»* [Software package «Dynamics of Rail Vehicles» («DYNRAIL»)]. Certificate of copyright registration on the invention], no. 7305, 2003.
13. Sergiyenko N.I. *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya vagonnogo khozyaystva Ukrzaliznytsi* [Condition and development prospects for Ukrzaliznytsia's car facilities]. *Vagonnyy park – Wagon fleet*, 2011, no. 9, pp. 4-13.
14. Targ S.M. *Kratkiy kurs teoreticheskoy mekhaniki* [Short course of theoretical mechanics]. Moscow, Vyssh. Shkola Publ., 1986. 416 p.
15. Shadur L.A. *Vagony: Konstruktsiya, teoriya i raschet* [Cars: construction, theory and calculation]. Moscow, Transport Publ., 1980. 440 p.

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

16. Bubnov V.M., Myamlin S.V., Mankevych N.V. Dynamic performance of freight cars on bogies model 18-1711. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2013, issue 4 (46), pp. 118-126.
17. Myamlin S., Neduzha L., Ten O., Shvets A. Determination of Dynamic Performance of Freight Cars Taking Into Account Technical Condition of Side Bearers. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 1 (43), pp. 162-169.
18. Myamlin S., Luchanin M., Neduzha L. Construction Analysis of Mechanical Parts of Locomotives. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*, 2013, vol. 13, no. 3, pp. 162-169.
19. Myamlin S., Neduzha L., Ten O., Shvets A. Research of Friction Indices Influence on the Freight Car Dynamics. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*, 2013, vol. 13, no. 4, pp. 159-166.
20. Myamlin S., Neduzha L., Ten O., Shvets A. Spatial Vibration of Cargo Cars in Computer Modelling with the Account of Their Inertia Properties. *Proc. of 15th Int. Conf. «Mechanika»*, 2010, pp. 325-328.

Стаття рекомендована д.т.н., проф. В. Л. Горобцем (Україна); д.т.н., проф. О. О. Бейгулом (Україна)

Надійшла до редколегії 04.02.2014

Прийнята до друку 13.03.2014

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

## УДК 514.8

С. А. УСТЕНКО<sup>1</sup>, С. В. ДІДАНОВ<sup>2\*</sup>, О. Ю. АГАРКОВ<sup>2</sup><sup>1</sup>Каф. «Математика і механіка», Миколаївський національний університет імені В. О. Сухомлинського, вул. Нікольська, 24, Миколаїв, Україна, 54030, тел. +38 (063) 479 90 61, ел. пошта [ustenko.s.a@gmail.com](mailto:ustenko.s.a@gmail.com)<sup>2\*</sup>Каф. «Інженерна графіка», Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, пр. Героїв Сталінграда, 9, Миколаїв, Україна, 54025, тел. +38 (0512) 39 73 82, ел. пошта [svdidanov@icloud.com](mailto:svdidanov@icloud.com)

## ДОСЛІДЖЕННЯ КРИВИХ ЛІНІЙ, ЗАДАНИХ КУБІЧНИМ РОЗПОДІЛОМ КРИВИНИ

**Мета.** Подальший розвиток геометричного моделювання криволінійних обводів різних об'єктів на основі заданого кубічного розподілу кривини та заданих значень кривини в граничних точках. **Методика.** Досліджується ділянка плоского криволінійного обводу, яка генерується за умови, що задано кубічний розподіл кривини. Крива розпочинається й закінчується в заданих точках, в яких також визначені кути нахилу дотичних та кривина. Отримано рівняння кривини цієї кривої, що залежить від довжини ділянки та коефіцієнта  $c$  кубічного розподілу кривини. Проведено аналіз отриманого рівняння, а також досліджено умови, при яких на кривій виникають точки перегину. Знаходиться такий інтервал зміни параметру (у залежності від вихідних даних та довжини ділянки), щоб точка перегину графіка кривини знаходилась поза межами ділянки кривої лінії. Визначено залежність кута нахилу дотичної до кривої в довільній її точці, а також надані рекомендації щодо розв'язання системи інтегральних рівнянь, що дозволить знайти довжину ділянки кривої та коефіцієнт  $c$  кубічного розподілу кривини. **Результати.** У результаті дослідження кривих ліній встановлено, що критерієм їх відбору можна вважати відсутність точок перегину кривини на ділянці, яка розглядається. Аналіз впливу параметра  $c$  на графік кута нахилу дотичної до кривої показав, що незалежно від його значення, забезпечується однаковий приріст кута нахилу дотичної до кривої. **Наукова новизна.** Удосконалено підхід до геометричного моделювання кривих ліній на основі кубічного розподілу кривини із заданими її значеннями в граничних точках шляхом усунення точок перегину з розглядуваної ділянки криволінійного обводу. **Практична значимість.** Криві, отримані за запропонованою методикою, можуть використовуватись для геометричного моделювання криволінійних обводів об'єктів у різних галузях промисловості.

**Ключові слова:** крива лінія; кубічний розподіл кривини; геометричне моделювання; точки перегину; кут нахилу дотичної; кривина криволінійного обводу

## Вступ

Сучасна прикладна геометрія досягла значних успіхів у моделюванні кривих ліній за заданими геометричними умовами. Такі задачі виникають під час геометричного моделювання об'єктів технологічно складних галузей промисловості (авіаційної, суднобудівної, машинобудівної, транспортної тощо) [4]. Це пов'язано з тим, що криві, які моделюються, мають задовольняти певні умови, що до них ставляться, наприклад проходити через задані точки, мати визначені в них кути нахилу дотичних і т.п.

Функціональні залежності, які описують ці криві, повинні дозволяти виконувати багатократне диференціювання, а їхні похідні відповідати критеріям неперервності. В цьому плані, однією з найважливіших характеристик кривих ліній об'єктів моделювання, є кривина.

При автоматизованому проектуванні процесів і об'єктів машинобудування та транспорту

найважливішим є геометричне моделювання різних елементів цих об'єктів і процесів. Цій тематиці присвячено велику кількість робіт, зокрема з моделювання лопаткових апаратів турбомашин [3, 11, 17]; з геометричного моделювання кривих ділянок залізничних колій [6, 8, 14, 19, 20]. Моделюванню криволінійних обводів заданого розподілу кривини в літературі також присвячено достатньо уваги. Різноманітні аспекти цього питання висвітлені в роботах [1, 2, 5, 7, 9, 10, 16, 18], а у роботах [12, 15] розглянуті питання геометричного моделювання кривих ліній із заданим кубічним розподілом кривини.

## Мета

Метою статті є подальший розвиток геометричного моделювання криволінійних обводів різних об'єктів на основі заданого кубічного розподілу кривини.

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Робота є продовженням досліджень з геометричного моделювання кривих ліній із застосуванням заданого закону розподілу кривини та заданими значеннями кривини в граничних точках [15], які виконуються авторами.

**Методика**

Розглянемо ділянку плоского криволінійного обводу, зображену на рис. 1, де застосовані такі позначення:  $S$  – довжина дуги обводу;  $ds$  – диференціал дуги;  $\varphi(0)$  і  $\varphi(S)$  – кути нахилу дотичних у початковій і кінцевій точках дуги обводу.

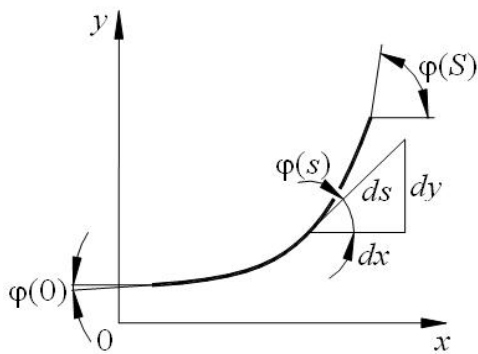


Рис. 1. Ділянка криволінійного обводу

Fig. 1. Section of curvilinear contour

Ця ділянка утворена на основі заданого розподілу кривини  $K(s)$ , графік якого зображено на рис. 2.

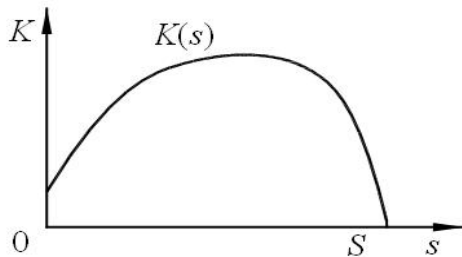


Рис. 2. Графік розподілу кривини

Fig. 2. Graph of curvature distribution

Диференціал дуги  $ds$  за відомим значенням кута нахилу до осі абсцис дорівнює:

$$ds = d\varphi / K(s).$$

З цієї формули шляхом інтегрування можна визначити кут нахилу дотичної до кривої в довільній точці:

$$\varphi(s) = \varphi(0) + \int_0^s K(s) ds.$$

Знайдемо рівняння кривої лінії, що утворюється заданим розподілом кривини. З рис. 1 випливає, що

$$dx = ds \cos \varphi(s);$$

$$dy = ds \sin \varphi(s).$$

Проінтегруємо ці вирази і отримаємо параметричні рівняння кривої, залежно від довжини дуги

$$x(s) = x(0) + \int_0^s \cos \varphi(s) ds;$$

$$y(s) = y(0) + \int_0^s \sin \varphi(s) ds.$$

Ці рівняння є рівняннями клотоїди. Інтеграли, що наведені в формулах, можна обчислити тільки за допомогою чиселового інтегрування, наприклад методом Сімпсона.

У випадках, коли потрібно в граничних точках кривої забезпечити не тільки кути нахилу дотичної, а й кривину, розглядається крива, яка генерується за умови, що задано кубічний графік розподілу кривини [15]:

$$K(s) = as^3 + bs^2 + cs + d, \quad (1)$$

де  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  – невідомі параметри розподілу кривини, що знаходяться в процесі моделювання кривої;  $s$  – довжина кривої лінії від початку до поточної точки.

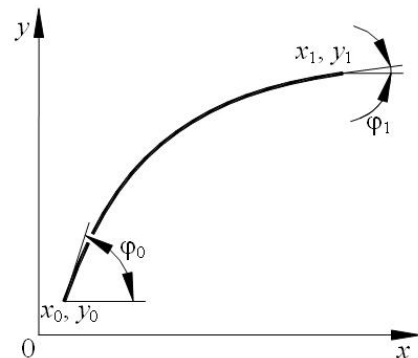


Рис. 3. Криволінійний обвід

Fig. 3. Curvilinear contour

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Початковими даними для моделювання плоского криволінійного обводу (рис. 3) є координати початкової  $x_0, y_0$  та кінцевої  $x_1, y_1$  точок, кути нахилу дотичних до кривої  $\varphi_0, \varphi_1$  і кривина кривої  $K_0, K_1$  в цих точках.

Згідно з результатами роботи [15], для визначення невідомих параметрів  $a, b$  і  $d$  розподілу кривини (1) слід скористатись такими виразами:

$$a = 2 \frac{-2 \frac{\Delta\varphi}{S} - (K_2 + 2K_1)}{S^2} + c;$$

$$b = 3 \frac{4 \frac{\Delta\varphi}{S} - (K_2 + 3K_1)}{S} - c;$$

$$d = K_1,$$

де  $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_0$ .

Підставимо вирази параметрів до рівняння (1) та, перетворивши його, отримаємо:

$$K(s) = \phi_1(s, S) + c\phi_2(s, S),$$

де

$$\phi_1(s, S) = \frac{1}{S^3} \left[ K_2 s^2 (4s - 3S) + K_1 (s - S) \times \right. \\ \left. \times (8s^2 - sS - S^2) - 12\Delta\varphi \frac{s^2}{S} (s - S) \right];$$

$$\phi_2(s, S) = \frac{s}{S^2} (s - S)(2s - S).$$

Дослідимо вплив вихідних даних та невідомих параметрів на кубічний графік розподілу кривини. Побудуємо графік для таких вхідних даних: кривина в граничних точках кривої  $K_1 = 0$  і  $K_2 = -0,1$  відповідно; відносна довжина кривої  $S = 1$ ; приріст кута нахилу дотичної до кривої  $\Delta\varphi = -60^\circ$ ; параметр кривини  $c$ , що змінюється від  $-1$  до  $-5$  з кроком 1 (рис. 4).

Як довжина кривої взяте відносно значення, оскільки в багатьох випадках при моделюванні обводів об'єктів різних галузей промисловості розміри ділянок кривих вимірюються метрами, а кривина в граничних точках змінюється від 0 до тисячних. Так, існують об'єкти великих роз-

мірів, для яких характерні дуже малі значення кривини, наприклад довжина перехідної кривої ділянки залізничного шляху дорівнює 300 м, а її кривина змінюється від 0 (на початку) до  $1/4\,000$  (в кінці). І навпаки, розміри достатньо малі, а значення кривини великі, наприклад ширина профілів лопаток турбомашини вимірюється в мм, тобто  $10^{-3}$  м, а кривина в районі вхідної кромки сягає  $10^3$ . Все це є сприятливим для виникнення великих похибок обчислення [13].

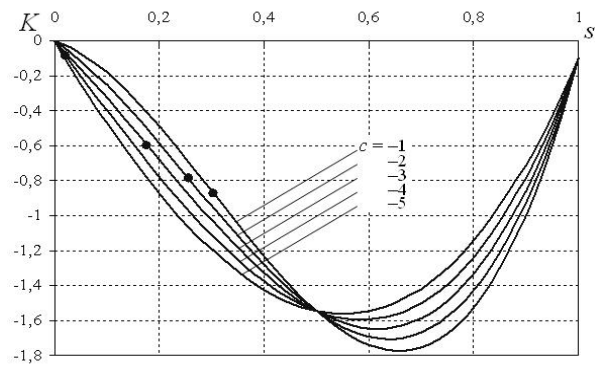


Рис. 4. Вплив параметра  $c$  на кубічний графік розподілу кривини

Fig. 4. Influence of parameter  $c$  on cubic graph of curvature distribution

Отже, потрібно скористатись розподілом кривини одиничної довжини, а потім застосувати масштабування криволінійного обводу.

На рисунку зображені точки перегину графіка кривини, координати яких знаходяться за допомогою таких виразів:

$$S_0 = \frac{S}{2} \left[ 1 - \frac{2\Delta\varphi - S(K_2 + K_1)}{6\Delta\varphi - 2S(K_2 + 2K_1) - cS^2} \right], \quad (2)$$

а з урахуванням того, що взята відносна довжина кривої лінії

$$S_0 = \frac{1}{2} \left[ 1 - \frac{2\Delta\varphi - (K_2 + K_1)}{6\Delta\varphi - 2(K_2 + 2K_1) - c} \right].$$

Критерієм відбору кривих можна вважати відсутність точок перегину кривини на ділянці, що розглядається.

В цьому випадку треба знайти такий інтервал зміни параметра  $c$ , щоб точка перегину графіка кривини знаходилась поза межами ділянки кривої лінії, тобто  $S_0 < 0$  або  $S_0 > S$ .



## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Підставимо вираз (2) до обмежень і після перетворень отримаємо:

$$\frac{8\Delta\varphi}{S^2} - \frac{5K_1 + 3K_2}{S} < c < \frac{4\Delta\varphi}{S^2} - \frac{3K_1 + K_2}{S} \quad (3)$$

або для відносної довжини

$$8\Delta\varphi - (5K_1 + 3K_2) < c < 4\Delta\varphi - (3K_1 + K_2).$$

Для заданих вхідних даних отримано інтервал зміни параметра  $c$ , при якому на заданій ділянці будуть відсутні точки перегину:

$$-8,07758 < c < -4,08879.$$

Залежність для визначення кута нахилу дотичної до кривої в довільній її точці буде:

$$\varphi(s) = \varphi_0 + \Phi_1(s, S) + c\Phi_2(s, S), \quad (4)$$

де

$$\begin{aligned} \Phi_1(s, S) &= \frac{s}{S^3} \left[ K_2 s^2 S(s - S) + K_1(s - S) \times \right. \\ &\quad \left. \times (2s^2 - sS - S^2) + \Delta\varphi \frac{s^2}{S} (4S - 3s) \right]; \\ \Phi_2(s, S) &= \frac{s^2}{2S^2} (s - S)^2. \end{aligned}$$

На основі вхідних даних із попереднього прикладу побудуємо графік розподілу кута нахилу дотичної до кривої, що моделюється. Додатковими даними для побудови графіка буде кут нахилу дотичної в початковій точці кривої  $\varphi_0 = 70^\circ$ . Результати моделювання залежності кута нахилу дотичної до кривої від відносної довжини зображені на рис. 5.

Як видно з рисунка, незалежно від значення параметра  $c$  формули забезпечують однаковий приріст кута нахилу дотичної до кривої.

З урахуванням вище наведеного, залежність для визначення кута нахилу дотичної до кривої в довільній її точці буде:

$$\varphi(s) = \varphi_0 + \Phi_1(s, S) + c\Phi_2(s, S),$$

де

$$\Phi_1(s, S) = \frac{s^3}{S^3} \left[ s(K_2 + 2K_1) - S(K_2 + 3K_1) - \right.$$

$$\left. -\Delta\varphi \left( 3\frac{s}{S} - 4 \right) \right] + K_1 s;$$

$$\Phi_2(s, S) = s^2 \left( \frac{s^2}{S^2} - \frac{5s}{3S} + \frac{1}{2} \right).$$

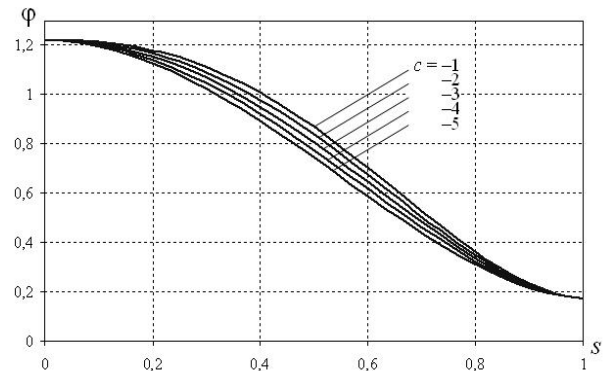


Рис. 5. Вплив параметра  $c$  на графік кута нахилу дотичної до кривої, що моделюється

Fig. 5. Influence of parameter  $c$  on graph of angle of tangential slope to the curve, which is being modeling

Для моделювання криволінійних обводів із заданими значеннями кривини в граничних точках визначимо параметричне рівняння кривої, в якому за параметр прийнято довжину дуги. Згідно з результатами роботи [15], воно матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned} x(s) &= x_0 + \int_0^s \cos(\varphi_0 + \Phi_1(s, S) + c\Phi_2(s, S)) ds; \\ y(s) &= y_0 + \int_0^s \sin(\varphi_0 + \Phi_1(s, S) + c\Phi_2(s, S)) ds. \end{aligned} \quad (4)$$

Інтеграли, що наведені у виразах (4), аналітично не беруться, але їх можна обчислити, застосувавши методи числового інтегрування.

