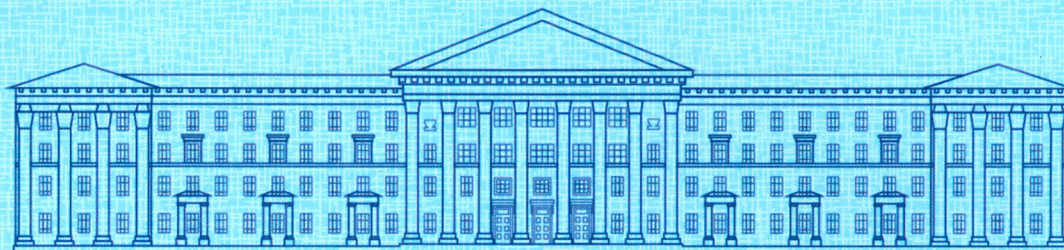




ISSN 2307-3489 (Print)
ISSN 2307-6666 (Online)



НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

1(49)

•• 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

1 (49) 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); Стржеleckі 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. Друкується за рішенням вченої ради університету від 03.03.2014 р., протокол № 7

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.: (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

1 (49) 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., Боднарь 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., Покотиллов 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 постановлением 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.

Печатается по решению ученого совета университета от 03.03.2014 г., протокол № 7

Издатель Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (г. Днепропетровск)
Свидетельство субъекта издательского дела ДК № 1315 от 31.03.2003 г.

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

1 (49) 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.
 Published according to the Academic Council decision of the University from 03.03.2014, Protocol no. 7

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.: (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»

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

UDC 001(092):629.4.015:656.2

S. V. MYAMLIN¹, T. A. KOLESNYKOVA^{1*}

¹Vice-Rector for Research, 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

^{1*}Scientific and Technical Library, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 371 51 05, e-mail lib@b.diit.edu.ua

DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC SCHOOL OF TRANSPORT MECHANICS: ARTISTIC LEGACY OF YE. P. BLOKHIN

Purpose. Development of domestic and global transport science occurred due to the contributions of many scientists and practicing engineers. The purpose of our study is the analysis of scientific documentary legacy of YE. P. Blokhin, Doctor of Technical Sciences, Professor of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan and identifying his place and role in the development of modern railway transport. **Methodology.** Application of problem-chronological, comparative, descriptive historical methods of research, systematization and analysis of scientific papers allowed the authors to submit the actual history of the railway transport development (1950-2013) through the prism of YE. P. Blokhin scientific activity. We identified 6 main periods of his scientific activity. **Findings.** It was found out that the overall intellectual plant of the scientist includes 555 scientific papers (written personally and co-authored) in domestic and foreign publications on key issues of mechanics and operation of railway rolling stock. Artistic legacy of YE. P. Blokhin includes monographs, articles, reports, patents, author certificate, etc. It was found that the epistolary legacy of scientist, archive materials, his personal diaries, reference list of works of his students and followers are almost unexplored. **Originality.** Authors of the work for the first time in the history of science and technology of Ukraine conducted a complex study of the scientific legacy of YE. P. Blokhin in the context of railway transport. It is proved that the ideas, research, scientific works, implemented projects, numerous students and followers of YE. P. Blokhin are important factors, confirming a significant contribution of the scientist to the global engineering and transport science. **Practical value.** The work can be used to create historiographical papers and textbooks, to study the issues of formation and development of the scientific school for transport mechanics and university science of Ukraine in the railway branch, in the course of lectures on the subjects «History of railway transport development» and «Introduction to the profession».

Keywords: YE. P. Blokhin; school of transport mechanics; railway transport; Dnipropetrovsk National University of Railway Transport; artistic legacy of scientist

Introduction

A year passed since the time when Yevgeniy Petrovich Blokhin prematurely passed away (01.05.1928-27.11.2012). He is a well-known scientist in the field of basic science and applied transportation research, practicing engineer, educator, organizer and just extraordinary, charismatic person. YE. P. Blokhin is a person with a capital P, a man ready to act, bringing to the life of surrounding people true values.

It is written and said a lot on the role of personality in history. After all, the whole history of mankind is a mosaic of personalities, their actions, thoughts, dreams, desires, emotions and passions.

Scientists argue that the individuals "who earlier, better, deeper and more fully aware of the new needs of society development, the need to change the existing conditions and more resolutely fight for it, know how to find and point out the

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

forces, ways and means to carry out the tasks the society, people and class should cope with" are doing the fate of mankind [7, p. 641].

G. V. Plekhanov emphasized that the great man stamps his individuality on the events, but it is not his principal meaning. He is great "because he has the features making him the most capable of serving the great social needs of the time, which arose under the influence of general and particular causes" [14, p. 304].

Development of domestic and global transport science at all stages occurred due to the contributions of many scientists and practicing engineers. A lot of memories of both their contemporaries and modern researchers of the history of science and technology of Ukraine are devoted to the great people, outstanding scientists of railway transport science, engineers, educators and public persons [2, 5, 9, 13, 17, 18, 21, 22]. Among them are N. A. Beleyubskiy, D. I. Zhuravskiy, S. D. Kareyshi, V. A. Lazaryan, M. I. Lipin, P. P. Melnikov, V. N. Obratsov, YE. O. Paton, G. P. Perederiy, N. P. Petrov, S. P. Syromyatnikov. At the same time, documentary scientific legacy of such a vivid person in the history of transport and scientific school of transport mechanics as Ye. P. Blokhin is still improperly understood, inadequately appreciated and not brought to the contemporaries in full.

Purpose

Based on the above mentioned, the purpose of our study is to analyze scientific documentary legacy of YE. P. Blokhin, Doctor of Technical Sciences, Professor of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan and identifying his place and role in the development of modern railway transport.

Methodology

Application of problem-chronological, comparative, descriptive historical methods of research, systematization and analysis of scientific papers allowed the authors to submit the actual history of the development of railway transport development (1950-2013) through the prism of scientific activity of YE. P. Blokhin. Periodization method made it possible to identify the basic stages and their characteristics in the development of railway transport of USSR and Ukraine, as well as

in the scientific activities of YE. P. Blokhin. Using the analysis of historical situation, this method makes it possible to identify the major milestones of his scientific activity.

YE. P. Blokhin is a Doctor of Technical Sciences, Professor, Member of the Academy of Engineering Sciences of Ukraine and Transport Academy of Ukraine, Corresponding Member of the International Engineering Academy, Honored Worker of Higher School of the Ukrainian SSR, winner of the State Prize of Ukraine in the field of Science and Technology, winner of the Prize named after Academician A. N. Dinnik, Honorary Worker of Transport of Ukraine, Honorary Railwayman of Ukraine [6, p. 83].

Nearly 30 years (1974-2002) YE. P. Blokhin worked as an Academic Vice-Rector and the First Vice-Rector of the Dnipropetrovsk Institute of Railway Transport Engineers, which in 1993 received the status of university. First, as a Head of the Chair of Theoretical Mechanics (1973-1983), and then as a Head of the Chair of Structural Mechanics (1983-2011), Yevgeniy Petrovich also headed a Research Laboratory of the Dynamics and Strength of Railway Rolling Stock – a reputable international scientific research center on the movement mechanics theory of the body and operation of rolling stock.

Professor Yevgeniy Petrovich Blokhin is iconic personality in the domestic and world transport science, so the interest to his research, scientific and practical, engineering-educational and organizational activities is increasing every day. Multidimensionality and large scale of his actions make one again carefully study his artistic legacy.

Scientific papers! The shelves are crammed with books!

The shelves are helpless to retain the pressure of his ideas!

He is absorbed in science and plunged into the torrent of its emotions! [12, p. 36].

The disciple of Academician V. A. Lazaryan, the founder of the School of Railway Transport Mechanics, YE. P. Blokhin devoted most of his scientific works to the key problems of mechanics and rolling stock operation, traction and derailment stability of the vehicles. It is this artistic capital becomes a significant contribution to the global transportation science and served as the starting point for the works of researchers of many schools and directions.

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

Using the chronology of works of YE. P. Blokhin for the period of 1954 to 2013 and the stock of scientific and technical library of DNURT, as well as the personal collection of the scientist as the main source of bibliographic information, it was found out that his general intellectual documentary plant includes 555 publications (personally written and co-authored) in domestic and foreign publications. Among them are 4 monographs; 456 articles and reports published in peer-reviewed journals and in proceedings of scientific conferences. In addition, scientific works of YE. P. Blokhin are presented by the following:

- patents and author certificates – 54;
- deposited manuscripts – 17;
- research reports (under scientific supervision of YE. P. Blokhin) – 3;
- proceedings (edited by YE. P. Blokhin) – 11;
- textbooks – 5;
- methodological guidelines – 5.

More than 60 master's and doctoral theses were defended under scientific supervision of YE. P. Blokhin.

Research of any period in the development of railway transport science and technology suggest the study of scientific works of people (scientists, teachers, engineers), which are aimed to solve the problems in the theory of rolling stock, operation of communication routes, construction, energy supply, economics, etc. as an integral component of the study.

Structure analysis of the bibliographic array of works of YE. P. Blokhin, age dynamics of publication activity in his research activities allowed the authors to divide the works (articles in peer-reviewed journals and reports in the proceedings of scientific conferences) of the scientist to the following periods:

- 1954-1969 – 45 publications;
- 1970-1979 – 68 publications;
- 1980-1989 – 94 publications;
- 1990-1999 – 56 publications;
- 2000-2009 – 157 publications;
- 2010-2013 – 36 publications.

Generalization of some scientific research is a series of monographs written by YE. P. Blokhin with national and foreign colleagues and associates «Динамика поезда (нестационарные продольные колебания)» = «Dynamics of trains (transient longitudinal oscillations)», «Расчеты и испытания тяжеловесных поездов» = «Calculations and tests

of heavy trains», «Железные дороги мира в XXI веке» = «Railways in the world of XXI century», «Railway Wheelsets» [23]. These fundamental works in conjunction with scientific articles, reports, deposited manuscripts, patents and author certificates are a kind of scientific chronicles of step-by-step development of railway transport.

Let us study the given chronicles through the prism of six periods in scientific activities of YE. P. Blokhin.

50th - 60th of the XX century

It is the years of intensive expansion and development of the USSR railways, increasing the production of electric and diesel locomotives termination of mainline locomotives production, approval of the General Plan of Railway Electrification. As a result, by the beginning of 1970, over 106 sq km of railways (about 80% of their length) had electric and diesel traction, performed more than 95 % of total turnover. Basic performance indicators of rail transport confirm the multiple growth of traffic and turnover. Thus, the turnover in 1950 was equal to 602 billion of ton-kilometers, and in 1970 - 2495; cargo transportations - 834 million tons (1950) and 2896 (1970); passenger turnover - 88 billion of passenger km (1950) and 274 (1970), the passenger transportations – 1.164 million (1950) and 3864 (1970) [1, p. 103].

At the same time - this is the formative years of YE. P. Blokhin as a scientist, a railway engineer, university teacher, characterized by deep scientific erudition and a variety of research interests, extending far beyond the graduate of Mechanical Faculty of Dnipropetrovsk Institute of Railway Transport Engineers (DIIT). In 1958, at the age of 30 Yevgeniy Petrovich defended his Ph.D. thesis "Studies of the impact of the train heterogeneity on dynamic forces arising in the coupling gears during start up" and obtained a rank of Associate Professor.

In those years, the basic research interests of Yevgeniy Petrovich included experimental and theoretical studies of transient processes in trains and in other distributed technical systems. It is he, who was the first to consider the processes in inhomogeneous in mass trains and in inhomogeneous long frame structures.

Enthusiasm and intense rhythm of work of all employees of the Department of Structural Mechanics and Branch Research Laboratory of

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

the Dynamics and Strength of Railway Rolling Stock (BRLDSRRS) under the leadership of V. A. Lazaryan had made DIIT an innovator and leader of the technical universities of USSR on the application of computer technology in research work.

Extraordinary performance, energy, non-standard thinking of young scientist Yevgeniy Blokhin, employee of the Department and Laboratory, had been reflected in the period from 1954 to 1970 by 45 scientific publications in journals and proceedings. Among them are the following works: «О влиянии неоднородности поезда на динамические усилия, возникающие в упряжных приборах при трогании с места» = «On the influence of the train heterogeneity on dynamic forces arising in the coupling gears during start up» (1958), «Исследование усилий, возникающих в грузовых поездах, при включении в них восьмиосных полувагонов» = «Study of the efforts arising in freight trains during inclusion of eight-axle open-cars» (1963), «К вопросу о влиянии характеристик связей одномерных механических систем на переходные режимы движения» = «On the influence of the coupling characteristics of one-dimensional mechanical systems on the transitional modes of motion» (1966), «Исследование с помощью ЭВМ процессов торможения поездов» = «Investigation of train braking processes using computer» (1967), «Применение ЭВМ к исследованиям переходных режимов движения при пуске в ход» = «The use of computers in research of transients motion modes when starting-up» (1969), «Экспериментальные исследования продольных усилий в грузовых поездах массой до 10 тыс. тонн при переходных режимах движения» = «Experimental studies of longitudinal forces in freight trains weighing up to 10 000 tons during transient modes of motion» (1970), «Влияние одновременного включения локомотивов на усилия в сдвоенном поезде» = «Influence of non-simultaneous locomotives switching on the efforts in dual train» (1970) and others.

1970-1979

Technical reconstruction had made the Soviet Union the world leader in terms of traffic and performance of operational activity. A substantial increase in the transportation volumes in 1970s had led to a further significant increase in congestion of

railway track: from 29.0 million of gross ton-km/km per year in 1970 to 34.6 million of gross ton-km/km per year in 1980. During 1971-1980 the Soviet Union had been building more than 6100 km of new railways.

Scholars and practitioners of rail transport, including the staff of DIIT, participated in the preparation and implementation of a number of all-union and branch programs, ensuring the creation of technical equipment for mechanization of cargo handling, loading-unloading operations, store handling, the use of automation and remote control, the development of more powerful and advanced locomotives and cars. In the late 70s it was started the mass introduction of advanced technological processes and above all of heavy and high-speed train motion.

Development of scientific and technical progress in the Soviet Union was based on the work of a well-developed system of scientific research, design and engineering organizations in the branch. One of them was the aforementioned the Branch Research Laboratory of the Dynamics and Strength of Rolling Stock created in DIIT in 1958 by Academician V. A. Lazaryan. It became a reputable scientific center for the study of longitudinal forces in the train during the processes of motion and braking. In 1972, when he defended his doctoral thesis «Исследования переходных режимов движения поездов с существенно нелинейными междувагонными соединениями» = «Studies of transients modes of train motion with nonlinear coupling cables» and received the degree of Doctor of Technical Sciences, YE. P. Blokhin chaired BRLDSRRS.

Initiated by YE. P. Blokhin and with his direct participation it was developed an original method for assessing the strength of structural elements of cars. Application of computer technology, simulation of complex dynamic processes of longitudinal nature that arise during the train start-up contributed to the development of railway equipment and technology.

Testing of the new railway technology by the order of the Ministry of Communication Routes of the USSR, making recommendations for design organizations of the country, which were included in the rules and regulations of railway construction, the theoretical and practical studies of a number of important dynamic processes occurring in heavy composite trains distributed along the length are

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

the workdays and holidays of the staff of scientists under supervision of Professor YE. P. Blokhin.

The intensity of scientific activity of YE. P. Blokhin from 1970 to 1979 indicated, for example, the creation of 3 deposited manuscripts and publication of 68 scientific papers. Among them are: «Интегральная оценка связей в поезде и определение их параметров по результатам натурных испытаний» = «Integral assessment of communications in the train and determination of their parameters according to results of field tests» (1971), «Что показал опыт вождения объединенных поездов» = «What has shown the experience of driving combined trains» (1972), «Продольные колебания нелинейных одномерных систем при возмущениях, распространяющихся вдоль их длины» = «Longitudinal oscillations of one-dimensional nonlinear systems under perturbations propagating along their length» (1973), «Применение электронного моделирования к исследованию динамических процессов в объединенных поездах с автоматически управляемыми вспомогательными локомотивами» = «Application of an electronic simulation to the study of dynamic processes in the combined trains with automatically controlled auxiliary locomotives» (1975), «О новых нормах сопряжения элементов продольного профиля железных дорог» = «On the new standards of elements coupling of the longitudinal profile of railways» (1977), «Об уточнении модели межвагонного пружинно-фрикционного амортизатора удара» = «On the refinement of the model of inter-vehicle friction spring shock absorber» (1979), etc.