Підставивши у рівняння (4) координати кінцевої точки кривої, отримаємо систему двох інтегральних рівнянь з двома невідомими:

$$\begin{cases} x_1 - x_0 - \int_0^s \cos(\varphi_0 + \Phi_1(s, S) + c\Phi_2(s, S)) ds = 0; \\ y_1 - y_0 - \int_0^s \sin(\varphi_0 + \Phi_1(s, S) + c\Phi_2(s, S)) ds = 0. \end{cases}$$

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Для знаходження невідомих можна застосувати числовий метод Ньютона, призначений для розв'язування систем трансцендентних рівнянь. Але цей метод передбачає наявність похідних від усіх рівнянь за невідомими змінними. У нашому випадку вони мають такий вигляд:

$$\frac{\partial f_1}{\partial c} = - \int_0^S \Phi_2(s, S) \sin \varphi(s) ds ;$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial c} = \int_0^S \Phi_2(s, S) \cos \varphi(s) ds ;$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial S} = \frac{1}{S} \int_0^S \left[ \cos \varphi(s) - \left( S \frac{\partial \varphi}{\partial S} + s K(s) \right) \sin \varphi(s) \right] ds ;$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial S} = \frac{1}{S} \int_0^S \left[ \sin \varphi(s) + \left( S \frac{\partial \varphi}{\partial S} + s K(s) \right) \cos \varphi(s) \right] ds ,$$

де

$$\frac{\partial \varphi}{\partial S} = \frac{\partial \Phi_1}{\partial S} + c \frac{\partial \Phi_2}{\partial S} ;$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_1}{\partial S} = \frac{s^3}{S^4} & \left[ K_2 S (S - 2s) - \right. \\ & \left. - 6K_1 (s - S) + \frac{12\Delta\varphi}{S} (s - S) \right] ; \\ \frac{\partial \Phi_2}{\partial S} = \frac{s^3}{S^3} & (S - s) . \end{aligned}$$

Для застосування числового методу Ньютона, потрібно взяти початкові значення невідомих параметрів. У зв'язку з тим, що за невідомі були обрані довжина кривої та коефіцієнт  $c$ , то можна взяти такі значення:

– для довжини – відстань по прямій між граничними точками плоского криволінійного обводу;

– для коефіцієнта  $c$  – із інтервалу (3).

### Результати

В результаті дослідження кривих ліній, отриманих із застосуванням кубічного розподілу кривини з заданими значеннями кривини в граничних точках, встановлено, що критерієм відбору змодельованих кривих можна вважати

відсутність точок перегину кривини на ділянці, що розглядається. Інтервал зміни параметра  $c$  буде знаходитись на основі нерівності (3).

Аналіз впливу параметра  $c$  на графік кута нахилу дотичної до кривої, яка моделюється, показав, що незалежно від значення параметра  $c$  формула (4) забезпечує однаковий приріст кута нахилу дотичної до кривої.

### Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна полягає в удосконаленні підходу до геометричного моделювання кривих ліній на основі кубічного розподілу кривини із заданими її значеннями в граничних точках, шляхом усунення точок перегину з розглядуваної ділянки криволінійного обводу.

Криві, отримані за запропонованою методикою, можуть використовуватись для геометричного моделювання криволінійних обводів об'єктів в різних галузях промисловості, наприклад для подання профілів лопаткових апаратів турбомашин різного конструктивного оформлення та цільового призначення, під час моделювання перехідних кривих ділянок залізничної колії тощо.

### Висновки

Таким чином, удосконалено підхід до геометричного моделювання плоских криволінійних обводів на основі кубічного розподілу кривини із заданими значеннями кривини в граничних точках. Встановлено, що критерієм відбору змодельованих кривих можна вважати відсутність точок перегину кривини на ділянці, що розглядається. Отриманий підхід можна використовувати під час побудови профілів лопаткових апаратів турбомашин, перехідних кривих залізничних колій тощо.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агарков, О. Ю. Застосування формул Серре-Френе до моделювання кривих, що проходять через задані точки площини або простору / О. Ю. Агарков // Приклад. геометрія та інж. графіка : пр. Тавр. держ. агротехнолог. ун-ту. – Мелітополь, 2013. – Т. 57, вип. 4. – С. 3–9.
2. Бадаєв, С. Ю. Криволінійний сегмент на основі інтегральної кривої / С. Ю. Бадаєв, Є. О. Боро-

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- вік // Приклад. геометрія та інж. графіка / КНУБА. – К., 2009. – Вип. 81. – С. 213–217.
3. Байдабеков, А. К. Геометрический метод конструирования лопатки вентилятора / А. К. Байдабеков // Приклад. геометрія та інж. графіка / КНУБА. – К., 2010. – Вип. 83. – С. 93–97.
4. Ванін, В. В. Геометричне моделювання – одна з основ автоматизованого проектування об'єктів і процесів машинобудування / В. В. Ванін, Г. А. Вірченко // Приклад. геометрія та інж. графіка : пр. Тавр. держ. агротехнолог. ун-ту. – Мелітополь, 2009. – Т. 43, вип. 4 – С. 3–10.
5. Гавриленко, Є. А. Визначення границь діапазонів положення дотичних до обводу з монотонною зміною кривини / Є. А. Гавриленко // Приклад. геометрія та інж. графіка : пр. Тавр. держ. агротехнолог. ун-ту. – Мелітополь, 2005. – Т. 29, вип. 4. – С. 54–58.
6. Діданов, С. В. Форми перехідних кривих залізничного шляху / С. В. Діданов // Приклад. геометрія, дизайн та об'єкти інтелект. власності : матеріали II-ї міжнар. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчен. – К. : ДІА, 2013. – Вип. 2. – С. 55–59.
7. Довгалюк, В. Б. Геометричний аналіз структури струмин, що настиляються на поверхні різної кривини / В. Б. Довгалюк, В. О. Мілейковський // Приклад. геометрія та інж. графіка / КНУБА. – К., 2012. – Вип. 89. – С. 156–165.
8. Курган, М. Б. Перебудова кривих для впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів / М. Б. Курган, М. А. Гусак, Н. П. Хмелевська // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 40. – С. 90–97.
9. Михайленко, В. Є. Дискретне моделювання на базі інтегральної моделі кривої / В. Є. Михайленко, В. Г. Лі // Приклад. геометрія та інж. графіка / КНУБА. – К., 1999. – Вип. 66. – С. 3–8.
10. Пустюльга, С. І. Дискретне моделювання кривих за заданими функціями зміни кривини та скруту / С. І. Пустюльга, В. Р. Самостян // Сучасні пробл. геометр. моделювання : міжвузів. зб. (за напр. «Інженерна механіка»). – Луцьк, 2008. – Вип. 22, ч. 1. – С. 286–292.
11. Спирінцев, Д. В. Геометричне моделювання профілю плоских перерізів пера лопатки компресора / Д. В. Спирінцев // Геометричне та комп'ютерне моделювання : пр. Харк. держав. ун-ту харч. та торгівлі / ХДУХТ. – Х., 2009. – Вип. 22. – С. 156–161.
12. Устенко, С. А. Моделювання кривої із застосуванням кубічного закону розподілу її кривини / С. А. Устенко // Вісн. Херсон. нац. техн. ун-ту. – Херсон, 2008. – Вип. 31. – С. 480–484.
13. Устенко, С. А. Нормалізація графіків розподілу кривини / С. А. Устенко // Приклад. геометрія та інж. графіка : пр. Тавр. держ. агротехнолог. ун-ту. – Мелітополь, 2013. – Т. 56, вип. 4 – С. 227–231.
14. Устенко, С. А. Метод побудови просторової перехідної кривої / С. А. Устенко, С. В. Діданов // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 2 (44). – С. 124–128.
15. Устенко, С. А. Геометричне моделювання кривих ліній із заданою кривиною в граничних точках / С. А. Устенко, С. В. Діданов, О. Ю. Агарков // Приклад. геометрія та інж. графіка / КНУБА. – К., 2011. – Вип. 87. – С. 404–409.
16. Фокс, А. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве / А. Фокс, М. Пратт. – М. : Мир, 1982. – 304 с.
17. Ebaid, M. S. Y. A unified approach for designing a radial flow gas turbine / M. S. Y. Ebaid, F. S. Bhinder, G. H. Khdaire // Transactions of the ASME. – 2003. – Vol. 125, July. – P. 598–606.
18. Farin, G. Curves and surfaces for computer-aided geometric design : a practical guide / G. Farin. – Academic Press Inc., 1997. – [4-th edition]. – 447 p.
19. Lipicnik, M. New form of road/railway transition curve / M. Lipicnik // J. of Transportation Engineering, 1998. – November / December. – P. 546–556.
20. Tari, E. A new transition curve with enhanced properties / E. Tari, O. Baykal // Canadian j. of Civil Engineering, 2005. – Vol. 32. – P. 913–923.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

С. А. УСТЕНКО<sup>1</sup>, С. В. ДИДАНОВ<sup>2\*</sup>, А. Ю. АГАРКОВ<sup>2</sup><sup>1</sup>Каф. «Математика и механика», Николаевский национальный университет имени В. А. Сухомлинского,  
ул. Никольская, 24, Николаев, Украина, 54030, тел. +38 (063) 479 90 61, эл. почта ustenko.s.a@gmail.com<sup>2\*</sup>Каф. «Инженерная графика», Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова,  
пр. Героев Сталинграда, 9, Николаев, Украина, 54025, тел. +38 (0512) 39 73 82, эл. почта svdidanov@icloud.com

## ИССЛЕДОВАНИЕ КРИВЫХ ЛИНИЙ, ЗАДАНЫХ КУБИЧЕСКИМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ КРИВИЗНЫ

**Цель.** Дальнейшее развитие геометрического моделирования криволинейных обводов разных объектов на основе заданного кубического распределения кривизны и заданных значений кривизны в граничных точках. **Методика.** Исследуется участок плоского криволинейного обвода, генерирующегося при условии, что задано кубическое распределение кривизны. Кривая начинается и заканчивается в заданных точках, в которых также определены углы наклона касательных и кривизна. Получено уравнение кривизны этой кривой, зависящее от длины участка и коэффициента  $c$  кубического распределения кривизны. Проведен анализ полученного уравнения, а также исследованы условия, при которых на кривой возникают точки перегиба. Находится такой интервал изменения параметра (в зависимости от входных данных и длины участка), чтобы точка перегиба графика кривизны находилась вне границ участка кривой линии. Определена зависимость угла наклона касательной к кривой в произвольной ее точке, а также даны рекомендации по решению системы интегральных уравнений, которые позволяют найти длину участка кривой и коэффициент  $c$  кубического распределения кривизны. **Результаты.** В результате исследования кривых линий установлено, что критерием их выбора можно считать отсутствие точек перегиба кривизны на рассматриваемом участке. Анализ влияния параметра  $c$  на график угла наклона касательной к кривой показал, что независимо от его значения обеспечивается одинаковое приращение угла наклона касательной к кривой. **Научная новизна.** Усовершенствован подход к геометрическому моделированию кривых линий на основе кубического распределения кривизны с заданными ее значениями в граничных точках путем устранения точек перегиба из рассматриваемого участка криволинейного обвода. **Практическая значимость.** Кривые, полученные по предложенной методике, могут использоваться для геометрического моделирования криволинейных обводов объектов в разных отраслях промышленности.

**Ключевые слова:** кривая линия; кубическое распределение кривизны; геометрическое моделирование; точки перегиба; угол наклона касательной; кривизна криволинейного обвода

S. A. USTENKO<sup>1</sup>, S. V. DIDANOV<sup>2\*</sup>, O. YU. AGARKOV<sup>2</sup><sup>1</sup>Dep. «Mathematics and Mechanics», Nikolayev National University named after V. A. Sukhomlynskyi, Nikolskaya St., 24,  
Nikolayev, Ukraine, 54030, tel. +38 (063) 479 90 61, e-mail ustenko.s.a@gmail.com<sup>2\*</sup>Dep. «Engineering Graphics», National University of Shipbuilding named after Admiral Makarov, Geroyev Stalingrada St., 9,  
Nikolayev, Ukraine, 54025, tel. +38 (0512) 39 73 82, e-mail svdidanov@icloud.com

## INVESTIGATION OF CURVES SET BY CUBIC DISTRIBUTION OF CURVATURE

**Purpose.** Further development of the geometric modeling of curvilinear contours of different objects based on the specified cubic curvature distribution and setpoints of curvature in the boundary points. **Methodology.** We investigate the flat section of the curvilinear contour generating under condition that cubic curvature distribution is set. Curve begins and ends at the given points, where angles of tangent slope and curvature are also determined. It was obtained the curvature equation of this curve, depending on the section length and coefficient  $c$  of cubic curvature distribution. The analysis of obtained equation was carried out. As well as, it was investigated the conditions, in which the inflection points of the curve are appearing. One should find such an interval of parameter change (depending on the input data and the section length), in order to place the inflection point of the curvature graph outside the curve section borders. It was determined the dependence of tangent slope of angle to the curve at its arbitrary point, as well as it was given the recommendations to solve a system of integral equations that allow finding the length of the curve section and the coefficient  $c$  of curvature cubic distribution. **Findings.** As the result of curves

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

research, it is found that the criterion for their selection one can consider the absence of inflection points of the curvature on the observed section. Influence analysis of the parameter  $c$  on the graph of tangent slope angle to the curve showed that regardless of its value, it is provided the same rate of angle increase of tangent slope to the curve.

**Originality.** It is improved the approach to geometric modeling of curves based on cubic curvature distribution with its given values at the boundary points by eliminating the inflection points from the observed section of curvilinear contours. **Practical value.** Curves obtained using the proposed method can be used for geometric modeling of curvilinear contours of objects in different industry branches.

**Keywords:** curve; cubic curvature distribution; geometric modeling; inflection points; angle of tangent slope; curvature of curvilinear contours

## REFERENCES

1. Aharkov O.Yu. Zastosuvannya formul Serre-Frene do modeliuvannya kryvykh, shcho prokhodiat cherez zadani tochky ploschyny abo prostoru [Application of Serret-Freinet formulas to curves simulation that pass through the given points of the plane or space]. *Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu «Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika»* [Proc. of Tavria State Agrotechnological University «Applied Geometry and Engineering Graphics»], 2013, vol. 57, issue 4, pp. 3-9.
2. Badaiev S.Yu., Borovik Ye.O. Kryvoliniinyi sehment na osnovi intehralnoi kryvoi [Curved segments based on the integral curve]. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika* [Applied geometry and Engineering Graphics], 2009, issue 81, pp. 213-217.
3. Baydabekov A.K. Geometricheskiy metod konstruirovaniya lopatki ventilyatora [Geometric method of fan blade engineering]. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika* [Applied geometry and Engineering Graphics], 2010, issue 83, pp. 93-97.
4. Vanin V.V., Virchenko H.A. Heometrychne modeliuvannya – odna z osnov avtomatyzovanoho proektuvannya ob'ektiv i protsesiv mashynobuduvannya [Geometric modeling is one of the computer-aided design objects foundations and process of engineering]. *Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu «Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika»* [Proc. of Tavria State Agrotechnological University «Applied Geometry and Engineering Graphics»], 2009, vol. 43, issue 4, pp. 3-10.
5. Havrylenko Ye.A. Vyznachennia hranyts diapazoniv polozhennia dotychnykh do obvodu z monotonnoiu zminoiu kryvyny [Identification of the ranges boundaries of touch on circumference position with a monotonic change of curvature]. *Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu «Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika»* [Proc. of Tavria State Agrotechnological University «Applied Geometry and Engineering Graphics»], 2005, vol. 29, issue 4, pp. 54-58.
6. Didanov S.V. Formy perekhidnykh kryvykh zaliznychnoho shliakhu [Forms of railways transitional curves]. *Materialy druhoi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh «Prykladna heometriia, dizain ta ob'ekty intelektualnoi vlasnosti»* [Proc. of the 2nd Int. Sci. and Practical Conf. of Students and Young Scientists «Applied geometry, design, and intellectual property»], 2013, issue 2, pp. 55-59.
7. Dovhaliuk V.B., Mileikovskiy V.O. Heometrychnyi analiz struktury strumyn, shcho nastylaiutsia na poverkhni riznoi kryvyny [Geometric analysis of currents structure that are planked on different surfaces curvature]. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika* [Applied geometry and Engineering Graphics], 2012, issue 89, pp. 156-165.
8. Kurhan M.B., Husak M.A., Khmelevska N.P. Perebudova kryvykh dlia vprovadzhennia shvydkisnogo rukhu pasazhyrskykh poizdiv [Reconstruction of curves for high-speed of passenger trains implementation]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 40, pp. 90-97.
9. Mykhailenko V.Ye., Li V.H. Dyskretne modeliuvannya na bazi intehralnoi modeli kryvoi [Discrete simulation based on integral curve model]. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika* [Applied geometry and Engineering Graphics], 1999, issue 66, pp. 3-8.
10. Pustiulha S.I., Samostian V.R. Dyskretne modeliuvannya kryvykh za zadanyimi funktsiiami zminy kryvyny ta skrutu [Discrete simulation of curves on a given functions of curvature and torsion changes]. *Suchasni problemy heometrychnoho modeliuvannya. Mizhuzivskiy zbirnyk (za napriamkom «Inzhenerna mekhanika»)* [Contemporary problems in geometric modeling. Interuniversity collection (Engineering Mechanics)], 2008, issue 22, part 1, pp. 286-292.

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

11. Spirintsev D.V. Heometrychne modeliuvannia profilu ploskykh pereriziv pera lopatky kompresora [Geometric modeling of flat sections profile of the compressor blade airfoil]. *Heometrychne ta kompiuterne modeliuvannia* [Geometric and Computational Modeling], 2009, issue 22, pp. 156-161.
12. Ustenko S.A. Modeliuvannia kryvoi iz zastosuvanniam kubichnoho zakonu rozpodilu yii kryvyny [Simulation of curvature using a cubic law of its curves distribution]. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu* [Bulletin of Kherson National Technical University], 2008, issue 31, pp. 480-484.
13. Ustenko S.A. Normalizatsiia hrafikiv rozpodilu kryvyny [Normalization of curvature distribution graphs]. *Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu «Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika»* [Proc. of Tavria State Agrotechnological University «Applied Geometry and Engineering Graphics»], 2013, vol. 56, issue 4, pp. 227-231.
14. Ustenko S.A., Didanov S.V. Metod pobudovy prostorovoi perekhidnoi kryvoi [Constructing method of spatial transition curve]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 44, pp. 124-128.
15. Ustenko S.A., Didanov S.V., Aharkov O.Yu. Heometrychne modeliuvannia kryvykh linii iz zadanoi kryvynoiu v hranychnykh tochkakh [Geometric modeling of curves with a given curvature in boundary points]. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika* [Applied geometry and Engineering Graphics], 2011, issue 87, pp. 404-409.
16. Foks A., Pratt M. *Vychislitel'naya geometriya. Primeneniye v proyektirovanii i na proizvodstve* [Computational geometry. Application in designing and manufacturing]. Moscow Publ., 1982. 304 p.
17. Ebaid M.S.Y., Bhinder F.S., Khadairi G.H. A unified approach for designing a radial flow gas turbine. *Transactions of the ASME*, 2003, vol. 125, pp. 598-606.
18. Farin G. Curves and surfaces for computer-aided geometric design. Academic Press Inc. Publ., 1997, 4-th edition. 447 p.
19. Lipicnik M. New form of road/railway transition curve. *Journal of transportation engineering*, 1998, November / December, pp. 546-556.
20. Tari E., Baykal O. A new transition curve with enhanced properties. *Canadian journal of civil engineering*, 2005, vol. 32, pp. 913-923.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Д. Борисенком (Україна); д.т.н., проф. В. В. Рибкіним (Україна)

Надійшла до редколегії 03.02.2014

Прийнята до друку 25.03.2014

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 624.872.042

Ю. М. ГОРБАТЮК<sup>1\*</sup>, К. І. СОЛДАТОВ<sup>2\*</sup>, М. С. ПАПКО<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Мости», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (093) 339 41 28, ел. пошта KVP@DSST.gov.ua

<sup>2\*</sup>Каф. «Мости», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (096) 527 26 01, ел. пошта KVP@DSST.gov.ua

<sup>3\*</sup>Дніпропетровський завод мостових залізобетонних конструкцій, вул. Молодогвардійська, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49022, тел. +38 (096) 826 74 19, ел. пошта player\_m@list.ru

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ НАСКРІЗНИХ ДВОТАВРІВ ДЛЯ ПРОГОНОВИХ БУДОВ НАПЛАВНИХ МОСТІВ

**Мета.** У публікації наведено результати розрахунків прогонових будов для наплавних мостів із наскрізних двотаврів. Мета дослідження – проаналізувати придатність прогонових будов із наскрізних двотаврів для наплавних мостів мінімальної ваги під навантаження, які передбачені нормами на проектування сучасних наплавних мостів. **Методика.** У роботі використано порівняльний метод, аналітичні методи розрахунку мостів (методика ліній впливу), розрахунки на міцність, витривалість, максимальні дотичні напруження. **Результати.** Сучасні навантаження для розрахунку мостів на 75 % більші, ніж ті, на які запроєктовані прогонові будови наплавного мосту з майна НЗМ-56. Застосування наскрізних двотаврів, утворених із двотавра № 70 (висота наскрізного 104 см), зменшує площу перерізу в послабленому місці, але практично не впливає на міцність та витривалість матеріалу. Застосування наскрізних двотаврів для прогонових будов наплавних мостів дає економію металу до 22 %, тобто кожна п'ята прогонова будова буде виготовлена із зекономленого металу. Економія на кожній прогоновій будові, наприклад СРП-33.6 – 263 тис. грн. (з урахуванням ціни на 1 тону готового виробу 29 тис. грн.). **Наукова новизна.** Дослідження дозволяє зробити новий крок в економії матеріалу та використанні наскрізних двотаврових балок для прогонових будов у цілому. **Практична значимість.** Отримані в результаті дослідження дані дозволили зробити ряд висновків, що сприяють детальнішому ознайомленню та більш практичному використанню наскрізних двотаврів для прогонових будов наплавних мостів.

**Ключові слова:** залізничні мости; наплавні мости; наскрізні двотаври; прогонові будови; економія металу; прогрес мостобудівництва

#### Вступ

Одним із прогресивних напрямків підвищення ефективності двотаврових профілів прокату є створення балок з перфорованою стінкою. Такі балки утворюються шляхом розрізу стінки двотавра по зигзагоподібній лінії за допомогою газорізки чи методом пресування. Розрізані частини балки з'єднуються в місцях примикання виступів за допомогою зварювання, утворюючи суцільні перемички. Виходить своєрідна конструктивна форма – двотавр з отворами в стінці.

В технічній літературі такий двотавр отримав декілька назв: двотавр з перфорованою стінкою, двотавр з розвиненим перетином, наскрізний двотавр. В мостобудуванні є поодинокі приклади використання наскрізних двотаврів як основних несучих конструкцій за умови зниження власної ваги конструкцій та економії металу.

#### Мета

Зазначимо, що несуча здатність наскрізних двотаврів за даними досліджень у 1,3...1,5 разу



## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

вище несучої здатності вихідного за рахунок того, що висота першого збільшується приблизно в 1,5 рази. Мета роботи дослідити придатність прогонових будов з наскрізних двотаврів для наплавних мостів мінімальної ваги під навантаженням, які передбачені нормами проектування сучасних наплавних мостів.

**Методика**

В окремих публікаціях наскрізні двотаври рекомендують для застосування як прогонові будов тимчасових мостів, зокрема на автомобільних магістралях [4–6, 7]. На рис. 1 наведені приклади застосування наскрізних двотаврів. Як прогонові будови тимчасових збірно-розбірних мостів застосовують наскрізні двотаври, виготовлені з прокатних балок № 55, 60, 70, 80, 90, 100 типів Б і Ш. Методика розрахунку спроектованих по висоті наскрізних двотаврів розроблені «ЦНИИПроектстальконструкцией» і внесені в нормативний документ СНиП II-23-81 [8–10].

Під час проектування прогонових будов з наскрізних двотаврів потрібно дотримуватись основних вимог, які стосуються наплавних мостів, а саме [7]:

- висота наскрізного двотавра не повинна перевищувати 1,5 висоти вихідного  $H_c \leq 1,5 H_n$ ;

- відношення висоти наскрізного двотавра до розрахункової довжини прогону приймається у межах  $H_c / l = 0,07 \dots 0,05$ ;

- забезпечення місцевої стійкості вільної кромки тавру у перетині 1–1 в стислій зоні для залізничних мостів за умови  $h - (t + r) \leq 10s$ ;

- забезпечення стійкості стінки в перемичках за допомогою постановки парних чи однобічних вертикальних ребер жорсткості в кожній перемичці;

- забезпечення довжини зварених перемичок (необхідної конструктивно і достатньої для сприйняття поперечної сили  $Q$ ) за умови

$$a \geq \frac{H_c - H_n}{2};$$

- кут між похилою лінією розрізу і віссю балки повинен бути у межах  $\alpha = 40^\circ \dots 70^\circ \approx 60^\circ$ ;

- коефіцієнт зниження несучої здатності стиснутого пояса  $\varphi$ , обчислюється аналогічно розрахунку балок суцільного перетину [7];

- забезпечення місцевої стійкості вільної кромки тавру у перетині 1–1 в стислій зоні для залізничних мостів за умови  $h - (t + r) \leq 10s$ , для автодорожніх –  $h - (t + r) \leq 15s$ ;

- розрізи можуть бути симетричними і несиметричними відносно середини вихідного двотавра;

- двотаври з перфорованою стінкою можна компонувати із заготовок, отриманих із різних вихідних двотаврів: половинка із більшого двотавра встановлюється в стислій зоні і може бути із менш міцної сталі  $R_y = 210 \dots 260$  МПа, а половинка із меншого двотавра встановлюється в розтягнутій зоні і приймається із більш міцної сталі  $R_y = 320 \dots 360$  МПа. Завдяки такій компоновці легше забезпечити місцеву стійкість стінок стиснутих поясів – таврів;

- товщина стінки  $S$  повинна складати  $\frac{1}{75} \dots \frac{1}{95}$  від висоти  $H_c$ .

Двотаври з перфорованою стінкою забезпечують 20...30 % економії металу порівняно з прокатними двотаврами та дешевші останніх на 10...18 %. За трудомісткістю виготовлення вони на 25...35 % ефективніші, ніж зварені двотаври, за рахунок скорочення операцій обробки та об'єму зварювання. Фігурна розрізка двотавра, стиківка його частин та встановлення ребер жорсткості хоча певною мірою і знижують ефект економії металу, та все ж є позитивними. З попередніх розрахунків видно, що момент інерції балок з наскрізних двотаврів збільшується у 2,2...2,3 рази порівняно з двотавровими балками з суцільною стінкою.

Завдяки цим якостям у поєднанні з компактністю, транспортабельністю і пристосованістю до автоматизованого виготовлення вони є конкурентноспроможними з ґратчастими конструкціями і широко застосовуються як балки перекриття і кроквяні балки.

Прокатні двотаврові балки за ТУ 14-2-24-72 [13] нормальні (Б) та широкополічкові (Ш) з паралельними полицками з сталей класів С 245 та С 345 повною мірою підходять для компонування наскрізних двотаврів – моностаєвих і бістаєвих, із симетричними і несиметричними перетинами.

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО



Рис. 1. Приклади застосування наскрізних двотаврів в будівництві та мостобудуванні

Fig. 1. Examples of open double T-beams application in construction and bridge engineering

У цій роботі обґрунтовується можливість застосування наскрізних двотаврів в мостобудуванні з точки зору економії металу, оскільки вартість металу з часом значно зростає. Економія навіть 5...7 % металу на кожній прогоновій будові загалом має суттєвий ефект. При цілеспрямованому компонуванні наскрізних двотаврів з використанням прокатних двотаврів різних типів, номерів прокату і марок сталей можна досягти повної вичерпної працездатності матеріалу і конструкції, а також максимальної економії.

З метою повного використання вихідного двотавра при його розпуску необхідно дотримуватись таких рекомендацій: для однопрогонових балок більш економічно застосовувати наскрізні двотаври з двох марок сталей (верхню частину з двотавра звичайної маловуглецевої сталі з більш товстою стінкою, а нижню частину з двотавра більш міцної сталі з більш тонкою стінкою). Наприклад, для металевої прогонової будови верхній стиснутий пояс за умови забезпечення його загальної стійкості можна прийняти з двотавра типу Ш, сталі 16Д, а нижній розтягнутий пояс – з балки типу Б, сталі 15ХСНД, а для розрізної прогонової бу-

дови з залізобетонною плитою проїжджої частини, включеної в роботу конструкції, верхній пояс повинен бути мінімального перетину з балок типу Б сталі 16Д, а нижній – максимально розвиненим типу Ш зі сталі 15ХСНД або 10ХСНД.

Типи розрізання балок наведені на рис. 2. Вузли опирання балок з перфорованою стінкою наведені на рис. 3. Існує поточна технологія виготовлення перфорованих двотаврів з використанням багатооперативного маніпулятора.

Продуктивність такої поточної лінії складає 45...50 тис. м перфорованих балок за рік. Але при всіх позитивних моментах, область застосування балок з перфорованою стінкою обмежена з таких причин [1, 3, 12].

1. Робота поясів балок з перфорованою стінкою ускладнюється тим, що вони мають додатковий вигин від поперечних сил у межах отворів. Граничний стан настає тоді, коли пластичність пронизує переріз поясу, причому при поперечному вигині можуть з'явитися шарніри пластичності в чотирьох кутах отворів. Ці шарніри виникають і при складному напруженому стані в поясах.

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

2. Прогини балок з перфорованою стінкою перевищують на 5...40 % прогини, обчислені, як в звичайних балках, з врахуванням моменту інерції у послабленому перерізі.

3. Втрата місцевої стійкості перемичок відбувається в основному від зсуву. Перемичка при втраті місцевої стійкості закручується. Розтягнута частина залишається в площині стінки, а стисла вигинається із площини. В зв'язку з тим, що стінка одного з таврових поясів стиснута або стиснуто-вигнута, вона також може втратити місцеву стійкість, після чого вичерпується несуча здатність всієї балки.

Перш за все виконані розрахунки моментів інерції для прокатних двотаврових балок № 55Б, 60Б, 70Б, 80Б, 90Б, 100Б та їх порівняння з перфорованими двотаврами, що з них утворені. Дані зведено у табл. 1, з якої видно, що перфо-

ровані балки, утворені з прокатного двотавра, не збільшуючись у вазі, мають в 2,1...2,3 рази більший момент інерції [1, 3, 12].

У табл. 1 позначено:  $H_n$  – висота прокатного двотавра, см;  $B$  – ширина полки, см;  $s$  – товщина вертикального листа, см;  $t$  – товщина горизонтального листа, см;  $F_{\partial p}$  – площа перерізу, см<sup>2</sup>;  $I_x$  – момент інерції, см<sup>4</sup>;  $H_c$  – висота, см;  $H$  – висота вертикального листа у місці отвору, см;  $h_0/2$  – відстань між центрами ваги нижньої та верхньої частини, см;  $b_n$  – ширина ребер жорсткості, см;  $z$  – відстань від верхньої кромки горизонтального листа до центра ваги частини, см;  $I_{xm}$  – момент інерції перерізу з отвором, см<sup>4</sup>;  $F_{mn}$  – площа послабленого перерізу, см<sup>2</sup>;  $I_x$  – момент інерції суцільного перерізу, см<sup>4</sup>;  $I_x/I_x$  – відношення моментів інерції вихідного двотавра та утвореного з нього наскрізного.

Таблиця 1

## Порівняльні величини прокатних та перфорованих двотаврів

Table 1

## Comparative values of roll and perforated double T-beams

№ вихідного двотавру	Розраховані величини прокатних двотаврів					
	$H_n$ , см	$B$ , см	$s$ , см	$t$ , см	$F_{\partial p}$ , см <sup>2</sup>	$I_x$ , см <sup>4</sup>
55Б	55,0	22,0	0,90	1,14	97,6	47 370
60Б	60,0	23,5	1,00	1,24	116,0	66 170
70Б	70,0	27,5	1,10	1,60	161,0	130 270
80Б	80,0	30,0	1,20	1,70	194,0	201 310
90Б	90,0	32,5	1,35	1,78	232,0	297 810
100Б	100,0	35,0	1,45	2,00	279,0	443 090

Закінчення табл. 1

End of table 1

№ вихідного двотавру	Розраховані величини наскрізного двотавра								
	$H_c$ , см	$H$ , см	$h_0/2$ , см	$b_n$ , см	$z$ , см	$I_{xm}$ , см <sup>4</sup>	$F_{mn}$ , см	$I_x$ , см <sup>4</sup>	$I_x/I_x$
55Б	80,00	15,00	36,94	21,10	3,06	671,0	37,55	103 814,0	2,2
60Б	90,00	15,00	41,97	22,50	3,03	746,6	43,00	153 012,3	2,3
70Б	104,76	17,62	49,06	26,40	3,32	1 362,9	61,38	298 211,7	2,3
80Б	120,00	20,00	56,14	28,80	3,86	2 160,2	73,00	464 470,6	2,3
90Б	130,00	25,00	59,72	31,15	5,28	4 600,4	89,00	643 971,3	2,2
100Б	150,00	25,00	69,97	33,55	5,03	5 022,9	103,25	1 020 924	2,3

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

З метою обґрунтування можливості застосування перфорованих двотаврів як балок проїжджої частини наплавних мостів [11] наводиться порівняння геометричних характеристик та напружень у існуючих балках проїжджої частини (довжини прогонових будов 12,35 м, 15,9 м та 18,0 м) з перфорованою та суцільною стінкою.

Виходячи із конструктивної схеми, розрахункова схема для прогонової будови прийнята у вигляді однопрогонової балки на жорстких опорах, проліт якої дорівнює довжині існуючої балки. Жорстке спирання передбачає, що балка просто просідає на якусь величину на пружних опорах (понтонів), а потім працює як звичайна балка.

Перш за все виконані розрахунки існуючої балки прогонової будови  $l = 12,35$  м з суцільною стінкою на сучасні навантаження. При цьому висота балки на цьому етапі є незмінною (104 см), а додатково досліджена можливість: застосування більш міцної сталі (15ХСНД та 10ХСНД), збільшення моменту інерції за рахунок збільшення товщини вертикального та горизон-

тальних листів. Аналогічні розрахунки виконані і для прогонових будов  $l = 16,47$  м та 18,53 м.

Для визначення зусиль (згинального моменту  $M$  та поперечної сили  $Q$ ) побудовані лінії впливу зусиль для згинального моменту  $M$  (середина прольоту балки) та для поперечної сили  $Q$  (переріз на опорі). До постійного навантаження відносяться: власна вага балки ( $q_{в.в.}$ ) та вага мостового полотна ( $q_{м.п.}$ ), а до тимчасового – вертикальне навантаження від рухомого складу ( $q_m$ ). Кожне з цих навантажень приймається у вигляді рівномірно розподіленого навантаження інтенсивністю (нормативною та розрахунковою) відповідно до вимог [4]. Інтенсивність тимчасового вертикального навантаження визначається за формулою  $q_m'' = 0,5 \sqrt{K}$ , де  $\sqrt{}$  – інтенсивність тимчасового вертикального навантаження при  $K = 1$ , кН/м;  $K$  – клас тимчасового навантаження,  $K = 14$ .

Дані для розрахунку зведені у табл. 2.