1980-1989

In the 80 years of the XX century in the USSR the operations on the use of carrying capacity of railways and technical equipment of the transport have been significantly strengthened. Implementation of large-scale activities to develop and implement intensive technologies of transportation process, increasing and improving of the level of use of industrial and scientific-technological potential of the industry have been particularly important in terms of traffic growth and inadequate allocation of funds for the development of the industry. As a result of the success implementation of a set of measures to the 1988 the transportation performance of the USSR railways had reached a record level: loading was

4115.6 million tons, turnover - 3924.8 billion ton-km; transported 4395.9 million of passengers, and passenger traffic has surpassed 400 billion of passenger-km. Productivity of workers employed in transportation had reached 2570 thousand of ton-km and was 1.3 times higher than in 1980. According to the intensity of the use of technology Soviet Railways had no equal in the world. Average traffic density of railways was several times higher than that of roads in the U.S.A. and other developed countries. Performance of freight car was several times higher too. Railways of the country performed more than 52% of freight turnover and about a quarter of passenger turnover of all railways in the world with the extent of about 12% of the world railway network [8, p. 25].

In the context of tasks of advanced engineering science of the time it was performed scientific research of scientists, headed by Professor YE. P. Blokhin (National Branch of the International Academy of Engineering, the Department of Structural Mechanics of DIIT and BRLDSRRS).

The volume of scientific baggage of tireless scientist in this period (1980-1989) - 94 articles/reports, 2 monographs, 26 copyright certificates, 13 deposited manuscripts show a combination of extraordinary health, energy, scientific gift, unique creativity and organizational skills of YE. P. Blokhin. Content of these papers reflects all the nuances of the theoretical and practical developments and solutions of titan activity of Professor Blokhin and his colleagues. Among the articles published in major periodicals are: «Об устройстве сопряжений на переломах продольного профиля пути» = «On the design of couplings on the brake in grade o the track» (1982), «О расчетных схемах элементов вагонов как двумерных механических систем с переменными параметрами» = «On the calculation schemes of car elements as two-dimensional mechanical systems with variable parameters» (1983), «Об опытах с тяжеловесными поездами» = «On the experiments with heavy trains» (1984), «Дифференциальные уравнения пространственных колебаний одномерных механических систем с переменными параметрами» = «Differential equations of one-dimensional spatial oscillations of one-dimensional mechanical systems with variable parameters» (1984), «Моделирование взаимодействия звеньев через дву-

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

шарнирную связь» = «Modeling the interaction of units through double-hinged connection» (1986), «Целенаправленное движение железнодорожного поезда» = «Purposeful movement of railway train» (1987), «О совершенствовании воздухо-распределителей автотормозов пассажирских вагонов» = «On improving the diffusers of automatic brakes for passenger cars» (1988), «Математическое моделирование безгрузивания вагонных тележек» = «Mathematical modeling of car boggy unloading» (1989), etc.

In the monograph «Динамика поезда (нестационарные продольные колебания)» = «Dynamics of train (transient longitudinal oscillations)» (1982) [4] devoted to V. A. Lazaryan Yevgeniy Petrovich continued and developed initiatives of the teacher in the area of transient motion modes of railway rolling stock. The study describes the mathematical models and algorithms that allow with the accuracy acceptable for engineering practice to determine (with respect to existing and future operating conditions) the forces acting on the cars in the train when starting-up, braking, driving through brake in grade of the track, as well as longitudinal forces arising from the collisions of cars and couplings. The monograph consisting of nine chapters and meant for scientists, university professors, engineers and designers, in a few months becomes a handbook for mechanical transport workers all over the USSR.

4 years later (1986) it was published the next monograph of group of authors «Расчеты и испытания тяжеловесных поездов» = «Calculations and tests of heavy trains» [16], in which YE. P. Blokhin is one of the authors and the editor. The work proposes application program package «Train», created in Dnipropetrovsk Institute of Railway Transport Engineers to determine the dynamic loadings in heavy trains. The publication describes the schemes of electronic models, methodology for conducting experiments and processing the results, as well as used equipment. Using them one can solve the practical problems of calculation and train testing related to the definition of longitudinal forces in the automatic coupler, acceleration of cars and cargo during the transient modes of motion (starting up, various modes of braking, brake release, motion on the track with brake in grade, collision of cars and couplings, including the emergency).

1990-1999

The collapse of the USSR, the proclamation of an independent sovereign state of Ukraine (1991) and the reorganization of all sectors of the economy took place against the backdrop of significant adverse changes. Protracted period (1990-2000) of adverse economic situation in the country, decline in industrial and agricultural production, falling of living standard of population had led to decrease in demand for services of transport companies (including the railway transport). It was accompanied by a reduction in freight and passenger traffic.

During this period Ukraine having large transport capacity for the implementation of interstate transit takes a course of integration into the European and global transport systems. This requires the creation and use of international transport corridors, a clear definition of freight and passenger traffic, the development of complex technical and technological documentation, etc. DIIT, despite the difficulties in universities in Ukraine in the 90s of the twentieth century, was able to maintain and strengthen its position in the educational and scientific activities. 16 research laboratories actively worked in the university, significantly expanding the scope of research.

Among them, the staff of the Department of Structural Mechanics and BRLDSRRS supervised by YE. P. Blokhin took a special place solving complex engineering tasks on the high professional and theoretical levels, taking the lead in volumes of contractual works. Their works on the application of the automatic control system of locomotives, suggestions for improvement the brakes of cars and locomotives, the introduction of new norms and standards in the design of railway rolling stock became the most significant and (that is very important) popular. YE. P. Blokhin proposed to his colleagues to develop an original method for estimating the strength of elements of car design. Complex dynamic processes of the longitudinal nature arising at the start of the trains modeled by using computer technology contributed to the development of railway technology. Scientists have conducted studies of the behavior of empty cars in heavy trains, operation compatibility in one train of freight and passenger cars, studies to assess the real efforts that arise in heavy trains, locomotives behavior research at different motion speeds on sections

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

with different curvature. All this contributed not only to the development of the theory of body movement mechanics, but also gave specific proposals for operation of rolling stock [15]. Scientific research globality of the school of transport mechanics founded by Academician V. A. Lazaryan, was one of the reasons for the intensive development of international scientific relations with universities, research institutes, enterprises of railway transport in Russia, USA, France, Poland, Iran, Hungary, Lithuania. Among the vivid representatives of the school are: YE. P. Blokhin, S. I. Konashenko, L. A. Manashkin, V. D. Danovitch, M. L. Korotenko, O. M. Savchuk, V. F. Ushkalov, A. N. Pshinko, S. V. Myamlin, V. A. Dzenzerskiy, N. A. Radchenko, S. F. Redko, V. V. Skalozub, V. L. Gorobets, I. G. Barbas, M. YE. Itin, V. N. Zakharov, S. A. Kostritsa, S. G. Kryukov, YE. L. Stambler, G. I. Bogomaz, A. M. Bondarev, V. M. Mikhaylenko, V. A. Tatarinova, I. V. Klimenko, A. I. Palamarenko, L. V. Ursulyak, N. N. Khachapuridze, YE. V. Yuspina, O. L. Yangulova, L. A. Neduzhaya, V. V. Zhishko and many others, worked in DIIT, in the institutes of NAS of Ukraine, academic structures of universities in Ukraine and abroad.

A milestone event in the history of Ukraine is an active participation of Professor YE. P. Blokhin and his team to create the first Ukrainian mainline electric locomotive. This work was highly appreciated by the government – YE. P. Blokhin was awarded by the State Prize of Ukraine in Science and Technology (2002).

Artistic legacy of Yevgeniy Petrovich in this period (1990-1999) was 8 author certificates and patents, 56 published works. They are articles and reports «К обоснованию норм сопряжения элементов продольного профиля пути высокоскоростных магистралей» = «The validation of norms of elements coupling of the longitudinal profile of the track of the mainlines» (1991), «Математическая модель пространственных колебаний магистрального грузового электровоза» = «A mathematical model of spatial oscillations of mainline freight locomotive» (1996), «Тренажер для обучения машинистов безопасным и экономичным способам вождения поездов» = «Simulator for training the drivers safe and economical driving of trains» (1997), «О перевозке жидкостей с повышенной плотностью в цистернах, предназначенных для перевозки свет-

лых нефтепродуктов» = «On the transportation of liquids with a higher density in tanks intended for the transportation of light oil products» (1998), «Динамические качества электровоза ДЭ1» = «Dynamic qualities of electric locomotive DE1» (1999), «Оптимальное проектирование конструкций защиты железнодорожных цистерн от сверх-нормативных продольных загрузок» = «Optimal design of structures protecting the railway tanks from over regulatory longitudinal loadings» (1999) and others.

2000-2009

In connection with the transition of Ukrainian economics to market relations all enterprises in the country are adapting to the new economic conditions, including the railway transport. The situation is complicated also by the economic crisis in 2008-2009. Railway transport, as an industry, providing transportation in the sphere of production and directly dependent on it, is the most sensitive to changes in the rapidly changing external environment.

Thus, the decline in traffic volumes by railways in summer of 2008 was a sign of problems as a whole in the industry and in the financial sector of Ukraine. These problems were observed after three months. As a result, for example, in 2008 the railway transported 3 % less of cargo than in 2007, against the background of 3.5% growth as compared to 2006. In 2009 the transportation of goods decreased by 21.5 % as compared to 2008, and the turnover by 23.7% (a decrease in road transport turnover was 9.5%). Even despite the tariff increase, their growth rates did not cover the growth rates of prices for the corresponding resources. In this regard, the income of the Ukrainian railways from ordinary activities in 2009 amounted to 39.4 billion USD, which is only 1.2 % more than in 2008, despite the fact that the rates for cargo transportation in 2009 increased by 13.5% in the average for the country's railways [20, p. 18].

At the same time, transport scientists do not reduce the rate of their own research and developments. As a permanent member of international scientific projects Knorr-Bremse (Germany), Skoda and Dako (Czech Republic), Westinghouse (USA), etc. YE. P. Blokhin at the request of colleagues of the Silesian University of Technology (Poland) becomes a co-author of the

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

international collective monograph «Railway Wheelsets» (2003), publishing the section «To the issue of wear of wheels and rails» [23].

In the context of Ukraine's integration into European structures it is extremely important to analyze the trends in the field of transport, projected by global community. The team of associates, among which are YE. P. Blokhin, G. N. Kirpa, V. V. Korniyenko, A. N. Pshinko, B. YE. Bodnar, S. V. Myamlin, V. N. Plakhotnik, I. P. Korzhenevich initiated the detailed and systematic study of the European experience with the development of the railways providing analytical predictions for the reform of the railway transport of Ukraine in several directions:

- long freight transportations on international transport corridors;
- high quality passenger service in specialized corridors with increased motion speed;
- regional transport centered around the cities.

Particular attention in the study is paid to the problem of "reconciliation" of transport with the environment. It is proved that under modern conditions the maximum transfer of transport from the roads and airlines to the rails will help to efficiently provide mobility of population with minimal energy and environmental costs.

The results of these studies are presented in the monograph of group of authors «Железные дороги мира в XXI веке» = «Railways of the world in the twenty-first century» (2004) [11], among which a special place belongs to Professor YE. P. Blokhin.

After 5 years, a logical continuation of the theme of trends analysis in the field of transport, projected by global community becomes a textbook of YE. P. Blokhin and A. N. Pshinko «Высокоскоростной наземный транспорт мира» = «High Speed Ground Transport of the World» (2009) [3]. In this textbook the scientists analyze the development of foreign high-speed railways, consider maglev transport systems for high-speed ground transport.

The first decade of the 2000s was the most information-intensive in terms of publication activity of YE. P. Blokhin. Besides the above mentioned works, the scientist is the author of 14 patents and 157 published papers in national and international scientific journals and proceedings. Here are some of them: «К вопросу устойчивости движения легковесных вагонов в со-

ставе грузовых поездов» = «On the stability of motion of lightweight cars in the freight trains» (2000), «Определение параметров плана линии при организации скоростного сообщения Западная Европа-Львов» = «Defining the parameters of organization of line plan of speed communication Western Europe-Lviv» (2000), «Выбор энергетических оптимальных режимов ведения поездов» = «Selection the optimum mode of train driving» (2001), «О модели сопротивления усталости несущих конструкций тягового подвижного состава для оценки их остаточного ресурса» = «On a model of the fatigue resistance of bearing structures of traction rolling stock to assess their residual life» (2002), «Прогнозирование наиболее опасных режимов ходовых испытаний подвижного состава» = «Prediction of the most dangerous modes of rolling stock trials» (2003), «Динамика и прочность электровоза типа ДС3» = «Dynamics and strength of rail bus of type DS3» (2004), «Методические вопросы динамических испытаний рельсового колесного транспорта на вибробезопасность» = «Methodological issues of dynamic testing of rail transport for vibration safety» (2005), «Динамика и прочность рельсового автобуса типа 620М» = «Dynamics and strength of the rail bus type 620m» (2006), «Экспериментальные данные о влиянии конфигурации поверхности катания колес грузовых вагонов на их динамику» = «Experimental data on the effect of the configuration of the rolling surface of car wheels on their dynamics» (2007), «Современные проблемы вождения поездов в условиях оптового рынка электроэнергии» = «Modern problems of driving trains under conditions of wholesale market for electrical energy» (2008), «Определение возможных причин схода цистерн с опасным грузом» = «Identification of possible causes of derailment of tanks with dangerous cargo» (2009), «От материальной точки до нелинейной пространственной многомассовой модели поезда» = «From the material point to nonlinear spatial multimass model of the train» (2009), etc.

2010-2013

Transport Strategy of Ukraine (2010), aimed among other things on the railway reform establishes the development of the railway sector as one of the priorities of the country until 2020. Implementation of this task involves the execution

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

of the renovation of rolling stock, improvement of technology of transportation organization and infrastructure modernization.

Railway transport of Ukraine in 2011 sent 430.1 million of passengers (including transportation by commuter train), which is 0.7% more than in 2010. Cargo transportation by railways in comparison with 2010 increased by 8.2%, including the goods shipping - by 8.6%. In 2012, freight transportations by railroads were 97.5% of the total in 2011, including goods shipping 97.3%. In January-October 2013 freight transportations by railroads were 95.4% of January-October 2012, the goods shipping decreased by 1.8% [10].

At the same time, according to experts, today the largest part of the rolling stock of Ukraine is a fleet of freight cars, more than 60% of which is operated on the verge of the period of service and needs urgent update [19].

As a result of research, substantial rehabilitation of infrastructure (including electrification, increasing the radius of curves, relaying of the track, introduction of the turnouts with continuous rolling surface) and the introduction of new technologies, including the development of models of high-speed trains and construction of specialized lines since April 2012 in Ukraine have been introduced high-speed train motion. The first high-speed passenger train was launched in July 2012 on a route "Kyiv-Kharkiv".

DNURT was directly involved in the project. As part of the University Testing Center the staffs of BRLDSRRS under the supervision of YE. P. Blokhin were active participants of acceptance testing of high-speed electric trains of foreign production (firms Hyundai and Skoda), domestic electric train EKr1 (production of Krukov carriage works) with a speed of 160 km/h, as well as high-speed train of the company Tolgo with the speed of 200 km/h.

Scientists continue to participate in activities to harmonize regulations existing in Ukraine, Customs Union and the European Union, on the estimation of the supporting structures strength of the rolling stock. Further studies to assess the changes of physical and mechanical properties of materials during the operation continue too. The efforts in obtaining data on the spatial unevenness of railway track using the responses of modern track recording cars etc. were intensified.

During the period from 2010 to 2013 Yevgeniy Petrovich until the last days of his life actively

working on new research projects registered 6 patents and created 36 publications.

Among his scientific articles are the following: «О роли натурных испытаний при оценке качества подвижного состава железных дорог» = «The role of field tests to assess the quality of railway rolling stock» (2010), «Тележки ZK1 полувагонов, построенных в КНР» = «Bogies ZK1 of open cars built in China» (2012), «Результаты ходовых динамических испытаний дизельного поезда 630М производства АО PESA (Польша)» = «The results of dynamic tests for diesel train 630M of production of AO PESA (Poland)» (2013), «Об эквивалентности критериев безопасности от схода колеса с рельсов при использовании направляющей либо боковой силы» = «On the equivalence of safety criteria of derailment when using the guiding or lateral forces» (2013), etc.

The ability to solve the difficult tasks, to implement the major projects involving groups of performers (domestic and foreign scholars and experts from industry and design bureaus) is specific for scientific and practical activities of YE. P. Blokhin.

Since the 80s of the twentieth century Yevgeniy Petrovich is actively engaged in the work on the creation and organization of the academic structures activities. Thus, on the basis of DIIT it was organized the National Department of the Public International Engineering Academy, which included all the major industrial enterprises and scientific organizations of Dnipropetrovsk region. The National Office, of course, was headed by Doctor of Technical Sciences, Professor Blokhin YE. P. The scientist was also a member of two other academies - the International Academy of Transport and Transport Academy of Ukraine. He took an active part in their development.