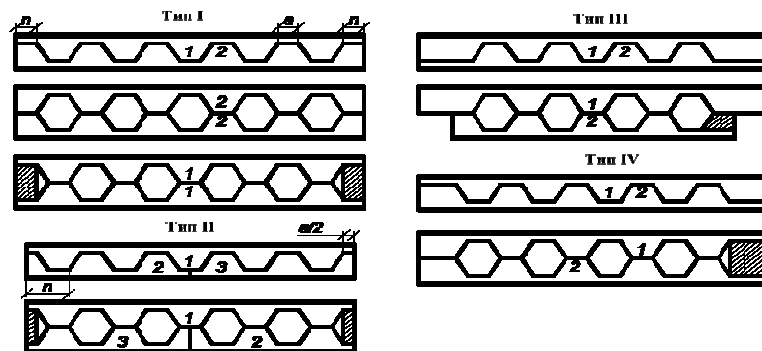


Рис. 2. Типи розрізання стінки двотавра:  
тип I – III – симетричний; тип IV – несиметричний

Fig. 2. Types of cutting the double T-beams:  
types I – III are symmetrical; type IV is not symmetrical

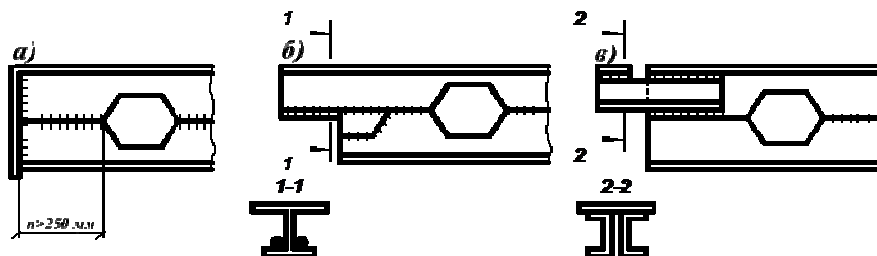


Рис. 3. Рекомендовані вузли спирання балок:  
а – опорна ділянка; б – випуск верхнього елемента; в – консоль із двох швелерів

Fig. 3. Recommended nodes of beams seat  
a – support section; b – outlet of upper element; c – console with two channels

Таблиця 2

## Основні вихідні параметри для розрахунку прогонових будов

Table 2

## The main output parameters to calculate spans

Вихідні параметри	Розрахункові величини				
Повна та розрахункова довжина балки, м	12,35 (11,70)	12,35 (11,70)	16,47 (15,90)	16,47 (15,90)	18,53 (18,00)
Висота, см	104	150	104	150	150
Матеріал (сталь)	M16C10XCHД	10XCHД	10XCHД	15XCHД	10XCHД
$\omega_{л.в. M_{1/2}}$ , м <sup>2</sup>	7,11	7,11	31,6	31,6	40,5
$\omega_{л.в. M_{1/4}}$ , м <sup>2</sup>	12,83	12,83	23,7	23,7	30,38
$\omega_{л.в. Q_0}$ , м	5,85	5,85	7,95	7,95	9,0
$^- \omega_{л.в. Q_{1/4}}$ , м	0,37	0,37	0,5	0,5	0,56
$^+ \omega_{л.в. Q_{1/4}}$ , м	3,29	3,29	4,47	4,47	5,06
$\sum \omega_{л.в. Q_{1/4}}$ , м	2,92	2,92	3,97	3,97	4,5
$q_{в.в.}^H$ , кН/м	2,54	2,54	3,49	3,49	3,48
$q_{м.п.}^H$ , кН/м	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45
$v (\alpha = 0,5)$ , кН/м	14,77	14,77	13,73	13,73	13,3
$v_1 (\alpha = 0)$ , кН/м	16,88	16,88	15,69	15,69	15,19
$\gamma_{fm}$	1,265	1,265	1,252	1,252	1,246
$1 + \mu$	1,432	1,432	1,392	1,392	1,375
$M_{max}^m$ , кНм	3 491	3 491	5 569	5 569	6 898
$Q_{max}^m$ , кН	1 350	1 350	1 591	1 591	1 737
$v_2 (\alpha = 0,5)$ , кН/м	15,83	15,83	14,71	14,71	14,24
$\epsilon$	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
$M_{max}^e$ , кНм	1 641	1 641	2 776	2 776	3 450
$M_{min}^e$ , кНм	86,4	86,4	159,9	159,9	231,7

Розрахункові величини (для розрахунку на міцність та стійкість) максимального згинального моменту та поперечної сили визначаються за формулами (1) та (2)

$$M_{max}^m = \left[ (q_{в.в.}^H + q_{м.п.}^H) \gamma_{fn} + \frac{v_1 K}{2} \gamma_{fm} (1 + \mu) \right] \omega_{л.в. M_{1/2}} \quad (1)$$

$$Q_{max}^m = \left[ (q_{в.в.}^H + q_{м.п.}^H) \gamma_{fn} + \frac{v_1 K}{2} \gamma_{fm} (1 + \mu) \right] \omega_{л.в. Q_0} \quad (2)$$

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

де  $\gamma_{fn}$  – коефіцієнт надійності до постійного навантаження, дорівнює 1,1;  $\gamma_{fm}$  – коефіцієнт надійності до тимчасового навантаження, визначається за формулою  $\gamma_{fm} = 1,3 - 0,03 \lambda$ ;  $\lambda$  – довжина завантаження лінії впливу (дорівнює розрахунковій довжині балки  $l$ ),  $(1 + \mu)$  – динамічний коефіцієнт, який визначається за формулою  $1 + \mu = 1 + 18 / (30 + \lambda)$ . При розрахунках на витривалість враховуються нормативні значення постійних навантажень, а тимчасове навантаження приймається з введенням понижуючих коефіцієнтів:  $1 + \mu = 1 + 2 / 3 \cdot 18 / (30 + \lambda)$ ;  $\epsilon$  – коефіцієнт, що визначається за даними табл. 2 [4] залежно від довжини лінії впливу  $\lambda$ .

$$M_{\max}^e = \left[ (q_{\text{в.в}}^H + q_{\text{м.п}}^H) + \frac{v_2 K}{2} \epsilon \left( 1 + \frac{2}{3} \mu \right) \right] \omega_{\text{л.в.} M_{l/4}}; \quad (3)$$

$$M_{\min}^e = (q_{\text{в.в}} + q_{\text{м.п}}) \omega_{\text{л.в.} M_{l/4}}, \quad (4)$$

Подальші розрахунки для компактності зведені у табл. 3 і в ній наведені дані перевірок означених вище балок на міцність за нормальними напруженнями, на витривалість за нормальними напруженнями, за дотичними напруженнями та стінки балки при сумісній дії нормальних та дотичних напружень. Конструкція балки з суцільною стінкою наведена на рис. 4, а з перфорованою – на рис. 5.

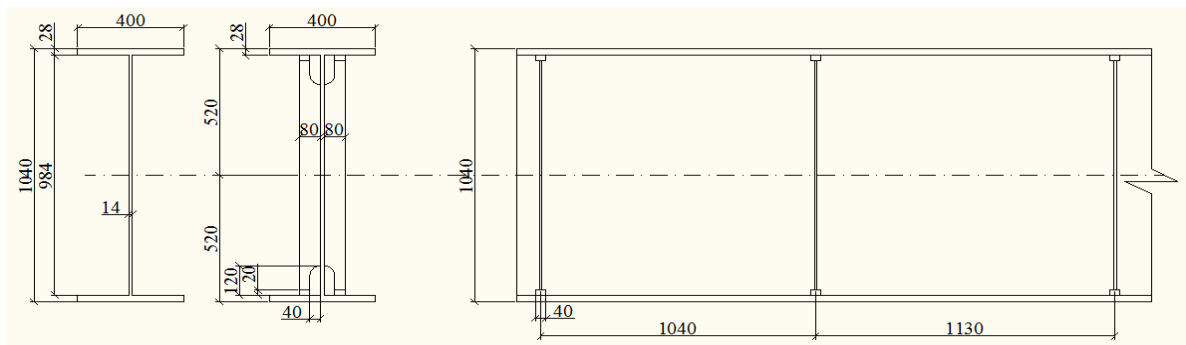


Рис. 4. Поперечний переріз поздовжньої балки з суцільною стінкою (існуюча конструкція прогонових будов майна НЗМ 56) висотою 104 см

Fig. 4. Cross-section of the longitudinal beam with a solid wall (existing spans design of NZM 56 property) height 104 cm

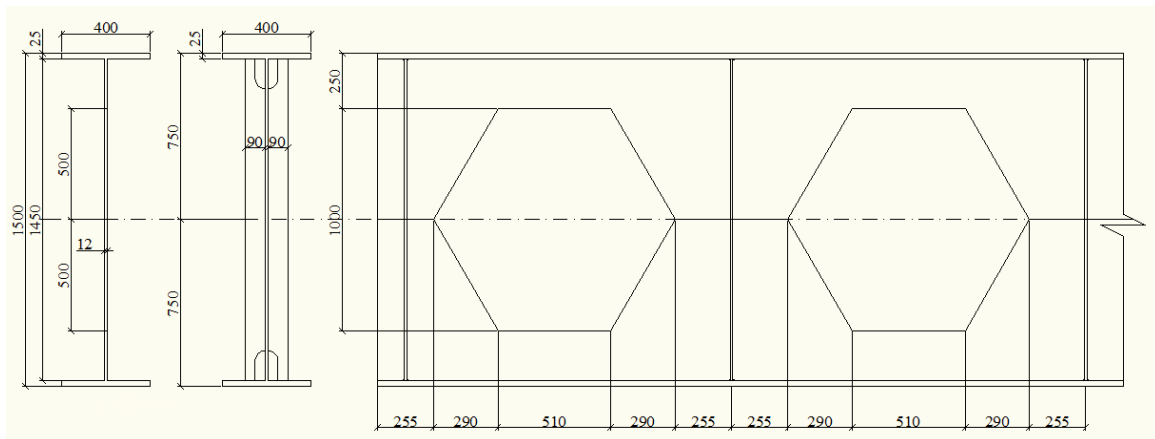


Рис. 5. Конструктивна схема балки з наскрізного двотавра висотою 150 см, утвореного з двотавра з суцільною стінкою висотою 104 см

Fig. 5. Structural diagram of the beam with a through double T-beam height 150cm, formed of double T-beam with a solid wall height 104 cm

Згідно з вимогами п. 4.24 [4] перевірка балок за нормальними напруженнями виконують-

ся за формулою

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

$$\sigma = \frac{M_{\max}^m}{W_{nt} \chi} \leq R_y, m, \quad (5)$$

де  $\chi$  – коефіцієнт, який враховує часткове допущення в балках пластичних деформацій.

Оскільки під час застосування сталі М16С умова при розрахунку на міцність не виконується, можливо застосування сталі з більшою міцністю – 15ХСНД (умова у цьому випадку виконується).

Перевірка перерізу балки за нормальними напруженнями на витривалість виконується за формулою

$$\sigma_{\max,ef}^e = \frac{M_{\max}^e}{W_{nt} \chi_3} \leq \gamma_w R_y, m, \quad (6)$$

де додатково вводиться коефіцієнт зменшення розрахункового опору сталі при розрахунках на витривалість  $\gamma_w$ ,

$$\gamma_w = \frac{1}{\xi v [(\alpha \beta + \delta) - (\alpha \beta - \delta) \rho]} \leq 1 \quad (7)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт, який для залізничних мостів рівний 1;  $v$  – коефіцієнт, що залежить від довжини завантаження лінії впливу  $\lambda$  (при  $\lambda \leq 22$  м  $v = \gamma - \xi \cdot \lambda$ , а величини  $\xi$  та  $v$  приймаються за табл. 4.31 [4]),  $\alpha$  та  $\delta$  – коефіцієнти, які залежать від марки сталі (табл. 4.30 [4]);  $\beta$  – ефективний коефіцієнт концентрації напружень у металі, який при розрахунках поздовжньої балки зі сталі М16С та 15ХСНД приймається 1,3;  $\rho$  – коефіцієнт асиметрії циклу змінних напружень.

Перевірка перерізу балки за максимальними дотичними напруженнями виконується в опорних перерізах, де діє максимальна поперечна сила ( $Q_{\max}^m = Q_o$ ). Величина дотичних напружень згідно з п. 4.28 [4] повинна відповідати умові

$$\tau = \frac{Q_{\max}^m S_{\bar{o}p}^{nn}}{\chi_2 I_{\bar{o}p} t_w} \leq R_s, m / \gamma_m, \quad (8)$$

де додатково введені такі позначення:  $Q_{\max}^m$  – поперечна сила для опорного перерізу балки, кН;  $S_{\bar{o}p}^{nn}$  – статичний момент половини перерізу балки відносно нейтральної осі, см<sup>3</sup>;  $t_w$  – товщина стінки балки, см;  $\chi_2$  – коефіцієнт, що ви-

значається залежно від мінімального та максимального дотичних напружень у перерізі стінки (п. 4.28 [4]);  $R_s = 0,58 \cdot R_y$  – розрахунковий опір сталі на зсув, МПа;  $m = 0,9$  – коефіцієнт умов роботи;  $\gamma_m$  – коефіцієнт надійності за матеріалом (п. 4.5 [4]) (для сталі 15ХСНД – 1,165, для М16С – 1,090).

Перевірка стінки балки при сумісній дії нормальних та дотичних напружень.

Згідно з п. 4.29 [4] ця перевірка виконується за формулою:

$$\sigma_{xy} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3 \tau_{xy}^2} \leq \gamma' R_y, m, \quad (9)$$

де  $\sigma_x$  – нормальні (додатні при стисненні) напруження в точці (X, Y), паралельні осі балки;  $\sigma_y$  – нормальні напруження в тій же точці стінки балки, перпендикулярні осі балки;  $\tau_{xy} \approx \tau_m$  – середні дотичні напруження в стінці балки;  $\gamma'$  – коефіцієнт, який приймається рівним 1,1;  $R_y$  та  $m$  – розрахунковий опір сталі та коефіцієнт умов роботи.

Зазначені нормальні та дотичні напруження в стінці балки визначаються за формулами:

$$\sigma_x = \frac{M_x^m}{I_{nm}} y; \sigma_y = \frac{p}{t_w}; \tau_{xy} = \frac{Q_x^m S_{\bar{o}p}^n}{I_{\bar{o}p} t_w}, \quad (10)$$

в яких  $M_x^m$  та  $Q_x^m$  – величини згинального моменту та поперечної сили (як перше наближення) можна взяти для перерізу балки у чверті прольоту (табл. 2),  $y = 75$  см.

Визначення розмірів ребер жорсткості та їх розміщення виконується з умов забезпечення місцевої стійкості, а також з конструктивних міркувань для прикріплення поперечних зв'язок. Ширина ребер жорсткості визначалась за формулою  $b_h \geq t_w / 30 + 40$  мм, а товщина –  $t_s = 2 b_h \sqrt{R_y / E}$ .

Для обґрунтування висновків на основі виконаних розрахунків визначено перехідний коефіцієнт відношення нормативного тимчасового вертикального навантаження С14 (згідно з ДБН) до нормативного тимчасового вертикального навантаження Н6 (на яке розраховані прогонові будови майна НЗМ 56).

Таблиця 3

## Результати розрахунків балок

Table 3

## The results of beams calculations

Тип балки	Суцільна стінка			Перфорована			
Довжина, м	12,35 (11,7)	12,35 (11,7)	12,35 (11,7)	12,35 (11,7)	16,47 (15,9)	16,47 (15,9)	18,53 (18,00)
Висота, см	104,0	104,0	104,0	104,0	150,0	150,0	150,0
Сталь	M16C	10XCHД	10XCHД	10XCHД	10XCHД	15XCHД	10XCHД
Опір сталі	20,5	35,0	35,0	35,0	35,0	29,5	35,0
$I_{\text{оп}}$ , см <sup>4</sup>	612 247	612 247	684 823	684 823	1 658 110	1 992 035	2 027 615
$W_{\text{оп}}$ , см <sup>3</sup>	11 774,0	11 774,0	13 194,2	13 194,2	22 108,1	26 560,5	27 034,9
$W_{\text{нет}}$ , см <sup>3</sup>	10 007,9	10 007,9	11 194,2	11 194,2	11 8792	22 576,4	22 979,6
$A$ , см <sup>2</sup>	318,8	318,8	361,76	263,76	305,28	370,4	375,36
Розрахунок на міцність за нормальними напруженнями							
$\chi$	1,045	1,045	1,047	1,021	1,019	1,02	1,019
$m$	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
$\sigma$ , МПа	33,38	33,38	29,79	30,58	30,3	25,42	30,75
$0,9 R_y$ , МПа	18,45	31,50	31,5	31,50	31,50	26,55	31,5
Умова	не виконана		виконана				
Розрахунок на витривалість за нормальними напруженнями							
$\sigma_{\text{max,ef}}^a$ , МПа	Дані розрахунки не виконувались (не виконується умова міцності за нормальними напруженнями при застосуванні сталей 15XCHД та 10XCHД і збільшенні моменту інерції до максимально можливого)		14,90	14,90	15,02	12,65	15,43
$\gamma_w$			0,577	0,577	0,655	0,751	0,712
$\chi_3$			1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
$\gamma_w 0,9 R_y$ , МПа			18,18	18,18	20,63	19,94	22,37
Умова			виконана				
Розрахунок за максимальними дотичними напруженнями							
$Q_{\text{max}}^M$	Дані розрахунки не виконувались (не виконується умова міцності за нормальними напруженнями при застосуванні сталей 15XCHД та 10XCHД і збільшенні моменту інерції до максимально можливого)		1 350,3	1 350,3	1 650,2	1 663,0	1 803,8
$S_{\text{оп}}^{nn}$ , см <sup>3</sup>			7 361,6	6 156,2	10 054,5	12 574,6	12 775,2
$S_{\text{оп}}^m$ , см <sup>3</sup>			5 667,2	5 667,2	8 971,9	11 680,0	11 858,4
$\chi_2$			1,058	1,019	1,027	1,018	1,018
$I_{\text{оп}}$ , см <sup>4</sup>			684 823	684 823	1 658 110	1 992 035	2 027 615
$t_w$ , мм			14	14	14	12	12



## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Закінчення табл. 1

End of table 1

Тип балки	Суцільна стінка	Перфорована				
$t_f$ , мм	28	28	34	40	36	
$R_s m / \gamma_m$ , МПа	18,27	18,27	18,27	15,39	18,27	
$\tau$ , МПа	9,79	8,51	6,96	8,59	9,3	
Умова	виконана					
$\sigma_x$ , МПа	24,92	24,92	24,67	20,70	25,00	
$\sigma_y$ , МПа	2,44	2,44	2,44	2,85	2,85	
$\tau_{xy}$ , МПа	3,75	3,75	3,0	3,83	4,15	
$p$ , МПа	3,42	3,42	3,42	3,42	3,42	
$M_x^M$ , кНм	2 659,3	2 659,3	4 336,6	4 674,4	5 744,8	
$Q_x^M$ , кН	605,7	605,7	776,6	783,0	850,9	
$\gamma^I R_y m$ , МПа	34,65	34,65	34,65	29,21	34,65	
$\sigma_{xy}$ , МПа	24,66	24,66	24,11	20,53	24,76	
Умова	виконана					

Таблиця 4

## Обчислені величини перехідного коефіцієнту

Table 4

## Calculated values of the transition coefficient

Довжина завантаження, м	Інтенсивність еквівалентного навантаження, тс/м		Перехідний коефіцієнт $\delta_n$
	K = 1 (СК, a = 0,5)	K = 1 (НК, a = 0,5)	
5	1,817	2,410	1,759
6	1,740	2,260	1,796
7	1,681	2,260	1,736
8	1,634	2,280	1,672
9	1,594	2,230	1,668
10	1,558	2,160	1,683
12	1,497	1,980	1,764
14	1,444	1,880	1,792
16	1,398	1,820	1,792
18	1,356	1,790	1,768
20	1,317	1,740	1,766
25	1,236	1,590	1,814

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Еквівалентні навантаження С14 обчислюються у тс/м колії при значеннях параметрів  $1,5 \leq \lambda \leq 50$  м ( $\alpha = 0$  і  $\alpha = 0,5$ ) та  $\lambda > 50$  м ( $\alpha = 0$ ) і отримано за формулою

$$v = \left( 9,807 + \frac{10,787}{e^{0,04\lambda}} + \frac{43,149}{\lambda^2} \right) \left( 1 - \frac{\alpha}{4} \right) K. \quad (11)$$

Перехідний коефіцієнт обчислюємо за формулою

$$\delta_n = \frac{H1_{ск} 14}{H1_{нк} 6}, \quad (12)$$

де  $e = 2,718$  – основа натуральних логарифмів,  $\lambda$  – довжина завантаження, м (виходячи з довжин прогонів, що розраховувались, обмежуємося інтервалом  $\lambda = 5 - 25$  м);  $H1_{ск}$ ,  $H1_{нк}$  – інтенсивність еквівалентного навантаження тс/м за дод. Л [5] та табл. 4 [11]. Результати наведені у табл. 4.

Визначена величина коефіцієнта  $\delta_n$  як середнього арифметичного наведених значень становить 1,75, де сучасні навантаження на 75 % більші, ніж ті, на які запроектовані прогонові будови наплавного мосту з майна НЗМ-56.

### Результати

1. Сучасні навантаження для розрахунку мостів на 75 % більші, ніж ті, на які запроектовані прогонові будови наплавного мосту з майна НЗМ-56.

2. Таким чином навіть застосовуючи для прогонових будов з даним перерізом більш міцну сталь (10ХСНД), можна вийти на навантаження типу НК не більше, ніж Н9 (проти Н6).

3. Тільки при застосуванні сталі 10ХСНД у сукупності із збільшенням площі перерізу при максимальних рекомендованих товщинах прокату вертикальних (14 мм) та горизонтальних (28 мм) листів дає змогу запроектувати прогонові будови з суцільних двотаврів висотою 104 см і тільки для прогонових будов довжиною 12,35 м.

4. Застосування наскрізних двотаврів утворених з двотавра № 70 (висота наскрізного 104 см) зменшує площу перерізу у послабленому місці, але практично не впливає на коефіцієнт  $\chi$  при розрахунках на міцність та витривалість за нормальними напруженнями. У разі застосування сталі 10ХСНД при розрахунковій довжині прогонової будови 11,70 м перфорована

на балка проходить перевірки по всіх напруженнях, хоча і практично не має запасу.

5. Для прогонових будов більшої довжини (16,47 та 18,53 м) зазначені у п. 3 рекомендації не дають позитивного результату (навіть при товщині горизонтального листа 40 мм). Тому подальші розрахунки виконані для прогонових будов з наскрізних двотаврів висотою 150 см, які утворені з означених вище двотаврів з суцільною стінкою висотою 104 см.

6. З точки зору оптимальної довжини прогонових будов можна рекомендувати прогони більшої довжини. Виготовлені з перфорованих двотаврів висотою 150 см зі сталі 10ХСНД в них оптимально використовуються всі геометричні параметри. Збільшення довжини приводить до зменшення кількості опор (понтонів). Якщо врахувати рекомендації щодо застосування понтонів, наведені у роботах авторів, то будемо мати оптимальну конструкцію наплавного мосту в цілому.

7. Застосування наскрізних двотаврів для прогонових будов наплавних мостів дає економію металу до 22 %, тобто кожна п'ята прогонова будова буде виготовлена зі зекономленого металу. Економія на кожній прогоновій будові, наприклад СРП-33.6 – 263 тис. грн. (з врахуванням ціни на 1 тону готового виробу – 29 тис. грн.)

### Наукова новизна та практична значимість

Дослідження дозволяє зробити новий крок щодо економії матеріалу та використанні наскрізних двотаврових балок для прогонових будов в цілому.

### Висновок

В результаті дослідження отримані дані дозволяють більш детально ознайомитися та більш практично використовувати наскрізні двотаври для прогонових будов наплавних мостів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Беленя, Е. И. Металлические конструкции. Общий курс : учеб. для вузов / Е. И. Беленя, В. А. Балдин, Г. С. Ведерников. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1986. – 560 с.
2. Бильченко, А. В. Особенности системы мониторинга физического состояния городских

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

- мостов / А. В. Бильченко, А. Г. Кислов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 39. – С. 23–26.
3. Бирюлев, В. В. Проектирование металлических конструкций : спец. курс / В. В. Бирюлев. – Л. : Транспорт, 1990. – 433 с.
  4. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування. – К. : Мінбуд України, 2006. – 217 с.
  5. ДБН В.1.2-15:2009. Навантаження та впливи. Мости та труби. – К. : Мінбуд України, 2009. – 83 с.
  6. ДБН В.2.3-26:2010. Споруди транспорту. Мости та труби. Сталеві конструкції. Правила проектування. – К. : Мінбуд України, 2010. – 195 с.
  7. Кручинкин, А. В. Сборно-разборные временные мосты / А. В. Кручинкин. – М. : Транспорт, 1987. – 191 с.
  8. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81\*. Стальные конструкции). – М., 1989. – 495 с.
  9. Распопов, А. С. Особенности построения объемных конечных элементов для расчёта континуальных моделей мостовых конструкций / А. С. Распопов, В. Е. Артемов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 39. – С. 163–167.
  10. СНиП II-23-81. Нормы проектирования. Стальные конструкции. – М., 1990. – 134 с.
  11. Справочник офицера-мостовика железнодорожных войск. – М. : Воен. изд-во МО СССР, 1963. – 951 с.
  12. Тришевский, И. С. Металлические облегченные конструкции : справоч. пособие / И. С. Тришевский, В. В. Клепанда. – К. : Будівельник, 1978. – 110 с.
  13. ТУ 14-2-24-72 Сталь горячекатаная. Двутавры и тавры с параллельными гранями полок. Сортаменты. Технические условия. – М., 1972. – 24 с.
  14. Barbaccia, T. G. Bridging the Gap Between Economics and Innovation / T. G. Barbaccia // Better ROADS. – 2014. – № 1. – P. 21.
  15. Croarkin, M. Talking it through / M. Croarkin, Z. Kamaitis // ROADS & BRIDGES. – 2014. – № 1. – P. 20.
  16. Zagoudis, J. Fit for man and beast / J. Zagoudis // ROADS & BRIDGES. – 2013. – № 1. – P. 30–32.

Ю. Н. ГОРБАТЮК<sup>1\*</sup>, К. И. СОЛДАТОВ<sup>2\*</sup>, М. С. ПАПКО<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Мосты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (093) 339 41 28, эл. почта KVP@DSST.gov.ua

<sup>2\*</sup>Каф. «Мосты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (096) 527 26 01, эл. почта KVP@DSST.gov.ua

<sup>3\*</sup>Днепропетровский завод мостовых железобетонных конструкций, ул. Молодогвардейская, 2, Днепропетровск, Украина, 49022, тел. +38 (096) 826 74 19, эл. почта player\_m@list.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СКВОЗНЫХ ДВУТАВРОВ ДЛЯ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ НАПЛАВНЫХ МОСТОВ

**Цель.** В публикации приведены результаты расчетов пролетных строений для наплавных мостов из сквозных двутавров. Цель исследования – проанализировать пригодность пролетных строений из сквозных двутавров для наплавных мостов минимального веса под погрузку, предусмотренных нормами для проектирования современных наплавных мостов. **Методика.** В работе использованы сравнительный метод, аналитические методы расчета мостов (методика линий влияния), расчеты на прочность, выносливость, максимальные касательные напряжения. **Результаты.** Современные нагрузки для расчета мостов на 75 % больше, чем те, на которые запроектированы пролетные строения наплавного моста из имущества НЗМ-56. Применение сквозных двутавров, образованных из двутавра № 70 (высота сквозного 104 см), уменьшает площадь сечения в ослабленном месте, но практически не влияет на прочность и выносливость материала. Применение сквозных двутавров для пролетных строений наплавных мостов дает экономию металла до 22 %, то есть каждое пятое пролетное строение будет изготовлено из сэкономленного металла. Экономия на каждом пролетном строении, например СРП-33.6 – 263 тыс. грн. (с учетом цены на 1 тонну готового изделия 29 тыс. грн.). **Научная новизна.** Исследование позволяет сделать новый шаг в экономии материала и использовании сквозных двутавровых балок пролетных строений в целом. **Практическая значимость.** Полученные в результате исследования данные позволили сделать ряд выводов, способствующих более детальному ознакомлению и более практичному использованию сквозных двутавров для пролетных строений наплавных мостов.

**Ключевые слова:** железнодорожные мосты; наплавные мосты; сквозные двутавры; пролетные строения; экономия металла; прогресс мостостроения

YU. M. GORBATIUK<sup>1\*</sup>, K. I. SOLDATOV<sup>2\*</sup>, M. S. PAPKO<sup>3\*</sup><sup>1\*</sup>Dep. «Bridges», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (093) 339 41 28, e-mail KVP@DSST.gov.ua<sup>2\*</sup>Dep. «Bridges», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (096) 527 26 01, e-mail KVP@DSST.gov.ua<sup>3\*</sup>Dnipropetrovsk Plant of Bridge Reinforced Concrete Structures, Molodohvardiiska St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49022, tel. +38 (050) 457 68 19, e-mail player\_m@list.ru

## RESEARCH OF USING OPEN DOUBLE T BEAMS FOR SPANS IN FLOATING BRIDGES

**Purpose.** The publication presents the results of calculations of spans for floating bridges with open double T beams. The purpose of research is to analyze the suitability of spans from open double T beams for floating bridges with minimum weight under loads, which is provided by standards for modern floating bridges designing.

**Methodology.** Comparative method, analytical calculation methods (influence lines methodology), strength calculations, endurance, maximum shear stress are used in this paper. **Findings.** Current loads for bridges calculations are 75% more than those, for which the spans of floating bridge from NZhM-56 property are designed. The use of open double T beams that is formed with double T beam no. 70 (the height of the open one is 104 cm) reduces the cross sectional area in a weakened spot, but virtually it does not influence the strength and durability of the material. The use of open double T beams for spans of floating bridges saves up to 22% of metal that means one in five spans will be made of saved metal. Savings on each spans, such as CRP, will be 33.6 - 263 thous. grn. (considering the price of 1 ton of final product 29 thous. grn.). **Originality.** Research allows making next step in material saving and use of open double T beams for spans in the whole. **Practical value.** The obtained results give us possibility to make a number of conclusions that allow us to become more familiar and more practical with the use of open double T beams for spans of floating bridges.

**Keywords:** railway bridges; floating bridges; open double T beams; spans; metal saving; bridge engineering progress

## REFERENCES

1. Belenya Ye.I., Baldin V.A., Vedernikov G.S. *Metallicheskiye konstruktsii. Obshchiy kurs* [Metal structures. General course]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986. 560 p.
2. Bilchenko A.V., Kislov A.G. Osobennosti sistemy monitoringa fizicheskogo sostoyaniya gorodskikh mostov [Features of the monitor system of urban bridges physical state]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 39, pp. 23-26.
3. Biryulev V.V. *Proyektirovaniye metallicheskh konstruktsiy* [Metal structures design]. Leningrad, Transport Publ., 1990. 433 p.
4. *DBN V.2.3-14:2006 Sporudy transportu. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannia* [SBN V.2.3-14: 2006 Transport facilities. Bridges and pipes. Design rules.]. Kyiv, Minbud Ukrainy Publ., 2006. 217 p.
5. *DBN V.1.2-15-2009. Navantazhennia ta vplyvy. Mosty ta truby* [SBN V.1.2-15-2009. Loads and influences. Bridges and pipes]. Kyiv, Minbud Ukrainy Publ., 2009. 83 p.
6. *DBN V.2.3-26-2010. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Stalevi konstruktsii. Pravyla proektuvannia* [SBN V.2.3-26-2010. Transport facilities. Bridges and pipes. Steel construction. Design rule.]. Kyiv, Minbud Ukrainy Publ., 2010. 195 p.
7. Kruchinkin A.V. *Sborno–razbornyye vremennyye mosty* [Collapsible temporary bridges]. Moscow, Transport Publ., 1987. 191 p.
8. *Posobiye po proyektirovaniyu stalnykh konstruktsiy* [Manual for the design of steel structures]. Moscow, 1989. 495 p.
9. Raspopov A.S., Artemov V.Ye. Osobennosti postroyeniya obyemnykh konechnykh elementov dlya rascheta kontinualnykh modeley mostovykh konstruktsiy [Features of volumetric finite elements construction for the calculation of continuum models of bridge structures]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 39, pp. 163-167.

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

10. *SNiP II-23-81. Normy proyektirovaniya. Stalnyye konstruksii* [SNAR II-23-81. Design standards. Steel structures]. Moscow, 1990. 134 p.
11. *Spravochnik ofitsera-mostovika zheleznodorozhnykh voysk* [Bridge officer guide of railway troops]. Moscow, Voen. izd-vo MO SSSR Publ., 1963. 951 p.
12. Trishevskiy I.S., Klepanda V.V. *Metallicheskiye oblegchennyye konstruksii* [Metal lightweight structures]. Kyiv, Budivelnik Publ., 1978. 110 p.
13. *TU 14-2-24-72 Stal goryachekatanaya. Dvutavry i tavry s parallelnymi granyami polok. Sortamenty. Tekhnicheskiye usloviya* [TC 14-2-24-72 Hot-rolled steel. Beams and tees with parallel flange edges. Assortments. Technique specifications]. Moscow, 1972. 24 p.
14. Zagoudis J. Fit for man and beast. *ROADS & BRIDGES*, 2013, no. 1, pp. 30-32.
15. Croarkin M., Kamaitis Z. Talking it through. *ROADS & BRIDGES*, 2014, no. 1, p. 20.
16. Barbaccia T.G. Bridging the Gap Between Economics and Innovation. *Better ROADS*, 2014, no. 1, p. 21.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. А. В. Радкевичем (Україна); д.т.н., проф. Є. А. Єгоровим (Україна)

Надійшла до редколегії 10.02.2014

Прийнята до друку 18.03.2014

## РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

УДК 378.015.3:796

В. В. ПІЧУРІН<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Фізичне виховання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка  
В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 64,  
ел. пошта valeriypichurin@gmail.com

### РОЗВИТОК КОНЦЕНТРАЦІЇ Й СТІЙКОСТІ УВАГИ СТУДЕНТІВ-ЗАЛІЗНИЧНИКІВ У ПРОЦЕСІ ПСИХОЛОГІЧНОЇ ТА ПСИХОФІЗИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ

**Мета.** Ряд спеціальностей залізничного транспорту висувають виключно високі вимоги до таких характеристик уваги фахівця, як концентрація й стійкість. Їх розвиток у студентів-залізничників може здійснюватися у рамках викладання такої навчальної дисципліни, як фізичне виховання. Необхідно виявити ефективні шляхи організації фізичного виховання для вирішення цього завдання. **Методика.** В якості головного методу дослідження використано педагогічний експеримент. При його проведенні незалежною змінною виступав зміст розроблених автором основ психологічної та психофізичної підготовки. Залежною змінною були показники динаміки рівня розвитку концентрації й стійкості уваги в студентів-залізничників. **Результати.** Встановлено, що реалізація в ході навчальних занять із фізичного виховання комплексу засобів, включених автором до змісту основ психологічної й психофізичної підготовки студентів-залізничників, є ефективним шляхом розвитку в них концентрації та стійкості уваги. **Наукова новизна.** Підтверджено ефективність використання в ході навчальних занять із фізичного виховання основ психологічної та психофізичної підготовки для розвитку в студентів концентрації та стійкості уваги. **Практична значимість.** Реалізація запропонованого підходу при підготовці фахівців для залізниці сприятиме підвищенню продуктивності праці й рівня безпеки залізничних перевезень.

**Ключові слова:** концентрація й стійкість уваги; фізичне виховання студентів; психологічна та психофізична підготовка; професійно-значимі види спорту; спеціальні фізичні вправи

#### Вступ

Переважає більшість головних професій залізничного транспорту висувають високі вимоги до різноманітних характеристик уваги фахівця. В повній мірі це стосується і таких як концентрація і стійкість. В психології увага розглядається як спрямованість і зосередженість психічної діяльності людини. При цьому під спрямованістю розуміють вибірковий характер активності, а під зосередженістю – заглиблення в цю діяльність [10, с. 120]. Концентрація і стійкість є одними із головних характеристик уваги. Концентрація відображає здатність суб'єкта

зберігати зосередженість на об'єкті уваги за наявності перешкод. Стійкість – характеризує здатність суб'єкта не відхилятися від спрямованості психічної активності і зберігати зосередженість на об'єкті уваги.

В психології проблему уваги досліджували такі авторитетні спеціалісти, як Т. Рібо, Е. Б. Тітченер Д. М. Узнадзе, П. Я. Гальперін, Л. С. Виготський, О. М. Леонтьєв. У наш час її дослідженню також присвячено багато робіт науковців різного профілю. Слід відзначити роботи Ю. Б. Гіппенрейтер [2], І. М. Баранова-Крилова [1], Ю. П. Корнілова [3], Л. П. Кузьми [4], Н. О. Пахомової [8], О. В. Литвиненко [5],

## РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

Brian Bruya [11] Michael I. Posner [13], George R. Mangun [12] та ін.

Враховуючи велику професійну значимість, нами було виконано дослідження ефективності розвитку концентрації і стійкості уваги у студентів-залізничників в процесі їх психологічної і психофізичної підготовки під час занять з фізичного виховання (теоретико-методологічне підґрунтя для проведення такої роботи розглянуто в [9]).

### Мета

Перевірка можливості ефективного розвитку концентрації і стійкості уваги у студентів в процесі спеціально організованої психологічної і психофізичної підготовки під час навчальних занять з фізичного виховання.

### Методика

Експериментальною гіпотезою дослідження стало припущення про те, що розроблена автором система спеціально організованої психологічної і психофізичної підготовки в процесі фізичного виховання студентів є ефективним засобом розвитку у них концентрації і стійкості уваги.

Як незалежна змінна виступав зміст розроблених автором основ психологічної і психофізичної підготовки студентів-залізничників, який включав: блок психологічної просвіти, заняття професійно-значимими видами спорту, використання психотренуючих засобів, виконання спеціальних фізичних вправ для розвитку уваги, навиків саморегуляції, участь у спортивних змаганнях з професійно-значимих видів спорту. Залежною змінною виступали показники динаміки рівня розвитку концентрації і стійкості уваги у студентів.