Since 1980 YE. P. Blokhin is the permanent chairman and organizer of the All-Union scientific conferences (since 1996 the international ones) «Проблемы механики железнодорожного транспорта» = «Problems of Railway Transport Mechanics», taking place on the basis of DIIT. Conference participants are the scientists and manufacturers from Belarus, Hungary, Germany, Israel, India, Iran, Italy, Kazakhstan, Lithuania, Netherlands, Poland, Russia, USA, Ukraine, Croatia, Sweden, South Africa, France, etc.

The International Scientific-Practical Conference «Развитие школы транспортной механики» =

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

«Development of school of transport mechanics» (December 2013., DNURT) became the tribute of the world scientific community to YE. P. Blokhin as to the leader of the scientific school of transport mechanics, who left a huge intellectual heritage in the railway sector, hundreds of students and continuers of his work. The Conference was devoted to the 85th anniversary of the scientist.

Findings

Analysis of documentary scientific legacy of YE. P. Blokhin, its systematization, periodization for the purpose of constructing a logical statement of the facts and ordering of the actual material, suggest the following results:

1. General intellectual plant of scientist is 555 scientific papers (written by him personally and co-authored) in domestic and foreign journals. Most of them (456) – are the papers in a peer-reviewed journals and reports in the proceedings of scientific conferences (domestic and international). In addition YE. P. Blokhin is the author of 4 monographs, 54 patents and copyright certificates, 5-textbooks. 17-deposited manuscripts, under his editorship were published 11 proceedings of scientific papers, etc. At the same time his epistolary heritage, archival materials, personal diaries, etc, remain unexplored.

2. There were identified the following milestones of scientific activity, presented by his scientific papers (articles in peer-reviewed journals and reports at scientific conference proceedings): 1954-1969 - 45 works, 1970-1979 - 68 works, 1980-1989 - 94 works, 1990-1999 - 56 works, 2000-2009 - 157 works, 2010-2013. - 36 works.

3. The memories of his friends, colleagues, students, associates and partners are the important source for reconstructing the image and the artistic legacy of outstanding scientist YE. P. Blokhin (especially his human and professional qualities, relationships with people that are not reflected in official documents). Unfortunately, these publications are still very few. In this regard it should be noted the information publication «Профессор Блохин Евгений Петрович» (Серія «Професори ДНУ») «Professor Yevgeniy Petrovich Blokhin» (Series «Professors of DIIT»), published in 2013 by alma mater of the scientist - Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan.

4. The authors draw attention to the fact that a huge number of domestic and foreign scientists in their publications referenced (in the bibliography) on research and developments of YE. P. Blokhin. This should be a separate area of research of his scientific work.

5. Published and unpublished works of the scientist are aimed to solve some of the critical issues of railway transport development. This, for example, provision of driving the trains of increased length, development and implementation into operation of the traction rolling stock and multiple unit (made by domestic companies), implementation into operation of multiple unit from foreign manufacturers (production companies in Poland, the Czech Republic, South Korea), the development of practical measures, methodologies and current regulatory documentation to continue the service of traction rolling stock and multiple unit; commissioning activities to improve safety performance and sustainability of freight rolling stock; increasing the carrying capacity, etc.

6. Numerous scientific and engineering ideas of YE. P. Blokhin presented in published and unpublished writings, his enthusiasm, passing to all around the scientists, who worked under his supervision, who was with him in joint research and developments, extraordinary diligence and perseverance in the implementation of projects, a large number of disciples and followers allow us to tell about him as about the person, who affected the development of the domestic and global rail transport science.

Originality

Authors of the paper for the first time in the history of science and technology of Ukraine conducted a complex study of the scientific legacy of YE. P. Blokhin in the context of railway transport development. As a result of the study it was determined the total number of scientific papers (555), their content, as well as identifying the key milestones of scientific activity, presented by his scientific publications. It was proved the necessity of studying his epistolary heritage, archival materials, personal diaries, article bibliographies in the works of his students and followers, etc.

Practical value

– Taking into account the fact that research of YE. P. Blokhin was conducted in the context of

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

engineering science of the 2nd half of the XX-early XXI centuries, and most of his scientific works are devoted to the key problems of the mechanics and operation of railway rolling stock, we believe that the material given in this article can be used:

- to prepare the general works on the history of domestic railway transport and its separate directions (train control, traction and derailment stability of its cars from the track, etc.);
- during preparation of bibliography dedicated to YE. P. Blokhin;
- during creation of a historiographical papers and textbooks;
- in the new research on the history of formation and development of the scientific school of transport mechanics, as well as university science of Ukraine in the railway industry;
- in the course of lectures on subjects "History of the of railway transport development" and "Introduction to the profession".

Conclusions

Academician of the three Academies, Professor YE. P. Blokhin, as a rule was more deeply and fully aware of the need for change and development of the transport sector than others. He was not only a "generator" of ideas and creative scientific, and practical solutions. He, like a high-speed locomotive, pointed the way and confidently led the scientific and engineering community of transport workers - mechanics.

YE. P. Blokhin was the person that influenced the development of railway transport of Ukraine of the 2nd half of the XX- early XXI centuries. And at the same time, we can confidently assert that there is a lack in personalities of such a scale and the scientists of such level not only in our country but also in the whole world of transport science.

Analysis of the literary scientific heritage of YE. P. Blokhin, the definition of his place and role in the development of modern railway transport allow us to conclude:

1. A wide range of documentary scientific works of YE. P. Blokhin, his quantitative (555 papers), specific (monographs, articles, reports, patents, author certificates, etc.) and qualitative content actually describe more than half a century (1954-2013) in the development of railway transport of Ukraine and the USSR.

2. Intelligent documentary heritage of the scientist reflects one of his most important research

directions in the railway transport science - the development of the theory of body movement mechanics associated with the development, reconstruction and maintenance of railway rolling stock. Ideas, research, scientific works, implemented projects, numerous disciples and followers of YE. P. Blokhin are the important factors, confirming a significant contribution to the global scientific engineering and transport science.

3. Taking into account that the epistolary heritage of YE. P. Blokhin, archival materials, his personal diaries, bibliography in the works of his students and followers, etc. are almost unexplored, the authors have reasonable cause to believe that the historiography of life and work of YE. P. Blokhin is only in the development stage and is waiting for further research.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Аксенов, И. Я. Единая транспортная система / И. Я. Аксенов. – М. : Высш. шк., 1991. – 383 с.
2. Анисимов, П. С. Крупный ученый и изобретатель в области тормозной техники железнодорожного подвижного состава В. Г. Иноземцев [Electronic resource] / П. С. Анисимов // Евразия Вести. – 2005. – № 2. – Available at: <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2005-02a05>. – Title from the screen.
3. Блохин, Е. П. Высокоскоростной наземный транспорт мира : учебник / Е. П. Блохин, А. Н. Пшинько. – Д. : Изд-во Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп., 2009. – 237 с.
4. Блохин, Е. П. Динамика поезда (нестационарные продольные колебания) : монография / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин. – М. : Транспорт, 1982. – 222 с.
5. Блохин, Е. П. Развитие математических моделей динамики поезда в трудах В. А. Лазаряна и его учеников / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2009. – Вип. 30. – С. 64–74.
6. Блохін Євген Петрович : [біографія] // Енциклопедія Сучасної України : у 25 т. – К., – 2004. – Т. 3. – С. 83.
7. Большая Советская Энциклопедия. – 2-е изд. – М. : Гос. науч. изд-во «Большая Советская Энциклопедия», 1955. – Т. 36. – С. 641–642.
8. Большая энциклопедия транспорта. В 8 т. Т. 4. Железнодорожный транспорт. – М. : Большая Российская энциклопедия, 2003. – 1039 с.
9. Довганюк, С. С. Історико-науковий аналіз життя і діяльності академіка В. М. Образцова (1874–1949) та його науково-технічної школи

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

- в контексті розвитку залізничного транспорту : автореф. дис. ... д-ра іст. наук : 07.00.07 / Довганюк Степан Степанович ; НАН України, Центр досліджень наук.-техн. потенціалу та історії науки ім. Г. М. Доброва. – К., 2013. – 36 с.
10. Економіка України за січень-жовтень 2013 року / Держ. служба статистики // Уряд. кур'єр. – 2013. – 13 груд. – С. 10.
 11. Железные дороги мира в XXI веке : монография / Г. И. Кирпа, А. Н. Пшинько, Е. П. Блохин, и др. ; под общ. ред. Г. И. Кирпы. – Д. : Изд-во Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп., 2004. – 224 с.
 12. Маслеева, Л. Г. Профессору Евгению Петровичу Блохину в день рождения (май 2003 г.) / Л. Г. Маслеева // Профессор Блохин Евгений Петрович. – Д. : Изд-во Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп., 2013. – С. 36.
 13. Мукмінова, Т. А. Зоряна система Лазаряна / Т. А. Мукмінова // Заліз. трансп. України. – 2005. – № 2. – С. 13–15.
 14. Плеханов, Г. В. Сочинения / Г. В. Плеханов. – [Б. м. : б. и.], 1923. – Т. 8. – С. 304–305.
 15. Пшинько, А. Н. Евгений Блохин. Научно-педагогическая и общественная деятельность / А. Н. Пшинько, А. И. Кулиш // Профессор Блохин Евгений Петрович. – Д. : Изд-во Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп., 2013. – С. 4–11.
 16. Расчеты и испытания тяжеловесных поездов : монография / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин, Е. Л. Стамблер и др. ; под ред. Е. П. Блохина. – М. : Транспорт, 1986. – 263 с.
 17. Танасійчук, Б. І. Діяльність Д. І. Журавського (1821-1891) в контексті розвитку залізничного транспорту : автореф. дис. ... канд. іст. наук : 07.00.07 / Борис Іванович Танасійчук. – К. : Київ. ун-т екон. і технологій транспорту, 2007. – 23 с.
 18. Ученые и изобретатели железнодорожного транспорта : сб. статей // Сост. А. П. Третьяков ; ред. Н. С. Рыщук. – М. : Гос. трансп. ж.-д. изд-во, 1956. – 228 с.
 19. Фомін, О. В. Алгоритм визначення оптимальних геометричних параметрів складових елементів вантажних вагонів на основі узагальнення математичних моделей / О. В. Фомін // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – № 6 (48). – С. 140–146.
 20. Широкова, О. М. Основні проблеми адаптації залізничного транспорту до ринкових умов господарювання / О. М. Широкова // Економіка. Фінанси. Право. – 2011. – № 7. – С. 17–20.
 21. Agustin Betancourt: An early modern scientist and engineer in TMM / O. Erogoval, M. Ceccarelli, J. I. Cuadrado Iglesias, C. S. Lopez-Cajun, V. E. Pavlov // ASME International Des. Engineering Techn. Conf. and Computers and Information In Engineering Conf. (10-13 September 2006) : Proc. of ASME IDETC/CIE 2006 Mechanisms&Robotics Conf. – Philadelphia, 2006. – Code 68587.
 22. Moon, F. C. Franz Reuleaux: Contributions to 19th century kinematics and theory of machines / F. C. Moon // Applied Mechanics Reviews. – 2003. – Vol. 56. – Iss. 2. – P. 261–284.
 23. Sitarz, M. To the issue of wear of wheels and rails / Marek Sitarz, Yevgeny Blokhin ; ed. Marek Sitarz // Railway Wheelsets : monograph. – Gliwice : Silesian University of Technology, 2003. – P. 71–82.

С. В. МЯМЛІН¹, Т. О. КОЛЕСНИКОВА^{1*}

¹Проректор з наукової роботи, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс. +38 (056) 793 19 03, ел. пошта sergeyuyamlin@gmail.com

^{1*}Науково-технічна бібліотека, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 05, ел. пошта lib@b.dit.edu.ua

РОЗВИТОК НАУКОВОЇ ШКОЛИ ТРАНСПОРТНОЇ МЕХАНІКИ: ТВОРЧА СПАДЩИНА Є. П. БЛОХІНА

Мета. Розвиток вітчизняної й світової транспортної науки на всіх її етапах відбувався завдяки вагомому внеску безлічі вчених та інженерів-практиків. Метою нашого дослідження є аналіз документальної наукової спадщини Є. П. Блохіна, доктора технічних наук, професора Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна; визначення його місця та ролі в розвитку сучасного залізничного транспорту. **Методика.** Застосування проблемно-хронологічних, порівняльних, описових історичних методів дослідження, систематизація та аналіз наукових праць дозволили авторам подати фактичну історію розвитку залізничного транспорту (1950–2013 рр.) через призму наукової діяльності Є. П. Блохіна.

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

Було виділено 6 основних періодів наукової діяльності вченого. **Результати.** З'ясовано, що загальний інтелектуальний багаж вченого становить 555 наукових робіт (написаних особисто та в співавторстві) у вітчизняних і зарубіжних виданнях, присвячених ключовим проблемам механіки та експлуатації рухомого складу залізниць. Творчу спадщину Є. П. Блохіна складають монографії, статті, доповіді, патенти, авторські свідоцтва та ін. З'ясовано, що практично невивченими залишаються епістолярна спадщина вченого, архівні матеріали, його особисті щоденники, бібліографічні списки в працях його учнів і послідовників. **Наукова новизна.** Автори даної роботи вперше в історії розвитку науки і техніки України провели комплексне дослідження наукової спадщини Є. П. Блохіна в контексті розвитку залізничного транспорту. Доведено, що ідеї, дослідження, наукові праці, реалізовані проекти, численні учні та послідовники Є. П. Блохіна – вагомі чинники, що підтверджують значний внесок ученого в розвиток світової інженерної думки й транспортної науки. **Практична значимість.** Дана робота може бути використана при створенні історіографічних праць і навчальних посібників; дослідженні питань становлення та розвитку наукової школи транспортної механіки й університетської науки України в галузі залізничного транспорту, у курсі лекцій із дисциплін «Історія розвитку залізничного транспорту» та «Вступ до спеціальності».

Ключові слова: Є. П. Блохін; наукова школа транспортної механіки; залізничний транспорт; Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту; творча спадщина вченого

С. В. МЯМЛИН¹, Т. А. КОЛЕСНИКОВА^{1*}

¹Проректор по научной работе, 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

^{1*}Научно-техническая библиотека, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 371 51 05, эл. почта lib@b.diit.edu.ua

РАЗВИТИЕ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ТРАНСПОРТНОЙ МЕХАНИКИ: ТВОРЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ Е. П. БЛОХИНА

Цель. Развитие отечественной и мировой транспортной науки на всех ее этапах происходило благодаря весомому вкладу множества ученых и инженеров-практиков. Целью нашего исследования является анализ документального научного наследия Е. П. Блохина, доктора технических наук, профессора Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна; определение его места и роли в развитии современного железнодорожного транспорта. **Методика.** Применение проблемно-хронологических, сравнительных, описательных исторических методов исследования, систематизация и анализ научных трудов позволили авторам подать фактическую историю развития железнодорожного транспорта (1950–2013 гг.) через призму научной деятельности Е. П. Блохина. Были выделены 6 основных периодов научной деятельности ученого. **Результаты.** Выяснено, что общий интеллектуальный багаж ученого составляет 555 научных работ (написанных лично и в соавторстве) в отечественных и зарубежных изданиях, посвященных ключевым проблемам механики и эксплуатации подвижного состава железных дорог. Творческое наследие Е. П. Блохина составляют монографии, статьи, доклады, патенты, авторские свидетельства и др. Выяснено, что практически неизученными остаются эпистолярное наследие ученого, архивные материалы, его личные дневники, библиографические списки в трудах его учеников и последователей. **Научная новизна.** Авторы данной работы впервые в истории развития науки и техники Украины провели комплексное исследование научного наследия Е. П. Блохина в контексте развития железнодорожного транспорта. Доказано, что идеи, исследования, научные труды, реализованные проекты, многочисленные ученики и последователи Е. П. Блохина – весомые факторы, подтверждающие значительный вклад ученого в развитие мировой инженерной мысли и транспортной науки. **Практическая значимость.** Данная работа может быть использована при создании историографических трудов и учебных пособий; исследовании вопросов становления и развития научной школы транспортной механики и университетской науки Украины в отрасли железнодорожного транспорта, в курсе лекций по дисциплинам «История развития железнодорожного транспорта» и «Введение в специальность».

Ключевые слова: Е. П. Блохин; научная школа транспортной механики; железнодорожный транспорт; Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта; творческое наследие ученого

REFERENCES

1. Aksenov I.Ya. *Yedinaya transportnaya sistema* [Integrated transport system]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1991. 383 p.
2. Anisimov P.S. Krupnyy uchenyy i izobretatel v oblasti tormoznoy tekhniki zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava V.G. Inozemtsev (The leading scientist and the inventor in the field of brake equipment of railway rolling stock V.G. Inozemtsev). *Yevraziya Vesti – Eurasia Bulletin*, 2005, no. 2. Available at: <http://www.eav.ru/publ1.php?publ1=2005-02a05> (Accessed 20 December 2013).
3. Blokhin Ye.P., Pshinko A.N. *Vysokoskorostnoy nazemnyy transport mira* [High-speed ground transportation of the world]. Dnipropetrovsk, DNURT Publ., 2009. 237 p.
4. Blokhin Ye.P., Manashkin L.A. *Dinamika poyezda (nestatsionarnyye prodolnyye kolebaniya)* [Train dynamics (transient longitudinal oscillations)]. Moscow, Transport Publ., 1982. 222 p.
5. Blokhin Ye.P., Manashkin L.A. Razvitiye matematicheskikh modeley dinamiki poyezda v trudakh V. A. Lazaryana i yego uchenikov [Development of mathematical models of train dynamics in the works of V. A. Lazarian and his students]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University], 2009, issue 30, pp. 64-74.
6. *Blokhin Yevhen Petrovych. Entsyklopediia Suchasnoi Ukrainy u 25 t.* [Blokhin Yevhen Petrovych. Encyclopedia of modern Ukraine in 25 volumes. Vol. 3]. Kyiv, 2004. 83 p.
7. *Bolshaya Sovetskaya Entsiklopediya. Tom 36* [Great Soviet Encyclopedia. Vol. 36]. Moscow, Bolshaya Sovetskaya Entsiklopediya Publ., 1955, pp. 641-642.
8. *Bolshaya entsiklopediya transporta. V 8 t. T. 4. Zheleznodorozhnyy transport* [Big Encyclopedia of Transport. In 8 volumes. Vol. 4. Railway Transport]. Moscow, Bolshaya Rossiyskaya entsiklopediya Publ., 2003, 1039 p.
9. Dovhaniuk S.S. *Istoryko-naukovy analiz zhyttia i diialnosti akademika V. M. Obratsova (1874–1949) ta yoho naukovy-tekhnichnoi shkoly v konteksti rozvytku zaliznychnoho transportu. Dokt. Diss.* [Life and work historical and scientific analysis of Academician V.M. Obratsov (1874-1949) and his scientific and technical school in the context of railway transport development. Doct. Diss.]. Kyiv, 2013. 36 p.
10. *Ekonomika Ukrainy za sichen-zhovten 2013 roku. Derzhavna sluzhba statystyky* [Ukraine's economy for January-October 2013. State Statistics Service]. *Uriadovyi kurier– Governmental Courier*, 2013, December, 13, 10 p.
11. Kirpa G.I., Pshinko A.N., Blokhin Ye.P., Kornienko V.V., Bodnar B.Ye., Myamlin S.V., Plakhotnik V.N., Korzhenevich I.P. *Zheleznyye dorogi mira v XXI veke* [Railways of the world in the XXI century]. Dnipropetrovsk, DNURT Publ., 2004. 224 p.
12. Masleyeva L.G. *Professoru Yevgeniyu Petrovichu Blokhinu v den rozhdeniya (may 2003 g.)* [For Professor Eugene P. Blokhin on his birthday (May, 2003)]. DNURT Publ., 2013. 36 p.
13. Mukminova T.A. Zoriana systema Lazariana [Lazarian star system]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2005, no. 2. pp. 13-15.
14. Plekhanov G.V. *Sochineniya* [Works]. 1923, vol. 8, pp. 304-305.
15. Pshinko A.N., Kulish A.I. *Yevgeniy Blokhin. Nauchno-pedagogicheskaya i obshchestvennaya deyatel'nost'* [Yevgeniy Blokhin. Scientific and educational, social activities]. DNURT Publ., 2013, pp. 4-11.
16. Blokhin Ye.P., Manashkin L.A., Stambler Ye.L. *Raschet i ispytaniya tyazhelovesnykh poyezdov* [Calculations and tests of heavy trains]. Moscow, Transport Publ., 1986. 263 p.
17. Tanasiichuk B.I. *Diialnist D. I. Zhuravskoho (1821-1891) v konteksti rozvytku zaliznychnoho transportu. Avtoreferat. Diss.* [D.I. Zhuravskyi activity (1821-1891) in the context of railway transport development. Author's abstract]. Kyiv, 2007. 23 p.
18. Tretyakov A.P., Ryshchuk N.S. *Uchenyye i izobretateli zheleznodorozhnogo transporta* [Scientists and inventors of railway transport]. Moscow, Gosudarstvennoye transportnoye zh-d izdatel'stvo, 1956. 228 p.
19. Fomin O.V. *Algoritm viznachennya optimalnykh geometrichnykh parametriv skladovykh elementiv vantazhnykh vagoniv na osnovi uzagalnennia matematychnykh modelei* [Algorithm for determining the optimal geometric parameters of the constituent elements of freight cars based on the generalization of mathematical models]. *Nauka ta progres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013. no. 6 (48), pp. 140-146.
20. Shyroкова O.M. *Osnovni problemy adaptatsii zaliznychnoho transportu do rynkovykh umov hospodariuvannia* [Basic problems of adaptation of railway transport to economic management conditions]. *Ekonomika. Finansy. Pravo–Economics. Finance. Law*, 2011, no. 7, pp. 17-20.

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

21. Erogoва O., Ceccarelli M., Cuadrado Iglesias J.I., Lopez-Cajun C.S., Pavlov V.E. Agustin Betancourt: An early modern scientist and engineer in TMM. Proc. of ASME IDETC/CIE 2006 Mechanisms&Robotics Conf. «ASME International Des. Engineering Techn. Conf. and Computers and Information In Engineering Conf.». Philadelphia, 2006. Code 68587.
22. Moon F.C. Franz Reuleaux: Contributions to 19th century kinematics and theory of machines. *Applied Mechanics Reviews*, 2003, vol. 56, issue 2, pp. 261-284.
23. Marek Sitarz, Yevgeny Blokhin. To the issue of wear of wheels and rails. *Railway Wheelsets*. Gliwice, Silesian University of Technology Publ., 2003, pp. 71-82.

Prof. Pshinko A. N., D. Sc. (Tech.); Prof. V. A. Ilganayeva, D. Sc. (History) recommended this article to be published.

Received: Dec. 03, 2013

Accepted: Jan. 16, 2014

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 656.256.3

А. М. БЕЗНАРИТНИЙ^{1*}, В. І. ГАВРИЛЮК¹, О. О. ГОЛОЛОВА²

^{1*}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, факс +38 (0562) 471 866, ел. пошта beznarytny.am@gmail.com

¹Каф. «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

²Каф. «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 gololobova_oksana@i.ua

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРИСТРОЇВ АВТОБЛОКУВАННЯ, МЕТОДІВ ЙОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ

Мета. Розробка формалізованого опису роботи системи числового кодового автоблокування на основі аналізу характерних відмов системи автоблокування та методики його технічного обслуговування.

Методика. Для проведення досліджень було використано теоретико-аналітичний метод. **Результати.** Проаналізовано характерні відмови систем автоблокування, виявлено основні причини їх виникнення. Встановлено, що більшість відмов виникає через недосконалість системи технічного обслуговування. Проаналізовано переваги та недоліки існуючої технології обслуговування автоблокування; виявлено роботи, які можуть бути автоматизовані за допомогою засобів технічного діагностування; проведено формалізований опис системи числового автоблокування у вигляді графу в просторі станів системи. **Наукова новизна.** Запропоновано граф станів системи числового кодового автоблокування, котрий ураховує поступовий перехід системи від справного стану до втрати працездатності, що дозволяє провести селекцію діагностичної інформації за якісними ознаками та збільшити ефективність відновлювальних робіт в разі виникнення несправності. **Практична значимість.** Отримані результати аналізу й запропонований граф станів можуть бути покладені в основу розробки нових засобів діагностування пристроїв автоблокування, що, у свою чергу, дозволить підвищити ефективність роботи та обслуговування пристроїв автоблокування загалом.

Ключові слова: автоблокування; відмови в роботі; методи технічного обслуговування; граф станів; технічний контроль; моніторинг; діагностування

Вступ

Забезпечення безпеки руху поїздів по залізничних перегонах покладено на систему автоблокування. Автоблокування – це технічний засіб інтервального регулювання руху поїздів на перегоні за сигналами прохідних світлофорів. При відмові під час роботи хоча б однієї сигнальної установки автоблокування поїзд повинен зупинитися, відпустити автогальма і, якщо за цей час на світлофорі не з'явиться

дозволяючий вогонь, може продовжити рух з особливою увагою, швидкістю не більше 20 км/год [5, 7] та готовністю зупинитися.

Враховуючи, що довжина блок-ділянки перегону варіюється від 1 000 до 2 500 м, відмови в роботі пристроїв автоблокування різко негативно впливають на виконання графіку руху поїздів, збільшують витрати електроенергії, призводять до негативних комерційних та експлуатаційних наслідків.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Забезпечення надійності роботи систем автоблокування покладено на систему технічного обслуговування (ТО), яке виконують працівники господарства сигналізації та зв'язку згідно з вимогами інструкцій [6, 9], які регламентують планово-профілактичний метод обслуговування пристроїв автоблокування. За цим методом пристрої автоблокування перевіряються, обслуговуються та замінюються зі встановленою періодичністю, що не дозволяє безперервно контролювати основні параметри сигнальної установки, залишає можливості для неякісного чи фіктивного виконання технічного обслуговування, що може призводити до відмов в роботі пристроїв автоблокування.

Підвищення ефективності обслуговування автоблокування можливе за допомогою використання засобів технічного контролю та моніторингу [1, 2].

Тому актуальним завданням на сьогодні залишається аналіз характерних відмов, що виникають в процесі експлуатації систем автоблокування, аналіз методів обслуговування та технічного контролю стану пристроїв автоблокування, з метою виявлення їх переваг і недоліків та постановки вимог для розробки нових засобів діагностування роботи систем автоблокування.

Мета

Метою роботи є розробка формалізованого опису системи числового кодового автоблокування (ЧКАБ) у вигляді графів станів на основі визначення характерних відмов систем автоблокування та аналізу переваг і недоліків існуючих методів обслуговування, що має стати основою для подальшої розробки системи автоматизованого безперервного контролю та діагностування ЧКАБ.

Методика

Подальша розробка буде здійснюватись за допомогою теоретико-аналітичного методу.

Аналіз характерних відмов пристроїв автоблокування.

Основним критерієм оцінки ефективності роботи будь-якої системи автоблокування є кількість відмов, що сталися в системі за певний період часу.

Як бачимо з аналізу статистичних даних [3], одним із ненадійних елементів автоблокування

є рейкове коло (РК), це обумовлюється складністю обслуговування елементів рейкової лінії, які розосереджені в просторі. Більшість відмов рейкового кола виникає через замикання ізолюючих стиків та інших ізоляційних елементів 29 %, а також через обрив стикових з'єднувачів 20 %. Несправності, що пов'язані з порушенням регулювання рейкового кола становлять 12 % випадків, замикання рейкової лінії через елементи верхньої будови колії та через зовнішні елементи – 16 %, через несправності в апаратурі РК стається 10 % відмов. Несправності ізоляційних елементів пристроїв РК та несправності дросельних перемичок становлять 3 та 4 % відповідно. Несправності через встановлення нетипових дросельних перемичок, зниження опору ізоляції баласту та за невстановлених причин складають по 2 % відповідно всіх пошкоджень рейкових кіл. Розподіл причин відмов рейкових кіл наведені на рис. 1.

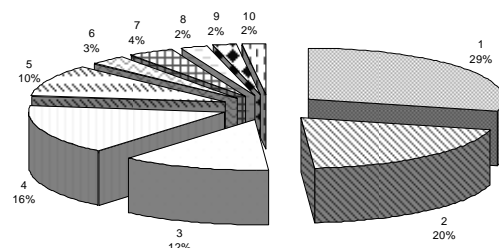


Рис. 1. Розподіл причин відмов рейкових кіл

В системі числового кодового автоблокування сигнальним струмом рейкового кола є кодований сигнал автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС). Це обумовило використання в системі складних шифруючих та дешифруючих пристроїв, швидкодіючих реле, електrolітичних конденсаторів та діодів. Надійна робота цієї апаратури вимагає якісного технічного обслуговування у визначені періоди часу. Найбільша кількість відмов дешифруючої апаратури виникає в наслідок відмови конденсаторів 58 % та діодів 16,8 %, порушення часових та комутаційних параметрів реле викликають 13 % відмов. Збільшення перехідного опору в штепсельних рознімах реле викликають 8,3 % відмов, на інші та невстановлені причини припадає 3,9 % відмов пристроїв шифрування та дешифрування автоблокування [1]. Розподіл причин відмов шифруючої та дешифруючої апаратури автоблокування наведено на рис. 2.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

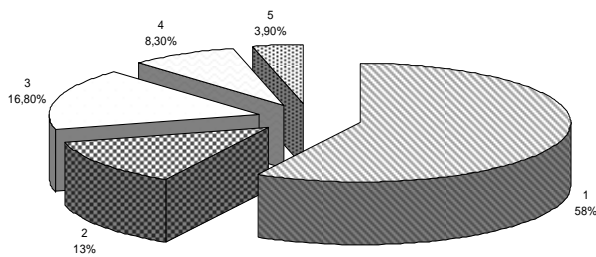


Рис. 2. Розподіл причин відмов шифруючої та дешифруючої апаратури автоблокування

Під час аналізу причин виникнення несправностей в системах автоблокування керівництвом залізниці прийнято розрізняти такі основні причини відмов автоблокування. Загальні експлуатаційні причини, на які припадає більшість відмов 86,5 %. З них через неякісне виконання робіт з технічного обслуговування 37,5 %, невиконання строків перевірок 36 %, неякісну перевірку в ремонтно-технологічних ділянках 6,2 %, з вини постачальників обладнання 12,8 %, через схемно-конструктивні недоліки 1,2 %, порушення правил виконання робіт та похибки при їх виконанні викликають 2,5 та 2,8 % експлуатаційних несправностей відповідно. Незначним чином впливають на роботу автоблокування впливи сторонніх організацій 1 % та вплив грозових і комутаційних перенапруг 2 %. Причини відмов, що не були встановлені, займають 10 % від загальної кількості, з інших причин стається 2 % відмов в роботі пристроїв автоблокування.

Таким чином, більшість відмов систем автоблокування виникає через експлуатаційні недоліки, що можуть бути викликані недосконалістю системи технічного обслуговування, складністю виконання перевірок на сигнальних установках, які розміщені на значній відстані від експлуатаційно-ремонтних цехів, недосконалістю системи контролю за виконанням робіт з ТО та іншими причинами. Для розуміння причин експлуатаційних відмов необхідно виконати аналіз існуючої технології обслуговування пристроїв автоблокування.

Аналіз технології обслуговування пристроїв автоблокування.

Для забезпечення надійної та безперебійної роботи системи числового кодового автоблоку-

вання (ЧКАБ) необхідне систематичне обслуговування та контроль параметрів всіх елементів системи автоблокування. Всі роботи з технічного обслуговування пристроїв автоблокування виконуються згідно з вимогами інструкцій [5–6] та інших нормативних документів.

Особливості організації технічного обслуговування пристроїв СЦБ на перегонах на відміну від станцій зумовлені великою територіальною розосередженістю пристроїв вздовж лінії залізниці. Цей факт поряд з нерівномірністю розподілу персоналу по ділянці, різним ступенем його укомплектованості і різноманітним характером під'їзних доріг і засобів пересування визначає відмінності у формах організації праці. Для таких ділянок можливі чотири методи обслуговування: метод місцевих бригад, комплексний, централізований і вахтовий. Перші два методи застосовують, якщо персонал проживає на території, що знаходиться поблизу малих станцій; останні два – за відсутності житла персоналу поблизу ділянок обслуговування або низької укомплектованості дільниць. При цьому під методом технічного обслуговування мається на увазі сукупність технологічних та організаційних правил виконання операцій технічного обслуговування і ремонту. Для пристроїв СЦБ, як правило, застосовують періодичне технічне обслуговування, яке передбачає виконання завданого обсягу робіт через точні інтервали часу незалежно від технічного стану пристроїв автоблокування.

Основним сигнальним пристроєм в системі автоблокування є світлофор, тому забезпеченню надійної роботи та чіткої видимості прохідних світлофорів приділяється значна увага. Перевірка видимості сигнальних вогнів світлофорів з колії виконується після кожної заміни ламп або лінзового комплексу, але не рідше ніж два рази на рік. При цьому візуально перевіряється відповідність дальності видимості сигнальних показань того вогню, який в певний момент горить на світлофорі, встановленим вимогам [8]. Перевірка видимості сигнальних вогнів на головних коліях перегонів з локомотива, а також дії локомотивної сигналізації та відповідності показань колійного і локомотивного світлофорів виконується старшим електромеханіком і машиністом локомотива раз на місяць. Існують декілька типів робіт з обслуговування прохідних світлофорів, що пов'язані

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

з необхідністю виміру напруги на лампах світлофора. До них відносяться: вимірювання напруги на лампах світлофорів при денному режимі живлення, що виконується при заміні ламп, але не рідше ніж один раз на рік при використанні одностикових ламп та один раз на два роки при використанні двостикових ламп, з можливістю переходу на резервну нитку; вимірювання напруги на лампах світлофорів при аварійному та нічному живленні та перевірка дії схеми подвійного зниження напруги, які виконуються електромеханіком перед введенням пристроїв в експлуатацію. Цими перевітками встановлюється відповідність між фактичною напругою на лампі світлофора та нормами.