Як статистичну нульову гіпотезу було взято припущення про те, що інтенсивність зрушення концентрації і стійкості уваги у студентів експериментальної і контрольної груп в типовому напрямку не перевищує інтенсивності зрушення в нетиповому.

Альтернативною статистичною гіпотезою було припущення, що інтенсивність зрушення концентрації і стійкості уваги у студентів експериментальних і контрольних груп в типовому напрямку перевищує інтенсивність зрушення в нетиповому напрямку.

В дослідженні взяли участь 64 студенти Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, для майбутньої професії яких ці характеристики уваги надзвичайно важливі. Це були студенти, що навчались за спеціальностями «Організація перевезень і управління на залізничному транспорті», «Електричний транспорт», «Електромеханічні системи автоматизації та електропривід», «Вагони та вагонне господарство», «Локомотиви та локомотивне господарство». Вік учасників дослідження складав 17–19 років.

Вибірка формувалась таким чином. На початку навчального року було проведено психологічну діагностику рівня розвитку концентрації і стійкості уваги студентів. Результатами діагностування було виявлено студентів з високим, середнім і низьким рівнем розвитку цих характеристик уваги. Цим студентам було запропоновано взяти участь у дослідженні. Було сформовано одну експериментальну і контрольну групи. Кількісно кожна із груп складала 32 особи. До експериментальної і контрольної груп входила однакова кількість студентів з високим, середнім і низьким рівнем розвитку концентрації і стійкості уваги.

Студентів експериментальних груп було залучено до навчальних занять з фізичного виховання, які включали вивчення розроблених автором основ психологічної і психофізичної підготовки студентів-залізничників. Заняття включали:

1. Вивчення теоретичного матеріалу, включеного до розділу психологічної просвіти;
2. Заняття професійно-значимими видами спорту (футбол, футзал, баскетбол);
3. Використання психотренуючих засобів (тест «Переплутані лінії», методика «відшукування чисел з переключенням уваги по червоночорних таблицях», коректурна проба Бурдона;
4. Спеціальні фізичні вправи для розвитку уваги [6, с. 206–208];
5. Вправи для формування навиків саморегуляції психічного стану (аутогенне тренування);
6. Участь у спортивних змаганнях з професійно-значимих видів спорту.

В ході навчального процесу вирішувались і традиційні завдання фізичного виховання студентів по формуванню у них рухових навичок, умінь та розвитку фізичних якостей.

Студенти контрольних груп вивчали курс фізичного виховання відповідно до навчальної програми для вищих навчальних закладів [7].

## РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

Перед студентами експериментальних груп було поставлено завдання освоїти програму психологічної і психофізичної підготовки. Оцінка за цей розділ входила як складова до загальної оцінки з дисципліни «Фізичне виховання». В свою чергу оцінка рівня розвитку концентрації і стійкості уваги входила як складова до загальної оцінки з розділу психологічної і психофізичної підготовки. Оцінювання рівня розвитку концентрації і стійкості уваги у студентів з використанням коректурної проби Бурдона. Робота виконувалась протягом десяти хвилин. Її продуктивність на рівні від 2 001 знака і вище оцінювалась оцінкою «відмінно». Результат в діапазоні від 1 701 до 2 000 знаків давав оцінку «добре». Ті студенти, які показували результат в діапазоні 1 351–1 700 знаків отримували «задовільно». Результат нижче 1 351 знака розглядався як «незадовільно».

Навчальні заняття з фізичного виховання в експериментальних групах мали таку структуру. Підготовча частина заняття складала 10 хвилин. Головна частина – 75 хвилин. З них 25 хвилин відводилось для вирішення традиційних завдань фізичного виховання студентів по формуванню у них рухових навичок і умінь та розвитку фізичних якостей. 20 хвилин в структурі заняття відводилось або на виконання студентами спеціальних фізичних вправ, або на їх роботу з психотренуючими засобами, або на виконання вправ для формування навиків психічної саморегуляції. В структурі конкретного заняття використовувався тільки один із названих блоків. 30 хвилин структури основної частини заняття присвячувалось заняттю професійно-значимим видом спорту. Заклучна частина складала п'ять хвилин.

### Результати

За результатами першого зрізу (на початку першого семестру) експериментальну і контрольну групи характеризували такі показники, табл. 1.

В експериментальній групі ( $n = 32$ ) за шкалою від 1 до 9 [6, с. 155] показники розподілились таким чином. Результат на рівні одного балу показали 5 студентів, що становить 16 %. На рівні двох балів роботу виконали 7 студентів (22 %). 8 учасників дослідження спрацювали на три бали, що становить 25 %. Чоти-

ри бали набрали 4 студенти (13 %). На рівні п'яти і шести балів спрацювали по 3 студенти, що становить по 9 %. У сім балів оцінено результат 1 учасника (3 %). Вісім балів було нараховано за показники також одного студента, що складає 3 %. На рівні дев'яти балів результатів не було зафіксовано. Контрольну групу характеризували аналогічні показники.

Таблиця 1

**Концентрація і стійкість уваги студентів експериментальної і контрольної груп до початку експерименту (у балах).  $N = 64$ .**

Table 1

**Concentration and stability of students' attention of experimental and control group before the beginning of experiment (in points).  $N = 64$ .**

Бали	Експериментальна група		Контрольна група	
	кількість	%	кількість	%
1	5	16	5	16
2	7	22	7	22
3	8	25	8	25
4	4	13	4	13
5	3	9	3	9
6	3	9	3	9
7	1	3	1	3
8	1	3	1	3
9	0	0	0	0

Статистичні показники експериментальної групи такі:

1. Середнє арифметичне – 1 297 знаків;
2. Медіана – 1 270,5 знака;
3. Стандартне відхилення – 321 знак.

Статистичні показники контрольної групи такі:

1. Середнє арифметичне – 1 300 знаків;
2. Медіана – 1 265 знаків;
3. Стандартне відхилення – 322, 6 знака.

Повторний зріз було проведено наприкінці четвертого семестру. Експериментальну і контрольну групи тепер характеризували такі показники (табл. 2).



## РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

Таблиця 2

**Концентрація і стійкість уваги студентів експериментальної і контрольної груп по закінченні експерименту (у балах). N = 64.**

Table 2

**Concentration and stability of students' attention of experimental and control group after experiment (in points). N = 64.**

Бали	Експериментальна група		Контрольна група	
	кількість	%	кількість	%
1	3	9,5	4	12
2	2	6	7	22
3	3	9,5	9	28
4	7	22	3	9,5
5	7	22	5	16
6	2	6	3	9,5
7	3	9,5	0	0
8	2	6	1	3
9	3	9,5	0	0

В експериментальній групі (n = 32) за шкалою від 1 до 9 [6, с. 155] показники розподілились таким чином. Результат на рівні одного бала показали 3 студенти, що становить 9,5 %. На рівні двох балів роботу виконали 2 студенти (6 %). 3 учасники дослідження спрацювали на три бали, що становить 9,5 %. Чотири бали набрали 7 студентів (22 %). На рівні п'яти балів результат показали 7 студентів (22 %). На рівні шести балів спрацювали 2 студенти, що становить 6 %. У сім балів оцінено результат 3 учасників (9,5 %). Вісім балів було нараховано за показники 2 студентів, що складає 6 %. На рівні дев'яти балів результат показали 3 студенти (9,5 %). Контрольну групу характеризували інші показники. Результат на рівні одного бала показали 4 студенти, що становить 12 %. На рівні двох балів роботу виконали 7 студентів (22 %). 9 учасників дослідження спрацювали на три бали, що становить 28 %. Чотири бали набрали 3 студенти (9,5 %). На рівні п'яти балів результат показали 5 студентів (16 %). На рівні шести балів спрацювали 3 студенти, що становить 9,5 %. На рівні семи балів результатів не зафіксовано. Вісім балів було нараховано за

показники одного студента, що складає 3 %. На рівні дев'яти балів результатів зафіксовано не було.

Статистичні показники експериментальної групи такі:

1. Середнє арифметичне – 1 554 знаки;
2. Медіана – 1 537 знаків;
3. Стандартне відхилення – 382 знаки.

Статистичні показники контрольної групи такі:

1. Середнє арифметичне – 1 309 знаків;
2. Медіана – 1 285 знаків;
3. Стандартне відхилення – 317 знаків.

Порівнюючи отримані дані можна зробити висновок щодо динаміки змін концентрації і стійкості уваги студентів експериментальної і контрольної груп. Перш за все, привертає увагу суттєве зростання статистичних показників (середнього арифметичного, медіани) в експериментальній групі. Якщо на початку експерименту ці показники в експериментальній і контрольній групах були майже на одному рівні, то на кінець експерименту вони стали суттєво відрізнятися. При цьому в контрольній групі показники середнього арифметичного і медіани збільшились несуттєво, а в експериментальній – спостерігається значне їх зростання.

Загальну картину динаміки змін у рівні розвитку концентрації і стійкості уваги студентів, які брали участь в експерименті, добре видно із загальної кількості та процентного співвідношення студентів по інтервалах групування (рівні розвитку концентрації і стійкості уваги за шкалою від 1 до 9). Так, в контрольній групі до початку експерименту на рівні одного бала було показано 5 результатів, що складало 16 %. По закінченні експерименту таких студентів 4, що складає 12 %. Спостерігається невелике покращення, оскільки один із студентів із цієї групи на кінець експерименту показав результат на рівні двох балів. В експериментальній групі студентів з таким рівнем розвитку концентрації і стійкості уваги на початку експерименту було також 5, що складало 16 %. По закінченні експерименту їх залишилось 3, що складає 9,5 %. Спостерігаємо суттєве покращення, оскільки 2 із 5 студентів показали результати більш високого рівня.

До початку експерименту, результат на рівні двох балів в контрольній групі показували 7 студентів, що становило 22 %. Показники експери-

## РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

ментальної групи були такими ж. На кінець експерименту чисельність і відсоток студентів контрольної групи не змінилися. В експериментальній групі чисельність і, відповідно, відсоток студентів цієї категорії суттєво зменшилися. Їх залишилось 2, що склало 6 %. Спостерігається суттєве покращення, оскільки 5 із 7 студентів показали результат більш високого рівня.

У три бали оцінено результат, який показали до початку експерименту 8 студентів контрольної (25 %) і 8 студентів експериментальної (25 %) груп. На кінець експерименту в контрольній групі таких студентів стало 9 (28 %). Збільшення відбулось за рахунок виходу на цей рівень (з більш низького) одного студента. Констатуємо невелике покращення. В експериментальній групі на кінець експерименту таких студентів виявилось 3, що склало 9,5 %. Констатуємо суттєве покращення, оскільки 5 студентів із 8 показали результат більш високого рівня.

На рівні чотирьох балів до початку експерименту себе показали по 4 студенти з експериментальної і контрольної груп, що становить по 13 %. По закінченні експерименту в контрольній групі на цьому рівні зафіксовано 3 результати (9,5 %). Зменшення відбулось за рахунок виходу на більш високий рівень одного студента. Спостерігається невелике покращення. В експериментальній групі на кінець експерименту зафіксовано 7 результатів (22 %). Збільшення відбулось за рахунок виходу на цей рівень (з більш низьких) 3 студентів. Спостерігається суттєве покращення.

Результат на рівні п'яти балів до початку експерименту показували по 3 студенти в експериментальній і контрольній групах, що складало по 9 %. По закінченні експерименту в контрольній групі на цьому рівні показано 5 результатів (16 %). Збільшення відбулось за рахунок, з одного боку, виходу на цей рівень (з більш низького) одного студента, з іншого, за рахунок опускання на цей рівень з більш високого також одного студента. Констатуємо невелике покращення. В експериментальній групі на кінець експерименту зафіксовано 7 результатів такого рівня (22 %). Збільшення відбулось за рахунок виходу на цей рівень (з більш низького) 4 студентів. Констатуємо значне покращення.

У шість балів оцінено результат, який показували до початку експерименту 3 студенти контрольної і 3 студенти експериментальної

груп. Це становило по 9 %. На кінець експерименту в контрольній групі змін не відбулось. В експериментальній на цьому рівні зафіксовано 2 результати (6 %). Зменшення відбулось за рахунок виходу на більш високий рівень одного студента.

На рівні семи балів до початку експерименту себе проявили по одному студенту з експериментальної і контрольної груп (по 3 %). На кінець експерименту, в контрольній групі, результатів на цьому рівні не зафіксовано. Зменшення відбулось за рахунок опускання на більш низький рівень одного студента. В експериментальній групі на кінець експерименту було зафіксовано 3 таких результати (9,5 %). Збільшення відбулось за рахунок виходу на цей рівень (з більш низького) 2 студентів. Спостерігається суттєве покращення.

Результат на рівні восьми балів до початку експерименту показали по одному студенту в експериментальній і контрольній групах, що становило по 3 %. По закінченні експерименту в контрольній групі змін не відбулось. В експериментальній групі – зафіксовано 2 результати (6 %). Збільшення відбулось за рахунок виходу на цей рівень (з більш низького) одного студента.

На рівні дев'яти балів до початку експерименту не було зафіксовано жодного результату. Після проведення експерименту в контрольній групі ситуація не змінилась. В експериментальній – зафіксовано 3 результати, що складає 9,5 %. Збільшення відбулось за рахунок виходу на цей рівень (з більш низького) 3 студентів. Спостерігається суттєве покращення.

Вторинну статистичну обробку даних експерименту виконано з використанням Т-критерія Вілкоксона.

Встановлено, що для контрольної групи сума рангів нетипових зрушень дорівнює 181 (Т емпіричне = 181). Критичними значеннями Т, при  $n = 32$ , є: а) на рівні статистичної значимості (рівні достовірності результату) 0,01 становить 140; б) на рівні статистичної значимості 0,05 становить 175. Отже, отримане емпіричне значення знаходиться в зоні незначимості. На підставі цього зроблено висновок про вірність нульової гіпотези стосовно контрольної групи, оскільки достовірність переваги зрушень у ній ні в одному з напрямків не встановлено.

Статистична обробка даних отриманих в ході експерименту в експериментальній групі пока-

## РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

зала наступне. Сума рангів нетипових здвигів у ній дорівнювала 1 (Т емпіричне = 1). Критичними значеннями Т, як і в попередньому випадку (оскільки  $n = 32$ ) є: а) на рівні статистичної значимості 0,01 становить 140; б) на рівні статистичної значимості 0,05 становить 175. Отже, отримане емпіричне значення знаходиться в зоні значимості. На підставі цього відхилено нульову гіпотезу стосовно експериментальної групи і підтверджено вірність альтернативної.

Плануючи проведення експерименту ми виходили із важливості для успішної професійної діяльності у залізничній галузі достатнього рівня розвитку у фахівця концентрації і стійкості уваги. В цьому контексті нас цікавило питання можливості розвитку вищезгаданих характеристик уваги у студентів-залізничників в процесі фізичного виховання. У своїй експериментальній гіпотезі ми припустили можливість ефективного розвитку концентрації і стійкості уваги у студентів-залізничників в процесі спеціально організованої психологічної і психофізичної підготовки на навчальних заняттях з фізичного виховання. Для перевірки експериментальної гіпотези було проведено експеримент в якому приймали участь дві групи студентів, експериментальна і контрольна. Змістом навчальної діяльності студентів контрольної групи було освоєння навчальної програми з фізичного виховання для студентів вузів 3 і 4 рівнів акредитації. До змісту навчальної діяльності студентів експериментальної групи, окрім вищезгаданого, входило освоєння розробленого автором блоку психологічної і психофізичної підготовки студентів-залізничників.

Отримані по закінченні експерименту статистичні дані, які характеризують динаміку змін концентрації і стійкості уваги у студентів-залізничників, вказують на те, що традиційні заняття з фізичного виховання, що проводились зі студентами контрольної групи, суттєво (статистично-значимо) не вплинули на розвиток концентрації і стійкості уваги у студентів. Про це свідчить той факт, що протягом двох років таких занять у студентів контрольної групи не відбулось суттєвого зростання відповідних показників. Ми пояснюємо це тим, що в ході традиційних занять не ставляться конкретні завдання щодо розвитку у студентів концентрації і стійкості уваги, не здійснюється підбір ефек-

тивних засобів і взагалі така діяльність не планується.

Що стосується експериментальної групи, то тут на кінець експерименту отримано статистичні дані, які показують суттєве зростання у студентів показників концентрації і стійкості уваги. При цьому позитивна динаміка спостерігається на всіх рівнях розвитку. Перш за все, це стосується позитивного зрушення великої кількості студентів з рівня двох і трьох балів (22 % і 25 % відповідно до початку експерименту) на рівень чотирьох і п'яти балів (22 % і 22 % відповідно по закінченні експерименту). Звертає на себе увагу і суттєвий приріст результатів на рівнях семи, восьми і дев'яти балів. На рівні дев'яти балів до початку експерименту результатів взагалі не було зафіксовано. На кінець, їх виявилось 3, що склало 9,5 %.

Результати, які отримано в експериментальній групі в ході експерименту, дають підстави стверджувати, що експериментальна гіпотеза підтвердилась. Розроблена автором система основ психологічної і психофізичної підготовки студентів-залізничників в процесі фізичного виховання показала себе як ефективний засіб розвитку у них концентрації і стійкості уваги. На нашу думку, ефективність системи полягає у залученні студентів до ефективної різнопланової діяльності, під час виконання якої і відбувається розвиток. Це стосується і використання професійно-значимих видів спорту (в цьому випадку це були спортивні ігри), психотренуючих засобів (з метою розвитку використовувались засоби психологічної діагностики), спеціальних фізичних вправ, спортивних змагань з професійно-значимих видів спорту. На нашу думку, використання вправ для формування навиків саморегуляції психічного стану у студентів також позитивно (хоч і опосередковано) впливає на рівень прояву у них концентрації і стійкості уваги. Такий вплив може бути в екстремальних (стресових) ситуаціях. Навики саморегуляції допомагають опанувати себе, що забезпечує підтримання концентрації і стійкості уваги на необхідному рівні. Блок психологічної просвіти, окрім своїх специфічних завдань, допомагає реалізувати у навчальному процесі принцип свідомого засвоєння навчального матеріалу. Маючи загальне уявлення про психіку людини, студент краще розуміє, для чого йому необхідно розви-

## РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

вати у себе концентрацію і стійкість уваги. Це, в свою чергу, позитивно впливає на його мотивацію щодо занять.

На нашу думку, запропонований для розвитку концентрації і стійкості уваги студентів-залізничників блок засобів психологічної і психофізичної підготовки є оптимальним і показав в ході експерименту свою ефективність для розвитку концентрації і стійкості уваги.