Важливішим елементом обслуговування системи технічного обслуговування системи автоблокування є обслуговування та перевірка параметрів апаратури. При обслуговуванні пристроїв автоблокування виникають дві основні проблеми. По-перше, апаратура автоблокування розташована в релейних шафах на перегонах, тому електромеханік має змогу виконати перевірку лише основних параметрів. По-друге, складна структура пристроїв, які використовуються в системі, що зумовлює необхідність перевірки багатьох параметрів, які неможливо перевірити безпосередньо на сигнальній установці. Тому обслуговування зйомних пристроїв виконується в ремонтно-технологічній ділянці (РТД) дистанції сигналізації та зв'язку згідно з графіком періодичної перевірки пристроїв. Під час перевірки стану приладів звертають увагу на порушення цілості контактів, їх обгорання, а для вугільних контактів на наявність тріщин, вищербини, випадіння гвинтів, гайок або інших деталей всередині реле, а також помітне ослаблення їхнього кріплення, поява іржі або плісняви всередині реле, порушення цілості кожуха, явне порушення встановленого зазору між контактами, обмерзання контактів реле, помітне неодноразове замикання і розмикання контактів, спучування і потьокки електроліту, електролітичних конденсаторів, підгорання резисторів або обмоток, контактування електричних ланцюгів через торкання струмонесучих частин приладів, зменшення зазору між наконечниками монтажних проводів, неякісну пайку, порушення строків перевірки, відсутність етикеток, пломб або відбитків на реле в місцях, призначених для пломбування та доступних для зовнішнього огляду [11].

Перевірка стану приладів і штепсельних розеток в опалювальних і неопалювальних приміщеннях електромеханік виконує раз на рік оглядом з боку монтажу, а приладів, що працюють в імпульсному або циклічному режимі, два рази на рік. Для штепсельних розеток, встановлених в релейних шафах, зовнішній огляд доповнюють виміром залишкової напруги на сигнальних, лінійних, колійних реле і їх повторювачах.

Вимірювання напруги на електролітичних конденсаторах і випрямлячах блоків дешифратора кодового автоблокування виконується електромеханіком раз у квартал. Виміри всіх параметрів апаратури сигнальної точки виконуються на вимірювальній панелі.

Система числового кодового автоблокування побудована таким чином, що інформація про стан попередніх блок-ділянок передається по рейковому колу сигналами АЛС, тому для виконання своїх основних функцій система ЧКАБ не потребує кабельних ліній. Попри це кабельні лінії автоблокування виконують важливі функції по забезпеченню подвійного зниження напруги та диспетчерського контролю по лінії ДСН-ОДСН, сповіщення про наближення поїзда до станції по лінії И-ОИ, можливість зміни напрямку на перегоні по лінії Н-ОН, та контроль напрямку руху при чотирипроводній схемі зміни напрямку по лінії К-ОК.

В процесі обслуговування кабельних ліній старший електромеханік та електромеханік СЦБ 2 рази на рік виконують вимірювання всіх жил кабелю, у тому числі запасних, щодо землі при виявленні зниження опору ізоляції кожної жили кабелю, в перерахунку на 1 км довжини менше встановлених норм, але не нижче 15 МОм, контроль опору ізоляції виконується раз на місяць. При подальшому зниженні ізоляції кабелю менше 15 МОм на 1 км довжини повинні ремонтуватися протягом не більше п'яти діб з моменту виявлення заниження ізоляції, а до усунення причин пошкодження ізоляція такого кабелю контролюється електромеханіком щодня [9].

Аналіз відмов системи числового кодового автоблокування показує, що велика кількість відмов системи приходить на елементи рейкових кіл, тому їх обслуговуванню приділяється особлива увага.

Особливістю обслуговування рейкових кіл є поділ робіт між працівниками дистанцій колії,

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

сигналізації та зв'язку, енергопостачання. Такий поділ робіт вимагає злагодженої роботи та тісної взаємодії між собою персоналу цих підрозділів.

Перевірку стану рейкових кіл на перегоні виконують спільно електромеханік та дорожній майстер чи бригадир колії не рідше ніж раз на місяць, при цьому перевіряють стан елементів рейкових кіл, надійність їхніх кріплень та правильність їхніх встановлення, особливу увагу приділяють наявності рейкових з'єднувачів. Також перевіряється правильність і щільність заземлень, наявність зазору між подошвою рейки і баластом, перевіряється стан баласту і водовідводів. Одним із ненадійних елементів рейкового кола є ізолюючий стик, тому виконується вимірювання параметрів усіх ізолюючих стиків на перегоні. Раз у квартал електромеханік виконує вимірювання напруги на колійних реле рейкових кіл на перегоні. До того ж вимірювання виконуються також після закінчення виконання нових робіт, при введенні пристроїв в експлуатацію, заміни апаратури рейкових кіл, а також після їх регулювання [6].

Струм АЛС в рейках на входному кінці рейкового кола і тривалість першого інтервалу між

імпульсами кодового циклу вимірюється електромеханіком і електромонтером раз на рік, а також при визначенні причин збою в роботі пристроїв АЛС, після регулювання параметрів, заміни кодової апаратури рейкового кола і за результатами перевірки пристроїв АЛС вимірювальним комплексом вагона-лабораторії [10].

Перетини залізничних колій з автомобільними шляхами на одному рівні обладнуються пристроями автоматичної переїзної сигналізації (АПС). Під час обслуговування пристроїв АПС перевіряється стан акумуляторної батареї зовнішнім оглядом та шляхом вимірювання напруги та щільності електроліту, стан і взаємодія частин електропривода та електродвигуна, стан кінцевих вимикачів і монтажу електропривода автошлагбаума, струм електродвигуна при нормальній роботі та роботі на фрикцію, справність роботи звукових сигналів, видимість та частота мигання переїзних світлофорів, стан щитка управління та елементів рейкового кола [4]. Основні роботи з технічного обслуговування пристроїв автоблокування, періодичність цих робіт та можливості їх виконання засобами технічного діагностування зведено у табл. 1.

Таблиця 1

Заходи з технічного обслуговування пристроїв автоблокування

| Пункт інструкції | Опис роботи | Виконання засобами існуючої технології обслуговування | Виконання засобами технічного діагностування |
|--------------------------------------|---|---|---|
| Обслуговування прохідних світлофорів | | | |
| 8.1 ЦШ-0060 | Перевірка видимості сигнальних вогнів світлофорів з колії | ШН і ШЦМ візуально не рідше раз на рік | Не виконується |
| 8.2 ЦШ-0060 | Перевірка видимості сигнальних вогнів світлофорів з локомотива, а також дії локомотивної сигналізації та відповідності показань колійного і локомотивного світлофорів | ШНС та машиніст раз на місяць | Локомотивним пристроєм контролю локомотивної сигналізації при проходженні поїзда по ділянці |
| 8.6 ЦШ-0060 | Вимірювання напруги на лампах прохідних світлофорів: після зміни ламп | ШН у встановлені строки зміни ламп | Постійно пристроями вимірювання безперервних величин |
| 8.7 ЦШ-0060 | Те саме в аварійному та нічному режимі | При вводі пристроїв в експлуатацію | Якщо є потреба |
| 8.8 ЦШ-0060 | Те саме в режимі ДСН | При вводі пристроїв в експлуатацію | Якщо є потреба |

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Закінчення табл. 1

| Пункт інструкції | Опис роботи | Виконання засобами існуючої технології обслуговування | Виконання засобами технічного діагностування |
|---|--|--|---|
| Обслуговування апаратури автоблокування | | | |
| 12.1 ЦШ-0060 | Зовнішня перевірка стану приладів, штепсельних розеток | ШН раз на рік | Не виконується |
| 12.3 ЦШ-0060 | Вимірювання напруги на електролітичних конденсаторах і випрямлячах блоків дешифратора | ШН раз в квартал | Постійно пристроями вимірювання безперервних величин |
| 12.6 ЦШ-0060 | Періодична заміна реле, блоків, іншої апаратури для перевірки характеристик в РТД | ШНС і ШН 2 рази на рік | При виявленні відхилень параметрів від норми |
| Обслуговування кабельних ліній | | | |
| ТК 58 ЦШ-0042 | Вимірювання опору ізоляції всіх жил кабелю | ШНС і ШН 2 рази на рік | Раз на день пристроями контролю опору ізоляції |
| Обслуговування рейкових кіл на перегоні | | | |
| 10.1 ЦШ-0060 | Перевірка рейкових кіл на перегонах | ЦН і ПДБ раз на місяць | Постійний контроль замикання ізолюючих стиків та часових параметрів коду АЛС |
| 10.3 ЦШ-0060 | Вимірювання напруги на колійних реле та колійних приймачах рейкових кіл | ШН раз на квартал | Постійно пристроєм контролю безперервних параметрів |
| 10.7 ЦШ-0060 | Вимірювання кодового струму АЛС в рейках | ШН і ШЦМ раз на рік | Під час проїзду поїзда пристроями контролю сигналу АЛС на локомотиві та часових параметрів коду АЛС |
| Перевірка автоматичної переїзної сигналізації | | | |
| ТК 45a ЦШ-0042 | Комплексне обслуговування пристроїв автоматичної переїзної сигналізації з автошлагбаумом | ШН і ШНС раз на квартал | Постійно пристроями контролю безперервних параметрів |
| 13.1 ЦШ-0060 | Комплексне обслуговування і перевірка дії пристроїв на переїздах | ШН раз на тиждень на переїздах з автобусним рухом без автоматичного контролю | Раз на день засобами контролю безперервних параметрів та пристроєм контролю акумуляторної батареї |

Аналіз можливих станів системи числового кодового автоблокування.

Як бачимо з табл. 1, більшість функцій з обслуговування пристроїв автоблокування можливо автоматизувати, використовуючи засоби технічної діагностики. Під час розробки діагностичних систем виникає необхідність визначення кінцевої кількості станів, в яких може перебувати об'єкт діагностування.

Згідно з класичною теорією діагностування несправним об'єкт діагностування вважається, якщо будь-який параметр, який контролюється, виходить за межі встановленої норми; під справним об'єктом мається на увазі об'єкт, який відповідає всім вимогам, що до нього висуваються згідно з нормативно-технічною документацією [11].

При такому підході, навіть найменший вихід з норми будь-якого параметра роботи системи

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

повинен негайно виявлятися діагностичною системою як відмова, та сповіщати про це обслуговуючий персонал, вимагаючи негайного усунення виявленого недоліку. У ході аналізу роботи існуючих діагностичних систем [13] було з'ясовано, що такий підхід не є ефективним. Виходячи з цього, розробниками системи автоблокування було закладено певну різницю між значеннями параметрів, що вимагає нормативно-технічна документація, та значеннями, при яких система втрачає стабільність роботи. Враховуючи ці факти, можна стверджувати, що існує декілька станів в несправній системі, які повинні виявлятися діагностичною системою. При цьому діагностична інформація, що передається до обслуговуючого персоналу, потребує селекції за критерієм її тривожності, тобто наближення параметра, що контролюється, до значення, при якому система може втратити працездатність.

Під працездатним станом об'єкта діагностування мається на увазі стан системи, при якому всі параметри, що впливають на можливість системи виконувати задані функції, знаходяться в межах норми. Коли система є працездатною, то вважається, що вона функціонує в штатному режимі [15–16].

Під непрацездатним станом можна мати на увазі множину станів, при яких один чи більше основних параметрів вийшов з норми. Але після аналізу роботи системи автоблокування виявлено, що незначне відхилення одного основного параметра не призводить до моментальної втрати працездатності системи, таким чином система діагностування може визначати деяку вірогідність виникнення відмови залежно від значення відхилення основного параметра від норми. Також в множині непрацездатних станів необхідно виділяти захисний стан, при якому система автоблокування виконує функцію оголодження блок-ділянки за світлофором, та стан небезпечної відмови, при якому система втрачає функцію забезпечення безпеки руху поїздів.

Виходячи з проаналізованих даних, побудовано граф станів системи автоблокування у вигляді кола з дискретними станами та дискретним часом, який наведено на рис. 3, де прийняті такі скорочення:

S1 – стан системи справний, всі параметри, що контролюються, в межах норми;

S2 – стан системи працездатний, але хоча б один контрольований параметр вийшов із норми несуттєво;

S3 – стан системи працездатний, але один чи більше параметрів різко відрізняються від норми;

S4 – система в передвідмовному стані, хоча б один параметр наближається до відмови;

S5 – відмова хоча б одного елемента, проте система продовжує виконувати основні свої функції;

S6 – система непрацездатна, знаходиться в захисному стані;

S7 – навмисне порушення технології обслуговування (що не виявлено методами технічного діагностування);

S8 – в системі є відмова, яка може становити небезпеку для руху поїздів.

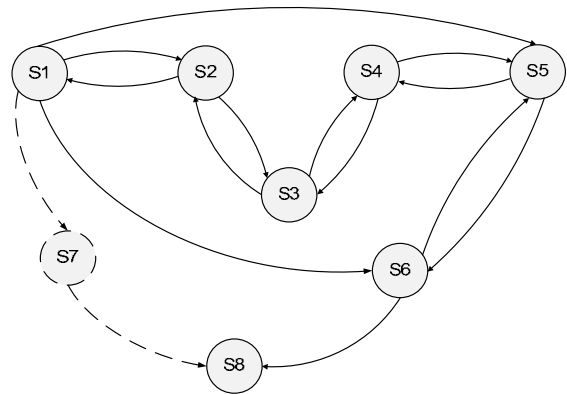


Рис. 3. Граф станів системи числового кодового автоблокування

Проаналізувавши наведений граф, можна встановити основне завдання для системи технічного діагностування системи числового кодового автоблокування: виявлення, в якому з перелічених станів знаходиться система автоблокування.

При цьому завдання перевірки справності системи полягає у виявленні в об'єкті діагностування будь-якої несправності; система діагностування повинна виявляти стани S2–S5.

Другим завданням діагностичної системи є виявлення станів, що можуть призвести до непрацездатного стану. При перевірці працездатності, діагностична система повинна виявляти стани S6 та S8 системи автоблокування.

Таким чином, запропонований граф станів системи числового кодового автоблокування може бути покладений в основу розробки діагностичної системи з функцією селекції діагностичної інформації за її якісними показниками.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Результати

В результаті аналізу характерних відмов, що виникають в процесі роботи системи ЧКАБ, з'ясовано, що більшість відмов стається через експлуатаційні причини, що зумовлені недосконалістю системи технічного обслуговування.

Проаналізувавши існуючу планово-профілактичну модель обслуговування автоблокування, можна зробити висновок, що встановлена періодичність перевірок та умови їх проведення не дозволяють вчасно виявляти передвідмовні стани системи ЧКАБ. Зменшення періодичності перевірок при встановленій моделі обслуговування призводить до значного збільшення експлуатаційних витрат та не гарантує підвищення якості обслуговування, що зумовлює необхідність використання автоматизованих засобів діагностування пристроїв автоблокування.

Запропонований граф станів системи ЧКАБ дозволяє врахувати ступінь наближення системи до непрацездатного стану. Цей граф може бути використаний під час побудови системи технічного діагностування, що дозволить виконати поступовий перехід від планово-профілактичної моделі обслуговування до обслуговування за фактичним станом пристроїв автоблокування.

Наукова новизна та практична значимість

В результаті виконаного аналізу відмов системи автоблокування та існуючої планово-профілактичної системи технічного обслуговування пристроїв ЧКАБ визначено, що подальше скорочення термінів між регламентними роботами призводить до суттєвих витрат, але не гарантує безвідмовної роботи систем регулювання руху поїздів, які є морально застарілими в розвитку залізничної автоматики на сьогодні.

Для розробки автоматизованої системи безперервного контролю та діагностування ЧКАБ запропоновано граф станів автоблокування, який дозволяє контролювати поступовий перехід системи від повністю справного стану до втрати працездатності та адекватно реагувати на виявлені в системі несправності.

Висновки

Після аналізу відмов системи числового кодового автоблокування з'ясовано, що при існуючій технології обслуговування в процесі експлуатації виникає значна кількість відмов, які негативно впливають на показники якості роботи дільниць залізниці.

Подальший розвиток технології обслуговування пристроїв ЧКАБ вимагає впровадження автоматизованих систем діагностування. Під час розробки таких систем необхідно враховувати, що перехід від справного до непрацездатного стану автоблокування відбувається поступово і можна виділити декілька передвідмовних станів системи, які потребують відповідної реакції з боку експлуатаційного та ремонтно-відновлювального персоналу. Такий підхід дозволяє підвищити ефективність обслуговування системи автоблокування та якість відновлення системи після виникнення відмови.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Биргер, И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер. – М. : Машиностроение, 1978. – 240 с.
2. Бойник, А. Б. Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах : учеб. пособие / под ред. А. Б. Бойника. – Харьков : УкрГАЗТ, 2005. – 256 с.
3. Дмитренко, И. Е. Техническая диагностика и автоконтроль / И. Е. Дмитренко. – М. : Транспорт, 1986. – 144 с.
4. Дунаев, Д. В. Анализ отказов и методы контроля рельсовых цепей / Д. В. Дунаев, И. О. Романцев, В. И. Гаврилюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2010. – Вип. 32. – С. 212–217.
5. Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України. УД-0058 : Наказ № 507 від 31.08. 2005 р. / М-во трансп. та зв'язку України. – К., 2005. – 257 с.
6. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ). ЦШ-0060 : Наказ Держ. адмін. залізн. трансп. України від 07.10. 2009 № 090-УЗ / М-во трансп. та зв'язку України. – К., 2009. – 111 с.
7. Казаков, А. А. Системы интервального регулирования движения поездов / А. А. Казаков, В. Д. Бубнов, Е. А. Казаков. – М. : Транспорт, 1986. – 399 с.
8. Правила технічної експлуатації залізниць України, затв. наказом М-ва трансп. України № 411 від 20 грудня 1996 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0050-97>. – Назва з екрана.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

9. Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування (ЦШ-0042), затв. наказом № 347-ЦЗ Держ. адмін. залізн. трансп. України від 26 квітня 2006 р. – К., 2006. – 560 с.
10. Романцев, І. О. Визначення струму автоматичної локомотивної сигналізації при централізованому розміщені апаратури автоблокування / І. О. Романцев // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 20–23.
11. Сфарбаков, А. М. Основы технической диагностики : учеб. пособие / А. М. Сфарбаков, А. В. Лукьянов, С. В. Пахомов. – Иркутск : ИрГУПС, 2006. – 216 с.
12. Тарасов, Б. Н. Автоблокировка и автоматическая локомотивная сигнализация : учеб. пособие / Б. Н. Тарасов, Я. Ю. Плавник. – М. : Транспорт, 1988. – 239 с.
13. Федорчук, А. Е. Новые информационные технологии: автоматизация технического диагностирования и мониторинга устройств ЖАТ / А. Е. Федорчук, А. А. Сепетий, В. Н. Иванченко. – Ростов : РостГУПС, 2008. – 443 с.
14. Чередков, М. Н. Устройства СЦБ, их монтаж и обслуживание : учеб. для техникумов / М. Н. Чередков. – М. : Транспорт, 1982. – 200 с.
15. Shingler, R. From RCM to predictive maintenance: the InteGRail approach / R. Shingler, G. Fadin, P. Umiliacchi // 4th IET Intern. Conf. on Railway Condition Monitoring. – Derby, 2008. – P. 62–68.
16. Turning Railways into an Intelligent Transportation System by better Integration / P. I. Umiliacchi, Didier van den Abeele, P. F. Dings, V. D. Recagno // Management and Exchange of Information ITS World Congress. – Stockholm, 2009. – P. 104–109.

А. М. БЕЗНАРЫТНЫЙ^{1*}, В. И. ГАВРИЛЮК¹, О. А. ГОЛОЛОВОВА²

^{1*}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, факс +38 (0562) 471 866, эл. почта beznarytny.am@gmail.com

¹Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04

²Каф. «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

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ УСТРОЙСТВ АВТОБЛОКИРОВКИ, МЕТОДОВ ЕЁ ОБСЛУЖИВАНИЯ И КОНТРОЛЯ

Цель. Разработка формализованного описания системы числовой кодовой автоблокировки на основе анализа характерных отказов системы автоблокировки и методики её технического обслуживания. **Методика.** Для проведения исследований был использован теоретико-аналитический метод. **Результаты.** Проанализированы характерные отказы систем автоблокировки, обнаружены основные причины их возникновения. Установлено, что большинство отказов возникает из-за несовершенства системы технического обслуживания. Проанализированы преимущества и недостатки существующей технологии обслуживания автоблокировки; обнаружены работы, которые могут быть автоматизированы с помощью средств технического диагностирования; проведено формализованное описание системы числовой кодовой автоблокировки в виде графа в пространстве состояний системы. **Научная новизна.** Предложен граф состояний системы числовой кодовой автоблокировки, учитывающий постепенный переход системы от исправного состояния к потере работоспособности, который позволяет провести селекцию диагностической информации по качественным признакам и увеличить эффективность восстановительных работ в случае возникновения неисправности. **Практическая значимость.** Полученные результаты анализа и предложенный граф состояний могут быть положены в основу разработки новых средств диагностирования устройств автоблокировки, что, в свою очередь, позволит повысить эффективность работы и обслуживание устройств автоблокировки в целом.

Ключевые слова: автоблокировка; отказы в работе; методы технического обслуживания; граф состояний; технический контроль; мониторинг; диагностирование

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

A. M. BEZNARYTNYI^{1*}, V. I. GAVRILYUK¹, O. O. GOLOLOBOVA²

^{1*}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, fax +38 (0562) 471 866, e-mail beznarytny.am@gmail.com

¹Dep. «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

²Dep. «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

CURRENT STATE ANALYSIS OF AUTOMATIC BLOCK SYSTEM DEVICES, METHODS OF ITS SERVICE AND MONITORING

Purpose. Development of formalized description of automatic block system of numerical code based on the analysis of characteristic failures of automatic block system and procedure of its maintenance. **Methodology.** For this research a theoretical and analytical methods have been used. **Findings.** Typical failures of the automatic block systems were analyzed, as well as basic reasons of failure occur were found out. It was determined that majority of failures occurs due to defects of the maintenance system. Advantages and disadvantages of the current service technology of automatic block system were analyzed. Works that can be automatized by means of technical diagnostics were found out. Formal description of the numerical code of automatic block system as a graph in the state space of the system was carried out. **Originality.** The state graph of the numerical code of automatic block system that takes into account gradual transition from the serviceable condition to the loss of efficiency was offered. That allows selecting diagnostic information according to attributes and increasing the effectiveness of recovery operations in the case of a malfunction. **Practical value.** The obtained results of analysis and proposed the state graph can be used as the basis for the development of new means of diagnosing devices for automatic block system, which in turn will improve the efficiency and service of automatic block system devices in general.

Keywords: automatic block system; failures; methods of maintenance; state graph; technical control; monitoring; diagnostics

REFERENCES

1. Birger I.A. *Tekhnicheskaya diagnostika* [Technical diagnostics]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1978. 240 p.
2. Boynik A.B. *Sistemy intervalnogo regulirovaniya dvizheniya poyezdov na peregonakh* [Interval regulation systems of train movements on sidings]. Kharkov, UkrGAZhT Publ., 2005. 256 p.
3. Dimitrenko I.Ye. *Tekhnicheskaya diagnostika i avtokontrol* [Technical diagnostics and auto control]. Moscow, Transport Publ., 1986. 144 p.
4. Dunayev D.V., Romantsev I.O., Gavrilyuk V.I. Analiz otkazov i metody kontrolya relsovykh tsepey [Failure analysis and control methods of track circuits]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2010, no. 32, pp. 212–217.
5. *Instruktsiia z rukhu poizdiv i manevrovii roboti na zaliznytsiakh Ukrainy* [Instruction of train movements and shunting work on the railways of Ukraine]. Kyiv, M-vo transp. ta zviazku Ukrainy Publ., 2005. 257 p.
6. *Instruktsiia z tekhnichnoho obsluhovuvannia prystroiv syhnalizatsii, tsentralizatsii ta blokuvannia* [Instruction on devices maintenance of signaling, centralization and blocking]. Kyiv, Derzh. admin. zalizn. transp. Ukrainy Publ., 2009. 69p.
7. Kazakov A.A., Bubnov V.D., Kazakov Ye.A. *Sistemy intervalnogo regulirovaniya dvizheniya poyezdov* [Interval regulation systems of train movements]. Moscow, Transport Publ., 1986. 399 p.
8. *Pravyla tekhnichnoi ekspluatatsii zaliznyts Ukrainy* (Rules of technical exploitation of railways in Ukraine). Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0050-97> (Accessed 10 December 2013).
9. *Prystroji syhnalizatsii, tsentralizatsii ta blokuvannia. Tekhnolohiia obsluhovuvannia* [Devices of signaling, centralization and blocking. Technology service]. Kyiv, Derzh. admin. zalizn. transp. Ukrainy Publ., 2006. 560 p.
10. Romantsev I.O. Vyznachennia strumu avtomatychnoi lokomotyvnoi syhnalizatsii pry tsentralizovanomu rozmishcheni aparatury avtoblokuvannia [Determination of the automatic locomotive signaling current in central placement of autolock equipment]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu*

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

- zaliznichnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2012, no. 42, pp. 20-23.
11. Sfarbakov A.M., Lukyanov A.V., Pakhomov S.V. *Osnovy tekhnicheskoy diagnostiki* [Fundamentals of technical diagnostics]. Irkutsk, IrGUPS Publ., 2006. 216 p.
 12. Tarasov B.N., Plavnik Ya.Yu. *Avtoblokirovka i avtomaticheskaya lokomotivnaya signalizatsiya* [Automatic block system and automatic locomotive signaling]. Moscow, Transport Publ., 1988. 239 p.
 13. Fedorchuk A.E., Sepetyy A.A., Ivanchenko V.N. *Novyye informatsionnyye tekhnologii: avtomatizatsiya tekhnicheskogo diagnostirovaniya i monitoringa ustroystv ZhAT* [New information technologies: the automation of technical diagnostics and monitoring of RAT devices]. Rostov, RostGUPS Publ., 2008. 443 p.
 14. Cheredkov M.N. *Ustroystva STsB, ikh montazh i obsluzhivaniye* [Signaling devices, their installation and maintenance]. Moscow, Transport Publ., 1982. 200 p.
 15. Shingler R., Fadin G., Umiliacchi P. From RCM to predictive maintenance: the InteGRail approach. 4th IET Int. Conf. on Railway Condition Monitoring, 2008, pp. 62-68.
 16. Umiliacchi P.I., Didier van den Abeele, Dings P.F., Recagno V.D. Turning Railways into an Intelligent Transportation System by better Integration. Management and Exchange of Information ITS World Congress, 2009, pp. 104-109.

Стаття рекомендована до публікації к.т.н., доц. О. М. Самковим (Україна); д.фіз.-мат.н., проф. О. В. Коваленком (Україна)

Надійшла до редколегії 10.12.2013

Прийнята до друку 29.01.2014

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

УДК 656.2.027:338.47

Ю. С. БАРАШ^{1*}, А. В. МОМОТ¹

^{1*}Каф. «Облік, аудит та інтелектуальна власність», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (0562) 33 58 13, ел. пошта ubarash@mail.ru

¹Каф. «Облік, аудит та інтелектуальна власність», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (0562) 33 58 13, ел. пошта ubarash@mail.ru

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВНИЦТВА ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ МАГІСТРАЛІ В УКРАЇНІ

Мета. Розробити вдосконалену методику та сформулювати заходи щодо визначення економічної доцільності впровадження високошвидкісного руху з урахуванням досвіду експлуатації швидкісних перевезень в Україні, терміну поїздки, кількості зупинок на маршруті, графіка руху високошвидкісних поїздів та попиту на них. **Методика.** Запропоновано послідовність визначення доцільності організації високошвидкісного руху в Україні, адаптовану до ринкових умов. Дана методика враховує розрахунки вартості високошвидкісної магістралі (ВШМ), станцій, ремонтних підрозділів і рухомого складу. Досліджено витрати на перевезення пасажирів за допомогою маржинального доходу; проаналізована динаміка зміни чистого дисконтного доходу та терміну окупності високошвидкісної магістралі. **Результати.** У роботі розроблено методику комплексного визначення ефективності будівництва та експлуатації високошвидкісних поїздів із урахуванням вартості інфраструктури, рухомого складу, впливу факторів зовнішнього середовища та ін. **Наукова новизна.** Запропоновано науковий підхід щодо визначення економічної ефективності будівництва та експлуатації ВШМ. Він, на відміну від існуючого, включає вдосконалені принципи визначення кількості перевезених пасажирів, вартості будівництва ВШМ, закупівель рухомого складу, оптимізує розрахунки доходів та витрат у контексті конкурентних переваг й впливу зовнішніх факторів на діяльність компанії. У розрахунках уперше було враховано транзитний потік пасажирів, які подорожують із країн СНД на відпочинок у Крим, регіони Одеси, Львова та Карпат. Урахування вищенаведених ознак підвищує обґрунтованість управлінських рішень щодо забезпечення ефективності функціонування високошвидкісних перевезень. **Практична значимість.** Запропоновані методика та результати досліджень дозволили визначити доцільність будівництва в Україні високошвидкісної магістралі для швидкості руху пасажирських поїздів не менше ніж 250 км/год. Це дозволить пасажирському високошвидкісному руху зайняти на транспортному ринку України свою нішу.

Ключові слова: швидкісний та високошвидкісний рух; високошвидкісна магістраль; капітальні вкладення; перевезення; інфраструктура; доходи від перевезень; витрати; прибуток

Вступ

Перші прогнози розрахунки економічної доцільності побудови високошвидкісної магістралі в Україні були виконані французькою фірмою «SYSTRA» за загально європейською

методикою. Обсяги перевезення пасажирів між містами України ця фірма визначала за допомогою методу «тяжіння», сутність якого полягає у тому, що кількість пасажирів у швидкісному сполученні визначалося прямо пропорційно

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

кількості мешканців у містах, між якими ведуться розрахунки, та зворотно пропорційно відстані між цими містами. При цьому не було враховано транзитний потік пасажирів з Росії та країн СНД. Проблему високошвидкісного руху в Україні в різні часи досліджували українські вчені та фахівці: Дикань В. Л. [5], Кірта Г. М. [4], Босов А. А. [4], Корженевич І. П. [8], Бараш Ю. С. [1–3, 12], Гненний О. М. [14], Кірдіна О. Г. [6], Зубко А. П. [7], Чаркіна Т. Ю. [15–17] та французька фірма «SYSTRA». Виходячи з задач створення високошвидкісної мережі залізниць, географічного положення України, адміністративного розподілу регіонів, розташування міст і економічної ситуації, французькою фірмою «SYSTRA» була запропонована мережа високошвидкісних магістралей загальною довжиною більше 3 тис. км [11], яка знайшла підтримку Укрзалізниці [7].

Мета

Розробити удосконалену методику і сформулювати заходи щодо визначення економічної доцільності впровадження високошвидкісного руху в Україні з урахуванням досвіду експлуатації швидкісних перевезень в Україні, терміну поїздки, кількості зупинок на маршруті, графіка руху високошвидкісних поїздів та попиту на них.

Методика

Спочатку автором було виконано перевірку прогнозованої кількості пасажирів, що будуть подорожувати по ВШМ за допомогою удосконаленого методичного підходу. Отримані розрахунки було порівняно з розрахунками Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені В. Лазаряна для трьох варіантів, які виявилися значно завищеними, і тільки результати песимістичного варіанта майже співпадали з розрахунками автора. При цьому рухливість населення в Україні по

високошвидкісній магістралі буде становити – 0,53. Це означає, що в середньому кожний мешканець України буде робити 0,53 поїздки на рік у високошвидкісному сполученні. З цих прогнозних розрахунків випливає, що третина населення нашої країни через 20 років буде подорожувати високошвидкісними поїздами.

Результати

За підсумком досліджень було визначено загальну річну кількість пасажирів, яка після повного вводу ВШМ в експлуатацію складе 24 748,2 тис. та розрахована середня дальність поїздки 520 км. З урахуванням вказаних даних дохід від перевезення пасажирів буде становити 10 063 608,05 млн грн.

Враховуючи те, що запропонована автором топологія високошвидкісної магістралі практично не відрізняється від топології ДНУЗТ, вартість будівництва ВШМ була розрахована з використанням даних французької фірми «SYSTRA» та коефіцієнта зміни величини євро (табл. 2).

Кількість одиниць високошвидкісних поїздів визначалося залежно від пасажиропотоку на кожній ділянці, розрахункової відстані між кінцевими станціями, середньої швидкості руху з урахуванням зупинок, кількості рейсів швидкісних поїздів протягом доби, середньої населеності поїзда на даному напрямку та сумарної кількості місць у вагонах. Розрахунки кількості поїздів зведено у табл. 3.