### Наукова новизна та практична значимість

Полягає в підтвердженні ефективності використання під час навчальних занять з фізичного виховання основ психологічної і психофізичної підготовки для розвитку у студентів концентрації і стійкості уваги. Реалізація запропонованого підходу і сприятиме підвищенню продуктивності праці майбутніх фахівців залізниці і рівня безпеки залізничних перевезень.

### Висновки

1. В ході дослідження експериментальне підтвердження отримала гіпотеза про те, що реалізація під час навчальних занять з фізичного виховання авторської концепції основ психологічної і психофізичної підготовки студентів-залізничників є ефективним засобом розвитку у них концентрації і стійкості уваги.

2. Традиційні заняття з фізичного виховання не забезпечують ефективний розвиток концентрації і стійкості уваги у студентів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баранов-Крылов, И. Н. Психофизиологические механизмы произвольного и непроизвольного внимания у человека : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.13 / Баранов-Крылов Игорь Николаевич ; Ин-т физиологии им. И. П. Павлова РАН. – СПб., 1999. – 34 с.
2. Гиппенрейтер, Ю. Б. Деятельность и внимание / Ю. Б. Гиппенрейтер ; под. ред. Ю. Б. Гиппенрейтер и В. Я. Романова // Хрестоматия по вниманию. – М. : ЧеРо, 2001. – С. 543–558.
3. Корнилов, Ю. П. Активизация произвольного внимания квалифицированных гребцов в процессе спортивного совершенствования : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04 / Корнилов Юрий Павлович ; Киев. гос. ин-т физ. культуры. – К., 1983. – 22 с.
4. Кузма, Л. П. Виды нарушений произвольного внимания у учащихся младших классов : дис. ... канд. психол. наук : 19.00.07 / Кузма Левонас Прано ; Ярослав. гос. пед. ун-т им. К. Д. Ушинского. – Ярославль, 2005. – 149 с.
5. Литвиненко, О. В. Психологические и психофизические особенности внимания у здоровых детей и детей с синдромом дефицита внимания : дис. ... канд. психол. наук : 19.00.02 / Литвиненко Оксана Викторовна ; Ростов. гос. ун-т. – Ростов на Дону, 2002. – 137 с.
6. Методики психодиагностики в спорте : учеб. пособие для студентов пед. ин-тов / В. Л. Маришук, Ю. М. Блудов, В. А. Плахтиенко, Л. К. Серова. – М. : Просвещение, 1990. – 256 с.
7. Навчальна програма з фізичного виховання для ВНЗ 3 – 4 рівнів акредитації : Наказ Міністерства освіти і науки України 14 листопада 2003 р. № 757. – К. : Мін-во освіти і науки України. – 22 с.
8. Пахомова, Н. А. Развитие произвольного внимания у первоклассников в зависимости от условий обучения : автореф. дис. ... канд. психол. наук : 19.00.07 / Пахомова Надежда Александровна ; Нижегород. гос. пед. ун-т. – Нижний Новгород, 2002. – 25 с.
9. Пічурін, В. В. Теоретико-методологічні основи психологічної і психофізичної підготовки студентів у процесі фізичного виховання / В. В. Пічурін // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – № 2. – С. 144–149.
10. Практикум по общей и экспериментальной психологии : учеб. пособие / под общ. ред. А. А. Крылова. – Л. : ЛГУ, 1987. – 255 с.
11. Bruya, B. Effortless attention: a new perspective in the cognitive science of attention and action / Brian Bruya. – Cambridge : MIT Press, 2010. – 449 p.
12. Mangun, George R. The neuroscience of attention: attentional control and selection / George R. Mangun. – Oxford : Oxford University Press, 2012. – 278 p.
13. Posner, Michael I. Cognitive neuroscience of attention / Michael I. Posner. – New York : Guilford Press, 2012. – 514 p.

В. В. ПИЧУРИН<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Физическое воспитание», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 64, эл. почта valeriy.pichurin@gmail.com

## РАЗВИТИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И УСТОЙЧИВОСТИ ВНИМАНИЯ СТУДЕНТОВ-ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНИКОВ В ПРОЦЕССЕ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ И ПСИХОФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ

**Цель.** Ряд специальностей железнодорожного транспорта выдвигают исключительно высокие требования к таким характеристикам внимания специалиста, как концентрация и устойчивость. Необходимо выявить условия эффективного развития этих характеристик у студентов-железнодорожников в процессе изучения такой учебной дисциплины, как физическое воспитание. **Методика.** Главным методом исследования является педагогический эксперимент. При его проведении независимой переменной выступало содержание разработанных автором основ психологической и психофизической подготовки. Зависимой переменной были показатели динамики уровня развития концентрации и устойчивости внимания студентов-железнодорожников. **Результаты.** Установлено, что реализация в ходе учебных занятий по физическому воспитанию комплекса средств, включённых автором в содержание основ психологической и психофизической подготовки студентов-железнодорожников, является эффективным направлением развития у них концентрации и устойчивости внимания. **Научная новизна.** Подтверждена эффективность использования в процессе учебных занятий по физическому воспитанию основ психологической и психофизической подготовки для развития у студентов концентрации и устойчивости внимания. **Практическая значимость.** Реализация предложенного подхода при подготовке специалистов для железнодорожной отрасли будет способствовать повышению производительности труда и уровня безопасности железнодорожных перевозок.

**Ключевые слова:** концентрация и устойчивость внимания; физическое воспитание студентов; психологическая и психофизическая подготовка; профессионально-значимые виды спорта; специальные физические упражнения

V. V. PICHURIN<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Physical Education», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician. V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 64, e-mail valeriy.pichurin@gmail.com

## DEVELOPMENT OF ATTENTION CONCENTRATION AND STABILITY OF RAILWAY STUDENTS IN THE PROCESS OF PSYCHOLOGICAL AND PSYCHOPHYSICAL TRAINING

**Purpose.** Some railway professions impose exceptionally high demands on such characteristics of railway students as concentration and stability. One should find out the conditions for effective development of these characteristics in the process of physical training. **Methodology.** Pedagogical experiment is the main method of research. During this experiment the content of psychological and psychophysical training foundations developed by the author was an independent value. A dependent value was the dynamics performance of the level of development of concentration and stability of railway students' attention. **Findings.** It was established, that realization of measure complex (included by the author to the content of foundations of psychological and psychophysical training of railway students) during the lessons is the effective direction of the development of the attention concentration and stability. **Originality.** The effectiveness of using the psychological and psychophysical training of students for development of attention concentration and stability during the lessons was confirmed. **Practical value.** Realization of the proposed approach during the training of specialists for the railway branch will increase the productivity and safety of railway transportations.

**Keywords:** concentration and stability of attention; physical education of students; psychological and psychophysical training; professionally significant sport; specific physical exercise

## REFERENCES

1. Baranov-Krylov I.N. *Psikhofiziologicheskiye mekhanizmy proizvodnogo i neproizvolnogo vnimaniya u cheloveka*. Avtoreferat Diss. [Psychophysiological mechanisms of voluntary and involuntary attention of human. Author's abstract.]. Saint Petersburg, 1999. 34 p.
2. Gippenreyter Yu.B., Romanova V.Ya. *Deyatel'nost i vnimaniye. Kniga: Khrestomatiya po vnimaniyu* [Activity and attention. Book: Attention chrestomathy]. Moscow, CheRo Publ., 2001. pp. 543-558.
3. Kornilov Yu.P. *Aktivizatsiya proizvodnogo vnimaniya kvalifitsirovannykh grebtsov v protsesse sportivnogo sovershenstvovaniya*. Avtoreferat. Diss. [Activation of voluntary attention of skilled paddlers during the sport perfection. Author's Abstract.]. Kyiv, 1983. 22 p.
4. Kuzma L.P. *Vidy narusheniy proizvodnogo vnimaniya u uchashchikhsya mladshikh klassov*. Kand. Diss. [Types of disorders of voluntary attention of pupils of junior school. Cand. Diss.]. Yaroslavl, 2005. 149 p.
5. Litvinenko O.V. *Psikhologicheskiye i psikhofizicheskiye osobennosti vnimaniya u zdorovykh detey i detey s sindromom defitsita vnimaniya*. Kand. Diss. [Psychological and psychophysical features of attention of healthy children and children with attention deficit disorder. Cand. Diss.]. Rostov on Don, 2002. 137 p.
6. Marishchuk V.L., Bludov Yu.M., Plakhtiyenko V.A., Serova L.K. *Metodiki psikhodiagnostiki v sporte* [Psychodiagnostic techniques in sport]. Moscow, Prosveshcheniye Publ., 1990. 256 p.
7. *Navchalna prohrama z fizychnoho vykhovannia dlia VNZ 3 – 4 rivniv akredytatsii* [Curriculum of –physical education for higher schools of 3–4 levels of accreditation]. Kyiv, Min-vo osvity i nauky Ukrainy Publ., 22 p.
8. Pakhomova N.A. *Razvitiye proizvodnogo vnimaniya u pervoklassnikov v zavisimosti ot usloviy obucheniya*. Avtoreferat Diss. [The development of voluntary attention of first grade pupils, depending on the learning environment. Author's abstract.]. Nizhniy Novgorod, 2002. 25 p.
9. Pichurin V.V. *Teoretyko-metodologichni osnovy psykholohichnoi i psykhofizychnoi pidhotovky studentiv u protsesi fizychnoho vykhovannia* [Theoretical and methodological foundations of psychological and psychophysical training of students in the process of physical education]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 2, pp.144-149.
10. Krylov A.A. *Praktikum po obshchey i eksperimentalnoy psikhologii* [Workshop on General and Experimental Psychology]. Leningrad, LGU Publ., 1987. 255 p.
11. Bruya B. *Effortless attention: a new perspective in the cognitive science of attention and action*. Cambridge, MIT Press Publ., 2010. 449 p.
12. Mangun, George R. *The neuroscience of attention: attentional control and selection*. Oxford, Oxford University Press Publ., 2012. 278 p.
13. Posner Michael I. *Cognitive neuroscience of attention*. New York, Guilford Press Publ., 2012. 514 p.

*Стаття рекомендована до публікації к.пед.н., доц. О. М. Доценко (Україна); д.н. з фіз. виховання і спорту, проф. Н. В. Москаленко (Україна)*

Надійшла до редколегії 05.02.2014

Прийнята до друку 14.03.2014

# ЗМІСТ

## **АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ**

<b>С. Ю. БУРЯК</b> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТІЛОЧНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ЗМІННОГО СТРУМУ .....	7
<b>О. О. ГОЛОЛОБОВА</b> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВХІДНИХ ПРИСТРОЇВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ.....	21

## **ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ**

<b>Н. О. БОЖОК</b> МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ПРИВАБЛИВОСТІ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ .....	31
<b>Л. В. МАРЦЕНЮК, А. В. ВИШНЯКОВА</b> ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ТА МЕХАНІЗМУ УПРАВЛІННЯ НИМИ.....	41

## **ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ**

<b>О. О. КАРЗОВА</b> ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ НА ЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ЗРОСТАННЯ СТРУМУ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМИКАННЯХ У СИЛОВИХ КОЛАХ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ .....	49
<b>О. А. НИКИФОРОВА, Г. Г. СИДОРЕНКО</b> ОЦІНКА ПРОФЕСІЙНОГО РИЗИКУ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ СЛУЖБОВИХ ОБОВ'ЯЗКІВ СТАНЦІЙНИХ ДИСПЕТЧЕРІВ ПРИДНІПРОВСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ.....	58

## **ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ**

<b>А. М. АФАНАСОВ, А. Є. ДРУБЕЦЬКИЙ, С. В. АРПУЛЬ, А. П. ХВОРОСТЯНКІНА</b> ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ВЗАЄМНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН .....	67
<b>О. М. ПІШНЬКО, В. О. ГАБРИНЕЦЬ, В. М. ГОРЯЧКІН</b> АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ СТУДМІСТЕЧКА ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ .....	74

## **ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ**

<b>М. Б. КУРГАН, Д. М. КУРГАН, Н. П. ХМЕЛЕВСЬКА, С. Ю. БАЙДАК</b> МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ДОПУСТИМИХ ШВИДКОСТЕЙ РУХУ ПОЇЗДІВ НА СКЛАДНИХ ДІЛЯНКАХ ПЛАНУ ЗАЛІЗНИЦІ .....	83
---	----

## **МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

<b>І. О. ВАКУЛЕНКО, С. В. ПРОЙДАК, З. СТРАДОМСЬКИЙ, В. А. ДЯДЬКО</b> ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ІСКРОВОГО РОЗРЯДУ НА ТВЕРДІСТЬ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ .....	95
<b>В. Г. ЄФРЕМЕНКО, Ю. Г. ЧАБАК, К. ШИМИДЗУ, А. В. ДЖЕРЕНОВА, Б. В. ЄФРЕМЕНКО</b> ДО ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ПОМ'ЯКШУВАЛЬНОЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ВИСОКОХРОМИСТОГО ЧАВУНУ .....	103

## **МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ**

<b>І. А. КОРХІНА</b> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПОРТФЕЛЯ ПРОЕКТІВ ІЗ УРАХУВАННЯМ ВИПАДКОВИХ ФАКТОРІВ .....	111
<b>К. В. МАРІНЦЕВА</b> КЛАСИФІКАЦІЯ АЕРОПОРТІВ І ПРІОРИТЕТНІСТЬ ЇХ РЕКОНСТРУКЦІЇ .....	119

## ***ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ***

**О. М. БОНДАРЕВ, В. Л. ГОРОБЕЦЬ, С. В. МЯМЛІН**

МЕТОДИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ З ПОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ  
ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ТРАНСПОРТУ ..... 130

## ***РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ***

**С. В. МЯМЛІН, Л. О. НЕДУЖА, А. О. ШВЕЦЬ**

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПОКАЗНИКІВ ТЕРТЯ В СИСТЕМІ «КУЗОВ – ВІЗОК» НА ДИНАМІКУ  
ВАНТАЖНОГО ВАГОНА ..... 152

**С. А. УСТЕНКО, С. В. ДІДАНОВ, О. Ю. АГАРКОВ**

ДОСЛІДЖЕННЯ КРИВИХ ЛІНІЙ, ЗАДАНИХ КУБІЧНИМ РОЗПОДІЛОМ КРИВИНИ ..... 164

## ***ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО***

**Ю. М. ГОРБАТЮК, К. І. СОЛДАТОВ, М. С. ПАПКО**

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ НАСКРІЗНИХ ДВОТАВРІВ ДЛЯ ПРОГОНОВИХ БУДОВ  
НАПЛАВНИХ МОСТІВ ..... 173

## ***РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ***

**В. В. ПІЧУРІН**

РОЗВИТОК КОНЦЕНТРАЦІЇ Й СТІЙКОСТІ УВАГИ СТУДЕНТІВ-ЗАЛІЗНИЧНИКІВ У ПРОЦЕСІ  
ПСИХОЛОГІЧНОЇ ТА ПСИХОФІЗИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ..... 187



# СОДЕРЖАНИЕ

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ**

**С. Ю. БУРЯК**

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРЕЛОЧНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ  
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ..... 7

**О. А. ГОЛОЛОБОВА**

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВХОДНЫХ УСТРОЙСТВ СИСТЕМЫ  
АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛОКОМОТИВНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ ..... 21

## **ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

**Н. А. БОЖОК**

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ  
ПЕРЕВОЗОК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ..... 31

**Л. В. МАРЦЕНЮК, А. В. ВИШНЯКОВА**

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК И МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ ИМИ ..... 41

## **ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА**

**О. А. КАРЗОВА**

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА ЗНАЧЕНИЕ СКОРОСТИ НАРАСТАНИЯ  
ТОКА ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ В СИЛОВЫХ ЦЕПЯХ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА ..... 49

**Е. А. НИКИФОРОВА, А. Г. СИДОРЕНКО**

ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ВО ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ СЛУЖЕБНЫХ  
ОБЯЗАННОСТЕЙ СТАНЦИОННЫХ ДИСПЕТЧЕРОВ ПРИДНЕПРОВСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ ..... 58

## **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ**

**А. М. АФАНАСОВ, А. Е. ДРУБЕЦКИЙ, С. В. АРПУЛЬ, А. П. ХВОРОСТЯНКИНА**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ВЗАИМНОГО  
НАГРУЖЕНИЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ..... 67

**А. Н. ПШИНЬКО, В. А. ГАБРИНЕЦ, В. Н. ГОРЯЧКИН**

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СТУДГОРОДКА  
ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ..... 74

## **ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ**

**Н. Б. КУРГАН, Д. Н. КУРГАН, Н. П. ХМЕЛЕВСКАЯ, С. Ю. БАЙДАК**

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСТИМЫХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ  
НА СЛОЖНЫХ УЧАСТКАХ ПЛАНА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ ..... 83

## **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

**И. А. ВАКУЛЕНКО, С. В. ПРОЙДАК, З. СТРАДОМСКИ, В. А. ДЯДЬКО**

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИСКРОВОГО РАЗРЯДА НА ТВЕРДОСТЬ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ..... 95

**В. Г. ЕФРЕМЕНКО, Ю. Г. ЧАБАК, К. ШИМИДЗУ, А. В. ДЖЕРЕНОВА, Б. В. ЕФРЕМЕНКО**

К ВЫБОРУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СМЯГЧАЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ  
ОБРАБОТКИ ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА ..... 103

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТА И ЭКОНОМИКИ**

**И. А. КОРХИНА**

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПОРТФЕЛЯ  
ПРОЕКТОВ С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНЫХ ФАКТОРОВ ..... 111

**К. В. МАРИНЦЕВА**

КЛАССИФИКАЦИЯ АЭРОПОРТОВ И ПРИОРИТЕТНОСТЬ ИХ РЕКОНСТРУКЦИИ ..... 119

## ***ПРОМЫШЛЕННЫЙ ТРАНСПОРТ***

**А. М. БОНДАРЕВ, В. Л. ГОРОБЕЦ, С. В. МЯМЛИН**

МЕТОДЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОДЛЕНИЮ СРОКА СЛУЖБЫ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ  
ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА .....130

## ***ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ТЯГА ПОЕЗДОВ***

**С. В. МЯМЛИН, Л. А. НЕДУЖАЯ, А. А. ШВЕЦ**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРЕНИЯ В СИСТЕМЕ «КУЗОВ – ТЕЛЕЖКА»  
НА ДИНАМИКУ ГРУЗОВОГО ВАГОНА .....152

**С. А. УСТЕНКО, С. В. ДИДАНОВ, А. Ю. АГАРКОВ**

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИВЫХ ЛИНИЙ, ЗАДАННЫХ КУБИЧЕСКИМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ КРИВИЗНЫ .....164