Розрахунок кількості ремонтних підрозділів для заводського та депопського ремонту високошвидкісних поїздів приймалося залежно від максимальної кількості рухомого складу, видів заводського і депопського ремонту, терміну простою поїздів у різних видах технічного обслуговування і ремонту та циклічності потрапляння в ремонт. Вартість депо та заводу приймалося за даними фірми «SYSTRA».

Таблиця 1

Річний дохід від перевезення пасажирів по ВШМ. Джерело: розробка авторів

| Кількість відправлених пасажирів, тис. пас. | Кількість пасажиро-км за розрахунковий рік при середній дальності поїздки 661,84 км, тис.пас.-км | Дохідна ставка за 1 пас.-км в грн [10] | Річний дохід від перевезення пасажирів, тис. грн |
|---|--|--|--|
| 24 748,2 | 16 379 411 | 0,785 | 12 857 837,64 |

Таблиця 2

Інвестиції в будівництво та реконструкцію станцій на високошвидкісній магістралі.*Джерело:* [11] з доробкою авторів

| № пор. | Назва робіт | Кількість одиниць | Вартість одиниці, млн грн | Загальна вартість, млн грн |
|---|---|-------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Будівництво нових станцій у містах | | | | |
| 1 | Київ | 1 | 2 200,00 | 2 200,00 |
| 2 | Львів | 1 | 1 200,00 | 1 200,00 |
| 3 | Харків | 1 | 1 300,00 | 1 300,00 |
| 4 | Сімферополь | 1 | 1 100,00 | 1 100,00 |
| | Разом | 4 | | 5 800,00 |
| Реконструкція станцій | | | | |
| 1 | Дніпропетровськ, Донецьк, Одеса | 3 | 1 500,00 | 4 500,00 |
| 2 | Полтава, Миколаїв, Луганськ, Маріуполь | 4 | 465,00 | 1 860,00 |
| 3 | Вінниця, Хмельницький, Тернопіль, Кривий Ріг, Запоріжжя, Мелітополь, Херсон | 7 | 3 68,57 | 2 580,00 |
| | Разом | 12 | | 8 940,00 |

Таблиця 3

Інвестиції в будівництво високошвидкісної магістралі. Джерело: [11] з доробкою авторів

| № пор. | Найменування ділянки | | Довжина ділянки, км | Інвестиції у будівництво за даними фірми «SYSTRA» | |
|--------|----------------------|-----------------|---------------------|---|-----------|
| | Початок | Кінець | | млн євро | млн грн |
| 1 | Київ | Полтава | 310 | 1 533,7 | 16 257,22 |
| 2 | Полтава | Харків | 130 | 667,2 | 7 072,32 |
| 3 | Полтава | Дніпропетровськ | 130 | 656,2 | 6 955,72 |
| 4 | Дніпропетровськ | Донецьк | 220 | 1 093,2 | 11 587,92 |
| 5 | Донецьк | Луганськ | 140 | 683,8 | 7 248,28 |
| 6 | Донецьк | Маріуполь | 120 | 578,6 | 6 133,16 |
| 7 | Дніпропетровськ | Кривий Ріг | 150 | 731,9 | 7 758,14 |
| 8 | Кривий Ріг | Миколаїв | 150 | 721,3 | 7 645,78 |
| 9 | Дніпропетровськ | Запоріжжя | 80 | 415,2 | 4 401,12 |
| 10 | Запоріжжя | Мелітополь | 110 | 537,9 | 5 701,74 |
| 11 | Мелітополь | Сімферополь | 241 | 1 143,4 | 12 120,04 |

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Закінчення табл. 3

| № пор. | Найменування ділянки | | Довжина ділянки, км | Інвестиції у будівництво за даними фірми «SYSTRA» | |
|--------------|----------------------|--------------|---------------------|---|------------|
| | Початок | Кінець | | млн євро | млн грн |
| 12 | Київ | Біла Церква | 65 | 327,3 | 3 469,38 |
| 13 | Біла Церква | Миколаїв | 340 | 1 648,1 | 17 469,86 |
| 14 | Миколаїв | Одеса | 120 | 605,6 | 6 419,36 |
| 15 | Миколаїв | Херсон | 60 | 297,9 | 3 157,74 |
| 16 | Херсон | Сімферополь | 240 | 1 176,7 | 12 473,02 |
| 17 | Біла Церква | Вінниця | 130 | 667,1 | 7 071,26 |
| 18 | Вінниця | Хмельницький | 110 | 564,4 | 5 982,64 |
| 19 | Хмельницький | Тернопіль | 105 | 511,4 | 5 420,84 |
| 20 | Тернопіль | Львів | 120 | 613,5 | 6 503,1 |
| Разом | | | 3 071 | 15 174,4 | 160 848,64 |

Таблиця 4

Розрахунок робочого парку високошвидкісних поїздів. Джерело: [11] з доробкою авторів

| Початкова станція | Зупинка 1 | Зупинка 2 | Кінцева станція | Кількість відправлених пасажирів, тис. | Відстань, км | Час у дорозі, год | Кількість оборотів РС за добу | Кількість поїздів, од. |
|-------------------|------------|--------------|-----------------|--|--------------|-------------------|-------------------------------|------------------------|
| Київ | Полтава | — | Харків | 1 792,8 | 440,0 | 2,2 | 2,0 | 4,0 |
| Київ | — | — | Дн-ськ | 1 004,5 | 440,0 | 2,2 | 2,0 | 3,0 |
| Київ | Полтава | Дн-ськ | Запоріжжя | 1 236,7 | 520,0 | 2,6 | 2,0 | 3,0 |
| Київ | Полтава | Дн-ськ | Донецьк | 1 400,6 | 660,0 | 3,3 | 1,0 | 6,0 |
| Київ | Дн-ськ | Донецьк | Луганськ | 727,9 | 800,0 | 4,0 | 1,0 | 3,0 |
| Київ | Дн-ськ | Донецьк | Маріуполь | 765,5 | 780,0 | 3,9 | 1,0 | 4,0 |
| Київ | Миколаїв | Херсон | Сімферополь | 2 848,2 | 705,0 | 3,5 | 2,0 | 6,0 |
| Київ | Миколаїв | — | Одеса | 1 049,6 | 525,0 | 2,6 | 2,0 | 3,0 |
| Київ | Вінниця | Хмельницький | Львів | 1 432,5 | 530,0 | 2,7 | 2,0 | 3,0 |
| Дн-ськ | Полтава | — | Харків | 772,5 | 260,0 | 1,3 | 3,0 | 2,0 |
| Дн-ськ | Кривий Ріг | Миколаїв | Одеса | 1 044,1 | 420,0 | 2,1 | 2,0 | 3,0 |
| Донецьк | Дн-ськ | Запоріжжя | Сімферополь | 2 051,3 | 651,0 | 3,3 | 2,0 | 5,0 |
| Луганськ | Донецьк | Дн-ськ | Львів | 606,3 | 1 330,0 | 6,7 | 1,0 | 3,0 |
| Харків | Полтава | Запоріжжя | Сімферополь | 1 448,1 | 691,0 | 3,5 | 2,0 | 3,0 |
| Харків | Кривий Ріг | Миколаїв | Одеса | 1 051,6 | 680,0 | 3,4 | 2,0 | 3,0 |

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Закінчення табл. 4

| Початкова станція | Зупинка 1 | Зупинка 2 | Кінцева станція | Кількість відправлених пасажирів, тис. | Відстань, км | Час у дорозі, год | Кількість оборотів РС за добу | Кількість поїздів, од. |
|-------------------|------------|-----------|-----------------|--|--------------|-------------------|-------------------------------|------------------------|
| Харків | Київ | Тернопіль | Львів | 735,8 | 970,0 | 4,9 | 1,0 | 4,0 |
| Луганськ | Запоріжжя | – | Сімферополь | 326,8 | 791,0 | 4,0 | 1,0 | 2,0 |
| Луганськ | Донецьк | Миколаїв | Одеса | 674,0 | 780,0 | 3,9 | 1,0 | 3,0 |
| Запоріжжя | Кривий Ріг | Миколаїв | Одеса | 553,0 | 500,0 | 2,5 | 2,0 | 2,0 |
| Запоріжжя | Полтава | Вінниця | Львів | 377,1 | 1 050,0 | 5,3 | 1,0 | 2,0 |
| Одеса | – | – | Сімферополь | 577,1 | 420,0 | 2,1 | 2,0 | 2,0 |
| Одеса | Миколаїв | Вінниця | Львів | 496,2 | 925,0 | 4,6 | 1,0 | 2,0 |
| Львів | Вінниця | Херсон | Сімферополь | 765,0 | 1 105,0 | 5,5 | 1,0 | 4,0 |
| Харків | Донецьк | – | Луганськ | 1 011,0 | 860,0 | 4,3 | 1,0 | 5,0 |
| Разом | | | | 24 748,2 | 16 833,0 | – | – | 80,0 |

Таблиця 5

Інвестиції в будівництво депо та заводу. Джерело: [11] з доробкою авторів

| Кількість відправлених пасажирів, пас. | Кількість одиниць поїздів з урахуванням резерва, од. | Назва ремонтного підрозділу | Кількість ремонтних підрозділів, од. | Вартість ремонтного підрозділу без ПДВ, млн грн | Сумарна вартість, млн грн |
|--|--|-----------------------------|--------------------------------------|---|---------------------------|
| 24 748,2 | 84 | Завод | 1 | 1 123,14 | 1 123,14 |
| | | Депо | 2 | 652,04 | 1 304,08 |
| | | Разом | 3 | – | 2 427,22 |

Загальна вартість інвестицій у будівництво високошвидкісної магістралі розрахована в табл. 6.

Таблиця 6

Загальний обсяг інвестицій в будівництво об'єктів ВШМ. Джерело: розробка авторів

| Кількість відправлених пасажирів, пас. | Інвестиції у будівництво | Інвестиції без ПДВ, млн грн |
|--|--------------------------|-----------------------------|
| 24 748,2 | ВШМ | 160 848,64 |
| | Станції | 14 740,00 |
| | Ремонтні підрозділи | 2 427,22 |
| | Рухомий склад | 17 808,00 |
| | Разом | 195 823,86 |

Витрати на перевезення пасажирів слід розраховувати по окремих елементах витрат за принципами деяких статей форми 10зал для пасажирських перевезень з урахуванням таких підходів:

– амортизаційні відрахування визначалися на основі нової прогнозованої вартості будівництва або ціни та нормативного строку служби окремо для ВШМ, станцій, ремонтного заводу, вагонних депо, рухомого складу, ремонтного

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

устаткування та інших основних засобів. Вартість будівництва визначалася за даними французької фірми «SYSTRA», адаптованими до умов України та з урахуванням курсу євро;

– витрати на електроенергію на тягу поїздів розраховано за паспортними даними рухомого складу;

– витрати на ремонти пасажирських поїздів розраховані (без урахування оплати праці) за даними французької фірми «SYSTRA»;

– витрати на обслуговування, утримання та ремонт колії, станцій та ремонтних підрозділів (без урахування оплати праці) розраховані за даними французької фірми «SYSTRA», адаптованими до умов України та з урахуванням курсу євро;

ваними до умов України та з урахуванням курсу євро;

– витрати на оплату праці працівників ВШМ та машиністів рухомого складу приймалися за даними французької фірми «SYSTRA» з урахуванням рівня оплати праці в Україні;

– нарахування на оплату праці робітників ВШМ розраховувалися відповідно до українського законодавства;

– інші та загальновиробничі витрати приймалися за даними французької фірми «SYSTRA» за принципами, адаптованими до умов України та з урахуванням курсу євро.

Таблиця 7

Річні витрати від перевезення пасажирів по ВШМ. Джерело: розробка авторів

| Елементи витрат | Річні експлуатаційні витрати на утримання, млн грн | | | Разом, млн грн |
|-----------------------------|--|--|-----------------|-----------------|
| | ВШМ та станцій | Ремонтних підрозділів | Рухомого складу | |
| Матеріальні витрати | 1 202,70 | | 146,23 | 1 348,93 |
| Оплата праці | 724,45 | | 152,23 | 876,68 |
| Нарахування на оплату праці | 282,54 | 4,0 євро або 42,4 грн на 1 поїздо-км | 59,37 | 341,91 |
| Амортизаційні відрахування | 2 327,68 | | 498,62 | 2 826,30 |
| Інші витрати | 112,34 | | 17,02 | 129,36 |
| Витрати на тягу поїздів | 0,00 | | 81,34 | 81,34 |
| Загальновиробничі витрати | 931,23 | | 750,00 | 1 681,23 |
| Утримання та ремонт поїздів | 0,00 | 839,46 | 0,00 | 839,46 |
| Разом | 5 580,94 | 839,46 | 1 704,81 | 8 125,21 |

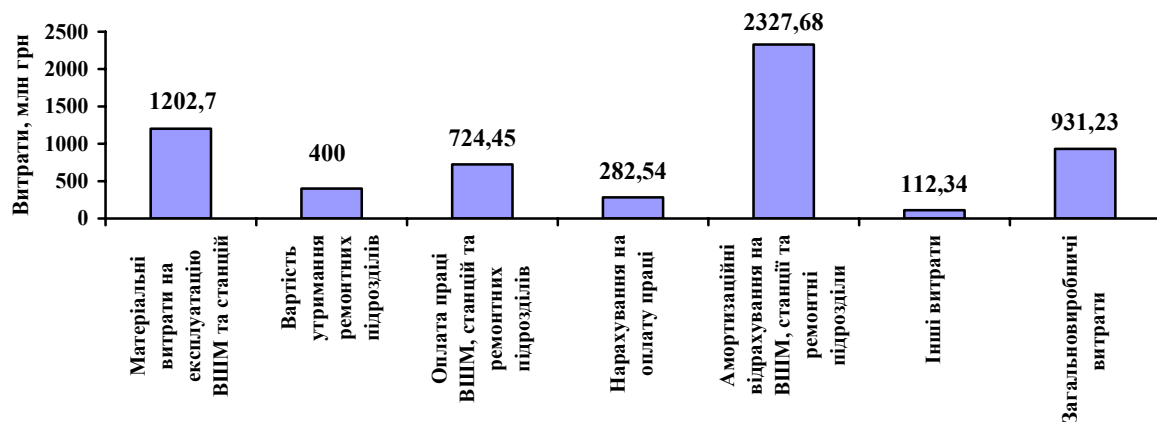


Рис. 1. Умовно-постійні витрати на перевезення пасажирів у високошвидкісному сполученні.

Джерело: розробка авторів

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

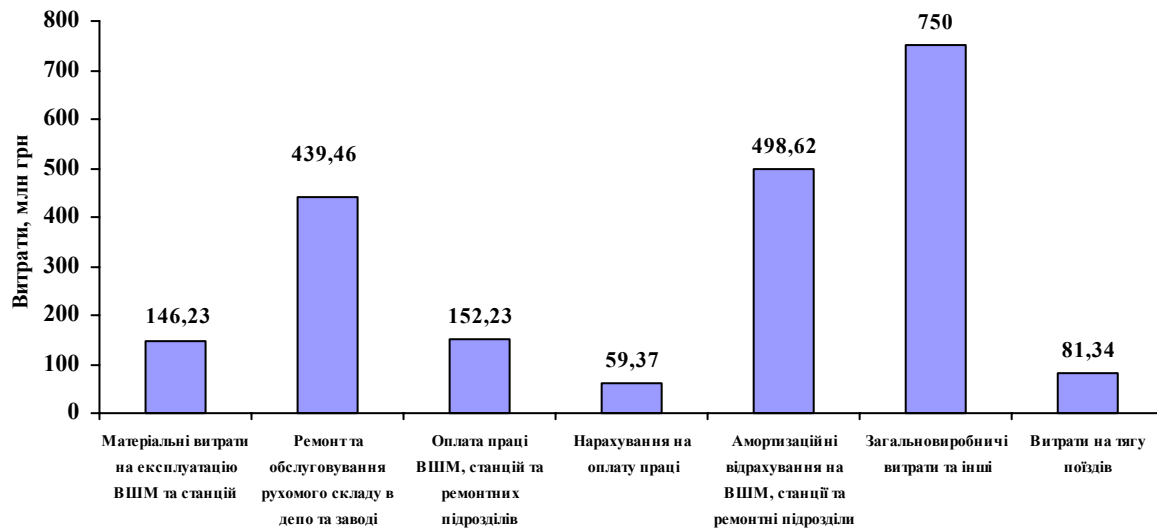


Рис. 2. Умовно-змінні витрати на перевезення пасажирів у високошвидкісному сполученні.

Джерело: розробка авторів

Слід сказати, що в роботі наведено методичний підхід до визначення ефективності впровадження високошвидкісного руху в Україні, а вартісні розрахунки – для більш реального відображення цього підходу. Остаточне значення експлуатаційних витрат буде розраховане після уточнення вартості будівництва, устаткування та рухомого складу.