## ***ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО***

**Ю. Н. ГОРБАТЮК, К. И. СОЛДАТОВ, М. С. ПАПКО**

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СКВОЗНЫХ ДВУТАВРОВ ДЛЯ ПРОЛЕТНЫХ  
СТРОЕНИЙ НАПЛАВНЫХ МОСТОВ .....173

## ***РАЗВИТИЕ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ***

**В. В. ПИЧУРИН**

РАЗВИТИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И УСТОЙЧИВОСТИ ВНИМАНИЯ СТУДЕНТОВ-ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНИКОВ  
В ПРОЦЕССЕ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ И ПСИХОФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ .....187

# CONTENTS

## ***TRANSPORT AUTOMATED CONTROL SYSTEMS***

**S. YU. BURYAK**

MATHEMATICAL MODELING OF AC ELECTRIC POINT MOTOR .....7

**O. O. GOLOLOBOVA**

MATHEMATICAL MODELING OF THE INPUT DEVICES IN AUTOMATIC LOCOMOTIVE  
SIGNALING SYSTEM.....21

## ***ECONOMICS AND MANAGEMENT***

**N. A. BOZHOK**

METHODOICAL APPROACH TO DETERMINATION OF PASSENGER TRANSPORTATION  
ATTRACTIVENESS ON RAILWAY TRANSPORT .....31

**L. V. MARTSENYUK, A. V. VYSHNIAKOVA**

IMPROVEMENT OF FREIGHT TRANSPORTATIONS PROCESS AND THEIR MANAGEMENT MECHANISM.....41

## ***OPERATION AND REPAIR OF TRANSPORT MEANS***

**O. A. KARZOVA**

INFLUENCE OF CONTACT NETWORK PARAMETERS ON VALUE OF CURRENT RISE SPEED  
DURING SHORT CIRCUIT IN POWER CIRCUITS OF ELECTRIC ROLLING STOCK .....49

**O. A. NYKYFOROVA, H. H. SYDORENKO**

PROFESSIONAL RISK ASSESSMENT DURING PERFORMING OFFICIAL DUTIES  
OF STATION DISPATCHERS ON PRYDNIPROVSK RAILWAY .....58

## ***ELECTRIC TRANSPORT***

**A. M. AFANASOV, A. YE. DRUBETSKIY, S. V. ARPUL, A. P. KHVOROSTYANKINA**

ENERGY EFFICIENCY DETERMINATION OF LOADING-BACK SYSTEM  
OF ELECTRIC TRACTION MACHINES .....67

**O. M. PSHINKO, V. O. GABRINET, V. M. GORIACHKIN**

EFFECTIVENESS ANALYSIS OF CAMPUS HEAT SUPPLY SYSTEM OF DNIPROPETROVSK  
NATIONAL UNIVERSITY OF RAILWAY TRANSPORT .....74

## ***RAILWAY TRACK***

**M. B. KURHAN, D. M. KURHAN, N. P. KHMELEVSKA, S. YU. BAIDAK**

METHODOLOGY OF DETERMINATION OF ADMISSIBLE SPEEDS OF TRAIN  
MOVEMENT ON DIFFICULT SECTIONS OF RAILROAD PLAN .....83

## ***MATERIAL SCIENCE***

**I. O. VAKULENKO, S. V. PROYDAK, Z. STRADOMSKI, V. A. DIADKO**

INFLUENCE OF ELECTRIC SPARK ON HARDNESS OF CARBON STEEL .....95

**V. G. EFREMENKO, YU. G. CHABAK, K. SHIMIZY, A.V. DZHERENOVA, B.V. EFREMENKO**

TO SELECTION OF TECHNOLOGICAL SCHEME OF SOFTENING HEAT TREATMENT FOR  
HIGH CHROMIUM CAST IRON.....103

## ***TRANSPORT AND ECONOMIC TASKS MODELING***

**I. A. KORKHINA**

MATHEMATICAL MODEL OF OPTIMAL PROJECT PORTFOLIO FORMING BASED ON RANDOM FACTORS.....111

**K. V. MARINTSEVA**

AIRPORTS CLASSIFICATION AND PRIORITY OF THEIR RECONSTRUCTION.....119

## ***INDUSTRIAL TRANSPORT***

**O. M. BONDAREV, V. L. GOROBETS, S. V. MYAMLIN**

METHODS AND RESEARCH CONCERNING SERVICE LIFE EXTENSION OF SUPPORTING  
STRUCTURES OF TRACTION ROLLING STOCK FOR INDUSTRIAL TRANSPORT .....130

## ***ROLLING STOCK AND TRAIN TRACTION***

**S. V. MYAMLIN, L. O. NEDUZHA, A. O. SHVETS**

DETERMINATION OF FRICTION PERFORMANCE INFLUENCE IN THE SYSTEM "BODY-BOGIE"  
ON THE FREIGHT CAR DYNAMICS .....

152

**S. A. USTENKO, S. V. DIDANOV, O. YU. AGARKOV**

INVESTIGATION OF CURVES SET BY CUBIC DISTRIBUTION OF CURVATURE .....

164

## ***TRANSPORT CONSTRUCTION***

**YU. M. GORBATIUK, K. I. SOLDATOV, M. S. PAPKO**

RESEARCH OF USING OPEN DOUBLE T BEAMS FOR SPANS IN FLOATING BRIDGES .....

173

## ***HIGH SCHOOL DEVELOPMENT***

**V. V. PICHURIN**

DEVELOPMENT OF ATTENTION CONCENTRATION AND STABILITY OF RAILWAY

STUDENTS IN THE PROCESS OF PSYCHOLOGICAL AND PSYCHOPHYSICAL TRAINING .....

187

## ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

До публікації в журналі приймаються статті українською, російською або англійською мовами проблемного, узагальнюючого, методичного характеру, оригінальні наукові, практичні дослідження, які раніше ніде не видавалися.

Матеріали необхідно надавати в друкованому та електронному вигляді у програмі Microsoft Word 2003 або більш ранній версії – файли \*.doc (файли \*.docx, \*.docm не приймаються).

Наукова стаття повинна відповідати вимогам п. 3 Постанови ВАК України № 7-05/1 від 15.01.2003 року.

Матеріали рецензуються членами редакційної колегії збірника та сторонніми незалежними експертами, виходячи з принципу об'єктивності та з позицій вищих міжнародних академічних стандартів якості, та редагуються. Редакція залишає за собою право на стилістичну правку рукопису.

### **Вимоги щодо обсягу наукових статей, повідомлень, відгуків та рецензій:**

- оглядові та проблемні статті – до 45 000 знаків з пробілами (7–10 с.);
- загальні статті за рубриками видання – до 30 000 знаків з пробілами (5–7 с.);
- наукове повідомлення – до 8 000 знаків з пробілами (до 2,5 с.);
- відгук або рецензія – до 6 000 знаків з пробілами (до 2 с.).

Матеріал надається у форматі А4, враховуючи таблиці, ілюстрації, список використаних джерел. Статті, більші за обсягом, можуть бути прийняті до розгляду на підставі рішення редколегії.

**Увага! Журнал готується до експертизи в наукометричній базі даних SciVerse Scopus.** Із цим фактом пов'язаний ряд необхідних вимог, а саме: наявність авторських розширених і структурованих резюме (рефератів – abstracts), у т.ч. англійською мовою, рецензій, пристатейних списків літератури в романському алфавіті тощо.

**Рекомендуємо скористатися правилами до оформлення статей журналу:**  
<http://library.diit.edu.ua/HTMLs/scientists/Vumogu/Vumogu.pdf>.

### **Для здачі статті до друку автору/авторам необхідно:**

#### **1. Для електронної інформації сформувати всі матеріали в п'яти файлах:**

- **Перший** – із текстом статті та анотацій з ключовими словами. Назва файлу – прізвище та ініціали автора (першого співавтора) латинськими літерами, наприклад: Ivanov\_II\_statia.doc.
- **Другий** – з розширеними відомостями про автора/авторів (прізвище, ім'я, по батькові; посада; науковий ступінь; учене звання; місце роботи або навчання; адреса електронної пошти; номери контактних телефонів). Назва файлу – Ivanov\_II\_vidomosti.doc.
- **Третій** – рецензія (відсканована). Назва файлу – Ivanov\_II\_recenziia.jpg.
- **Четвертий** – Експертний висновок (відсканований, складається у вільній формі). Назва файлу – Ivanov\_II\_vysnovok.jpg.
- **П'ятий** – Ліцензійний договір (відсканований). Назва файлу – Ivanov\_II\_dogovir.jpg. Текст договору: <http://library.diit.edu.ua/HTMLs/scientists/Vumogu/license.doc>.

**2. Для друкованої інформації.** До редакції надаються особисто або надсилаються поштою такі матеріали: 1) два друкованих примірники рукопису з підписами всіх співавторів на останньому аркуші роботи; 2) оригінал Ліцензійного договору з підписами всіх співавторів; 3) оригінал експертного висновку; 4) рекомендація до друку за підписом відповідального редактора розділу (для співробітників ДНУЗТ).

**Відповідальність за зміст статті, правильність, точність і коректність цитування, посилань та перекладу покладається на авторів.**

**Остаточне рішення щодо публікації ухвалює редакційна колегія журналу.**

**Статті, відхилені редакційною колегією, повертаються авторам для доопрацювання.**

**Шановні автори, запрошуємо до співробітництва!**

### **З питань опублікування звертайтеся до редакції журналу за адресою:**

Науково-технічна бібліотека (ауд. 166),  
 Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,  
 вул. Лазаряна, 2,  
 м. Дніпропетровськ,  
 Україна,  
 49010  
 e-mail: [visnik@diit.edu.ua](mailto:visnik@diit.edu.ua)  
 Адреса сайту журналу: <http://stp.diit.edu.ua/>

**З питань придбання примірників журналу телефонуйте за номером** (056) 776 90 59 Грідасова А. В.,  
 (056) 373 15 71 Миргородська А. І.



## Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна веде підготовку докторантів та аспірантів за рахунок коштів Державного бюджету України – за державним замовленням – за такими спеціальностями:

### ДОКТОРАНТУРА

№	Спеціальність	Шифр
1	Теоретичні основи інформатики та кібернетики	01.05.01
2	Управління проектами і програмами	05.13.22
3	Залізнична колія	05.22.06
4	Рухомий склад залізниць і тяга поїздів	05.22.07
5	Електротранспорт	05.22.09
6	Експлуатація та ремонт засобів транспорту	05.22.20
7	Будівельні конструкції, будівлі та споруди	05.23.01
8	Будівельні матеріали та вироби	05.23.05

На підставі угод, що укладаються з докторантом і керівником вищого навчального закладу, до докторантури приймаються громадяни України, кандидати наук, що мають наукові досягнення в обраній галузі.

Строк навчання 3 роки.

Вступники до докторантури подають:

- заяву на ім'я ректора,
- копію першої сторінки паспорта,
- особистий листок з обліку кадрів з фотокарткою, який засвідчено відділом кадрів за місцем основної роботи,
- витяг з трудової книжки,
- довідку з бухгалтерії про заробітну платню,
- засвідчену копію диплома про закінчення вищого навчального закладу із зазначенням одержаної кваліфікації спеціаліста,
- копію диплома кандидата наук,
- копію атестата доцента, с.н.с. за їх наявності,
- розгорнутий план докторської дисертації,
- список опублікованих наукових праць та винаходів,
- медичну довідку про стан здоров'я за формою № 286-у,
- ідентифікаційний код,
- одну фотокартку розміром 3х4.

### АСПІРАНТУРА

№	Спеціальність	Шифр
1	Фізика твердого тіла	01.04.07
2	Теоретичні основи інформатики та кібернетики	01.05.01
3	Математичне моделювання та обчислювальні методи	01.05.02
4	Неорганічна хімія	02.00.01
5	Управління проектами і програмами	05.13.22
6	Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика	05.14.06
7	Залізнична колія	05.22.06
8	Рухомий склад залізниць і тяга поїздів	05.22.07
9	Електротранспорт	05.22.09
10	Експлуатація та ремонт засобів транспорту	05.22.20
11	Основи і фундаменти	05.23.02
12	Будівельні конструкції, будівлі та споруди	05.23.01
13	Будівельні матеріали та вироби	05.23.05
14	Технологія та організація промислового та цивільного будівництва	05.23.08
15	Економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності)	08.00.04
16	Історія філософії	09.00.05
17	Екологічна безпека	21.06.01

На підставі угод, що укладаються з аспірантом і керівником вищого навчального закладу, до аспірантури приймаються громадяни України, які мають вищу освіту і кваліфікацію спеціаліста.

Строк навчання в аспірантурі з відривом від виробництва – 3 роки, без відриву від виробництва – 4 роки.

Особи, допущені до вступних іспитів у аспірантуру, складають три іспити за програмою вищого навчального закладу:

- спеціальну дисципліну,
- філософію,
- іноземну мову.

За консультаціями звертатися на відповідні кафедри університету.

Особи, що вступають до аспірантури, подають:

- заяву на ім'я ректора,
- письмовий висновок передбачуваного наукового керівника про можливість навчання в аспірантурі,
- рекомендацію вченої ради вищого навчального закладу до вступу в аспірантуру (для випускників поточного року),
- копію першої сторінки паспорта,
- особистий листок з обліку кадрів з фотокарткою, який засвідчено відділом кадрів за місцем основної роботи,
- витяг з трудової книжки,
- довідку про заробітну платню,
- засвідчену копію диплома про закінчення вищого навчального закладу,
- посвідчення про складання кандидатських іспитів (за їх наявності),
- список опублікованих наукових праць та винаходів або реферат з обраної наукової спеціальності з рецензією передбачуваного наукового керівника,
- медичну довідку про стан здоров'я за формою № 286-у,
- ідентифікаційний код,
- одну фотокартку розміром 3×4.

**Прийом документів до докторантури та аспірантури з 01.09 по 30.09 щорічно.**

Вступні іспити до аспірантури з 10.10 по 30.10 щорічно.

Початок занять з 01.12 щорічно.

**За інформацією звертатися:**

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту,  
вул. Лазаряна, 2,  
м. Дніпропетровськ,  
Україна,  
49010.

Тел. : (056) 373-15-44 – ректор, проф. Пшінько Олександр Миколайович, приймальня;  
(056) 373-15-29 – проректор з наукової роботи, проф. Мямлін Сергій Віталійович;  
(056) 373-15-63 – завідувача аспірантурою та докторантурою Лахнова Ірина Анатоліївна, кімн. 320).

#### **Інформація про спеціалізовані вчені ради університету**

В університеті працює три спеціалізовані вчені ради із захисту докторських та кандидатських дисертацій за спеціальностями:

- Д 08.820.01 – залізнична колія (05.22.06) та електротранспорт (05.22.09); 05.22.12 – промисловий транспорт.
- Д08.820.02 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів (05.22.07) і експлуатація та ремонт засобів транспорту (05.22.20); транспортні системи (05.22.01);
- К08.820.03 – економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності).

Для нотаток



Наукове видання

**НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ.  
ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА**  
№ 2 (50) 2014

(українською, російською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск – Т. О. Колесникова

Комп'ютерне верстання – Ю. С. Марков

Літературна обробка – О. М. Врублевська

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Ум. друк. арк. 23,72. Тираж 300 пр. Зам. № 512.

**Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна**

*Адреса редакції, видавця:*

вул. Лазаряна, 2, кім. 267, м. Дніпропетровськ, 49010, Україна

*Тел.:* +38 (056) 371-51-05

*E-mail:* lib@b.dit.edu.ua, visnik@dit.edu.ua

*Адреса дільниці оперативної поліграфії:*

вул. Лазаряна, 2, кім. 1201, м. Дніпропетровськ, 49010, Україна

*Тел.:* +38 (056) 47-19-66, факс: +38 (056) 47-19-83



Научное издание

**НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ. ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА**

**(НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА. ВЕСТНИК ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА В. ЛАЗАРЯНА)**

№ 2 (50) 2014

(на украинском, русском и английском языках)

Ответственный за выпуск – Т. А. Колесникова

Компьютерная верстка – Ю. С. Марков

Литературная обработка – О. М. Врублевская

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Ус. печат. лист. 23,72. Тираж 300 экз. Зак. № 512.

**Издательство Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта  
имени академика В. Лазаряна**

*Адрес редакции, издателя:*

ул. Лазаряна, 2, ком. 267, г. Днепропетровск, 49010, Украина

*Тел.:* +38 (056) 371-51-05

*E-mail:* lib@b.dit.edu.ua, visnik@dit.edu.ua

*Адрес участка оперативной полиграфии:*

ул. Лазаряна, 2, ком. 1201, г. Днепропетровск, 49010, Украина

*Тел.:* +38 (056) 47-19-66, факс: +38 (056) 47-19-83



Scientific Edition

**NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU. VISNIK DNIPROPETROVS'KOGO NACIONAL'NOGO  
UNIVERSITETU ZALIZNICHNOGO TRANSPORTU**

**(SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS. BULLETIN OF DNIPROPETROVSK NATIONAL  
UNIVERSITY OF RAILWAY TRANSPORT NAMED AFTER ACADEMICIAN V. LAZARYAN)**

No. 2 (50) 2014

(in Ukrainian, Russian and English languages)

Responsible for issue – Т. О. Kolesnykova

Computer makeup – Yu. S. Markov

Redaction – O. M. Vrublevska

Format 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Conventional printed sheet 23,72. Circulation 300. Order no. 512.

Publication of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan

Address of editor and editorial office

Lazaryan St., 2, r. 267, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

*Tel.:* +38 (056) 371-51-05

*E-mail:* lib@b.dit.edu.ua, visnik@dit.edu.ua

*Address of small offset printing office*

Lazaryan St., 2, r. 1201, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

*Tel.:* +38 (056) 47-19-66, *Fax:* +38 (056) 47-19-83



СУЧАСНІ ЗАКЛАДИ ОСВІТИ - 2014  
П'ята Міжнародна Виставка

# CERTIFICATE

якості наукових публікацій  
УДОСТОЄНИЙ

Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна



Міністерство освіти і науки України

Міністр

С. Квіт

Підстава:  
показники наукометричної  
бази даних Scopus  
за 2013 рік



Національна академія  
педагогічних наук України

Президент

В. Кремень



Україна, м. Київ

Асоціація користувачів  
Української науково-освітньої  
телекомунікаційної мережі «Уран»

Голова Ради

Ю. Якименко





110-00

Передплатний індекс - 68926  
Подписной индекс - 68926  
Subscription index - 68926



9 772307 348000

ISSN 2307-3489 (Print)  
ISSN 2307-6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2014. 2(50). 1-204