Є кілька методів, за якими можна визначити та проаналізувати ефективність пасажирських перевезень. Нижче використана концепція маржинального доходу, яка дозволяє одночасно проаналізувати структуру витрат. Для подальших досліджень необхідно побудувати графік беззбитковості перевезення пасажирів на високошвидкісній магістралі (рис. 1).

Це можливо після використання розрахункових даних, які наведено в табл. 7, для базового варіанта перевезення пасажирів та поділ витрат на умовно-постійні та умовно-змінні. Подальші дослідження цієї проблеми виконувалися на основі аналізу даних табл. 7, в якій розрахована собівартість пасажирських перевезень (рис. 1, 2).

До умовно-постійних витрат віднесені витрати, що пов'язані з:

- матеріальними витратами на утримання ВШМ та станцій;
- часткове утримання ремонтних підрозділів;
- оплатою праці працівників, що обслуговують ВШМ та станції;

– нарахуванням на оплату праці працівників, що обслуговують ВШМ та станції;

– іншими витратами;

– амортизаційними відрахуваннями на ВШМ та станції;

– загальновиробничими витратами на утримання ВШМ та станцій.

До умовно-постійних витрат віднесені витрати, що пов'язані з:

– ремонтом та обслуговуванням рухомого складу, що залежить від пробігу поїздів;

– матеріальними витратами на утримання рухомого складу;

– оплатою праці працівників, що обслуговують рухомий склад;

– нарахуванням на оплату праці працівників, що обслуговують рухомий склад;

– іншими витратами;

– амортизаційними відрахуваннями на рухомий склад;

– загальновиробничими витратами на утримання рухомого складу;

– витратами на рух поїздів.

Для подальших досліджень необхідно виконати аналіз «затрати – обсяг діяльності – прибуток», для чого побудуємо графік беззбитковості пасажирських перевезень у високошвидкісному сполученні за правилами графічного визначення маржинального доходу (рис. 3).

Передбачається, що аналіз здійснюється в межах релевантного діапазону, в якому загальна

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

сума умовно-постійних витрат залишається не змінною, а функції умовно-змінних витрат, реального доходу та маржинального доходу є лінійними залежно від обсягу перевезень. При суттєвому збільшенні кількості рухомого складу для перевезення пасажирів треба виконувати аналіз витрат у новому релевантному діапазоні з іншими показниками змінних та постійних витрат.

На горизонтальній осі наносимо значення пасажирських перевезень в пас.-км для певного розрахункового року (12 808 700 тис. пас.-км). З цієї точки будемо вгору відрізок паралельно вертикальній осі, значення якого дорівнює постійним витратам – 5 980 940 тис. грн. Потім угору додаємо відрізок, значення якого дорівнює змінним витратам – 2 144 270 тис. грн. Побудований таким чином загальний відрізок дорівнює витратам від перевезення пасажирів у розрахунковому році – 8 125 210 тис. грн. Через цю точку та точку перетину лінії постійних витрат з вертикальною віссю проводимо лінію загальних витрат (жирний пунктир). Якщо провести з точки нуль на початку координат пряму до точки, що дорівнює значенню доходів від перевезення пасажирів у розрахунковому році (12 808 700 тис. грн), то отримаємо на їх перетині точку беззбитковості, тобто точку,

в якій величина доходів від перевезень дорівнює значенню величини загальних витрат (позначена кільцем).

З рис. 3 випливає, що пасажирські перевезення у високошвидкісному сполученні, розраховані за попередніми даними, будуть прибутковими навіть при перевезеннях нижче ніж 16 379 411 тис. пас.-км. Але остаточні розрахунки можна буде визначити під час уточнення:

- плану високошвидкісної магістралі, її довжини та кількості естакад;
- вартості землі, що буде відведена під будівництво;
- вартості будівництва усіх об'єктів ВШМ;
- витрат на експлуатацію, утримання та ремонт рухомого складу, залежно від технічних параметрів поїздів, що будуть придбані для використання на ВШМ;
- технічних умов на підключення об'єктів ВШМ до теплових, електричних, каналізаційних, водопостачальних мереж та інших комунікацій.

Вказані уточнення суттєво впливають на величину умовно-змінних та умовно-постійних витрат, особливо на останні. Подальші розрахунки визначення ефективності будівництва та експлуатації ВШМ слід виконувати за етапами будівництва та пусковими комплексами (рис. 4).

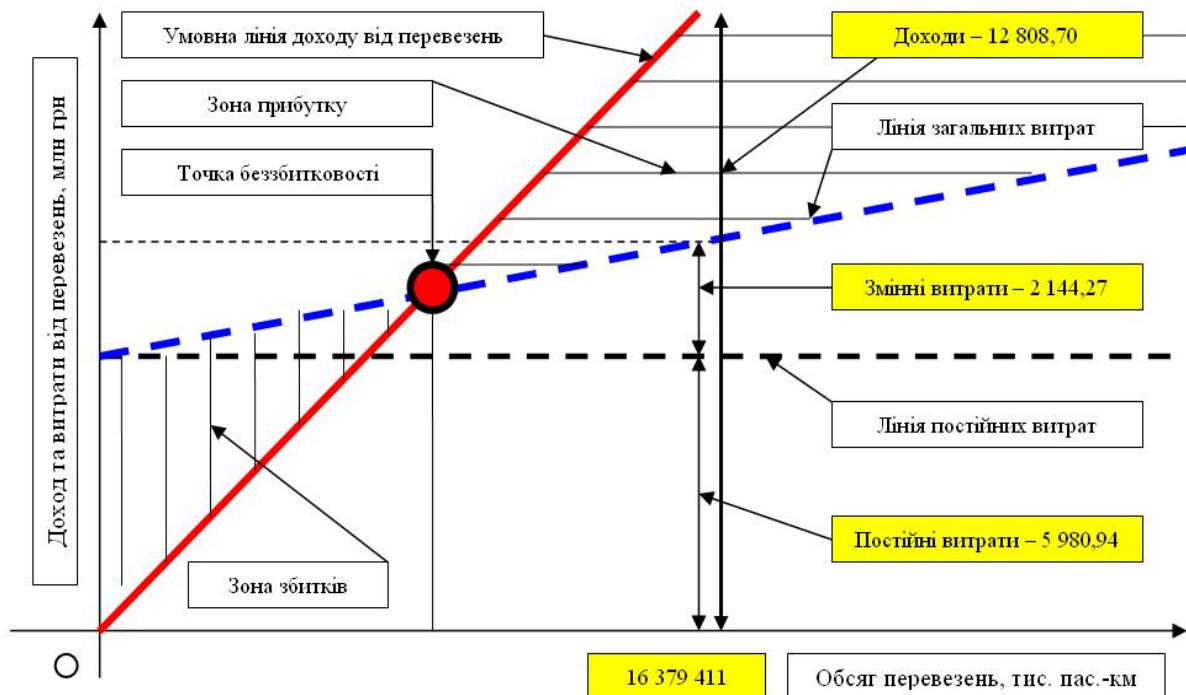


Рис. 3. Графік беззбитковості пасажирських перевезень з використанням маржинального доходу.

Джерело: розробка авторів

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

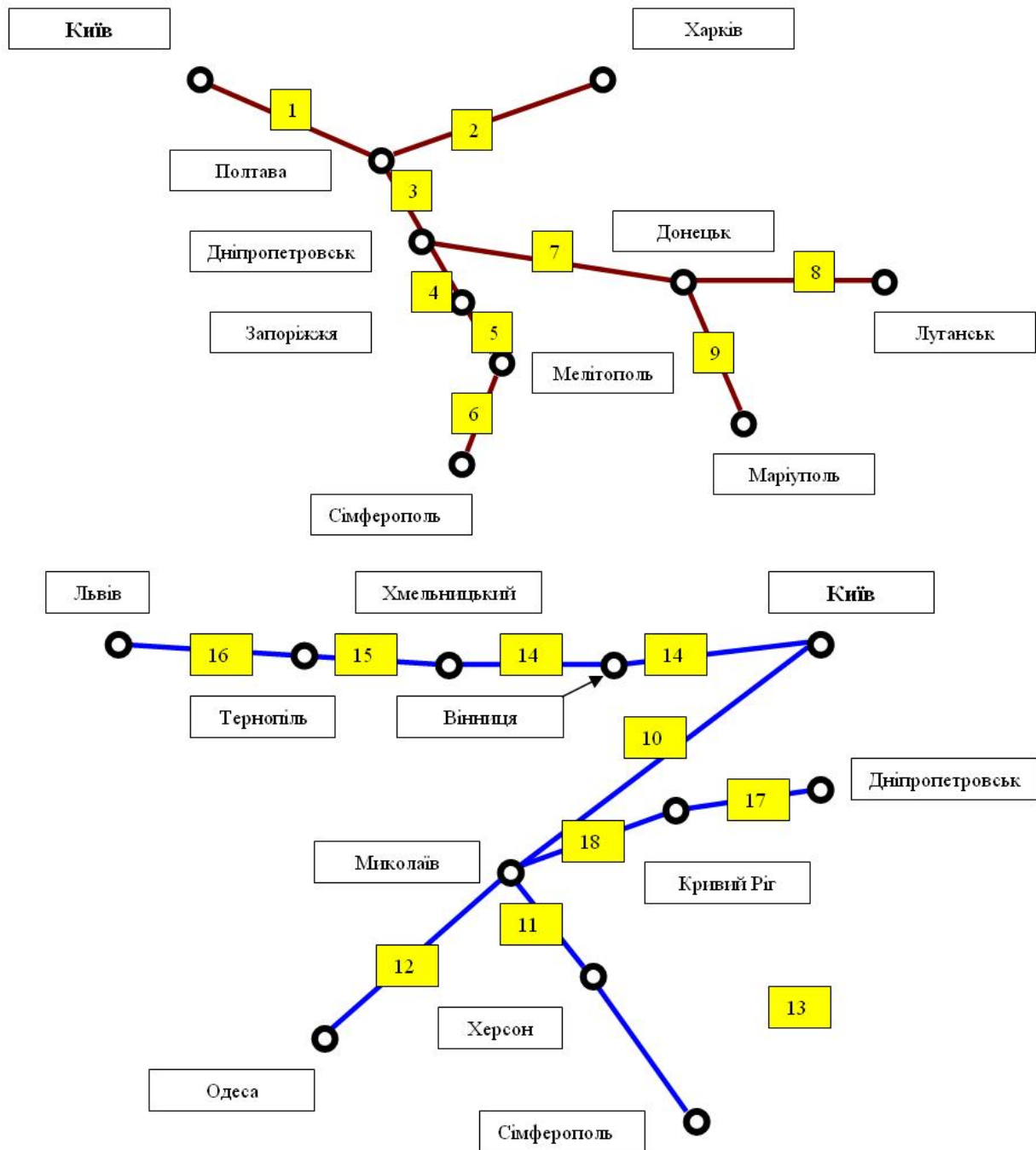


Рис. 4. Схема етапності будівництва дільниць ВШМ. Джерело: розробка авторів

Високошвидкісний рух на окремих дільницях ВШМ починає діяти після закінчення терміну обкатки залізничних колій та рухомого складу. З цього моменту прогнозуються доходи та витрати від перевезень з урахуванням поступового нарощування пасажиропотоку, раціонального використання рухомого складу та оптимальної організації руху.

Будівництво високошвидкісної магістралі планується протягом 15 років і починається з міста Києва до Харкова, що обґрунтовано максимальним пасажиропотоком, потужністю будівельних організацій та розташуванням ремонтних підрозділів.

Далі планується будівництво та впровадження в експлуатацію ВШМ південного на-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

прямку з включенням до нього таких міст, як Дніпропетровськ, Запоріжжя, Мелітополь та Сімферополь, що дає змогу в подальшому ввести в експлуатацію донецький напрямок (Донецьк, Луганськ та Маріуполь).

Таким чином до ВШМ будуть включені східні та центральні райони України, а також Кримський півострів. Це дозволить охопити швидкісним рухом найбільш населені області

та курорти, а як наслідок підвищити ефективність будівництва та скоротити термін окупності високошвидкісної магістралі. Після цього починається будівництво магістралі у західних регіонах України в напрямку до Львова, паралельного ходу з Києва до Сімферополя та другого широтного ходу з Дніпропетровська до Одеси. За цією схемою побудовані окремі ділянки ВШМ, інвестиції, які наведено на рис. 4.

Таблиця 8

Розрахунок загальних інвестицій на будівництво ВШМ, млн грн. Джерело: розробка авторів

| Рік побудови | Пусковий комплекс | Найменування ділянки | Довжина ділянки, км | Капітальні вкладення у ВШМ, млн грн | Кількість поїздів, од. | Вартість рухомого складу, млн грн | Вартість станцій, млн грн | Вартість ремонтних підрозділів, млн грн | Загальні капітальні вкладення, млн грн |
|--------------|-------------------|----------------------------|---------------------|-------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------------|---|--|
| 1, 2 | 1 | Київ–Полтава | 310 | 16 257,7 | 4 | 848,0 | 2 665,0 | 652,0 | 20 422,7 |
| 2 | 2 | Полтава–Харків | 130 | 7 072,3 | 4 | 848,0 | 1 300,0 | – | 9 220,3 |
| 3 | 3 | Полтава–Дніпропетровськ | 130 | 6 955,7 | 4 | 848,0 | 1 500,0 | – | 9 303,7 |
| 3 | 4 | Дніпропетровськ–Запоріжжя | 80 | 4 401,1 | 3 | 636,0 | 368,6 | – | 5 405,7 |
| 4, 5 | 5 | Запоріжжя–Мелітополь | 110 | 5 701,7 | 0 | – | 368,6 | – | 6 070,3 |
| 4, 5 | 6 | Мелітополь–Сімферополь | 241 | 12 120,0 | 4 | 848,0 | 1 100,0 | – | 14 068,0 |
| 6 | 7 | Дніпропетровськ–Донецьк | 220 | 11 587,9 | 6 | 1 272,0 | 1 500,0 | – | 14 359,9 |
| 7 | 8 | Донецьк–Луганськ | 140 | 7 248,3 | 3 | 636,0 | 465,0 | 1 123,1 | 9 472,4 |
| 7 | 9 | Донецьк–Маріуполь | 120 | 6 133,2 | 4 | 848,0 | 465,0 | – | 7 446,2 |
| 8 | 10 | Київ–Біла Церква | 65 | 3 469,4 | 0 | – | – | – | 3 469,4 |
| 8, 9 | 10 | Біла Церква–Миколаїв | 340 | 17 469,9 | 6 | 1 272,0 | 465,0 | – | 19 206,9 |
| 10 | 11 | Миколаїв–Херсон | 60 | 3 157,7 | 2 | 424,0 | 368,6 | 652,0 | 4 602,3 |
| 10 | 12 | Миколаїв–Одеса | 120 | 6 419,4 | 6 | 1 272,0 | 1 500,0 | – | 9 191,4 |
| 11 | 13 | Херсон–Сімферополь | 240 | 12 473,0 | 10 | 2 120,0 | – | – | 14 593,0 |
| 12 | 14 | Біла Церква–Вінниця | 130 | 7 071,3 | 2 | 424,0 | 368,6 | – | 7 863,9 |
| 12 | 14 | Вінниця–Хмельницький | 110 | 5 982,6 | 2 | 424,0 | 368,6 | – | 6 775,2 |
| 13 | 15 | Хмельницький–Тернопіль | 105 | 5 420,8 | 2 | 424,0 | 368,6 | – | 6 213,4 |
| 13, 14 | 16 | Тернопіль–Львів | 120 | 6 503,1 | 10 | 2 120,0 | 1 200,0 | – | 9 823,1 |
| 14 | 17 | Дніпропетровськ–Кривий Ріг | 150 | 7 758,1 | 6 | 1 272,0 | 368,6 | – | 9 398,7 |
| 15 | 18 | Кривий Ріг–Миколаїв | 150 | 7 645,8 | 6 | 1 272,0 | – | – | 8 917,8 |
| | | Всього | 3 071 | 160 849 | 84 | 17 808 | 14 740,0 | 2 427,2 | 195 824 |

Таблиця 9

Розрахунок економічних показників функціонування ВШМ за окремими напрямками після вводу в експлуатацію, млн грн. Джерело: розробка авторів

| Пусковий комплекс | Найменування дільниці | Кількість відправлених пасажирів, тис. пас | Відстань, км | Дохід | Витрати | Прибуток | Податок на прибуток | Дивіденди | Чистий прибуток | Амортизаційні відрахування | Інвестиції з прибутку |
|-------------------|-----------------------------------|--|--------------|---------|---------|----------|---------------------|-----------|-----------------|----------------------------|-----------------------|
| 1, 2 | Київ–Полтава–Харків | 1 792,8 | 440,0 | 616,9 | 391,3 | 225,6 | 42,9 | 33,8 | 148,9 | 136,1 | 74,4 |
| 3 | Київ–Полтава–Дніпропетровськ | 1 004,5 | 440,0 | 345,6 | 219,2 | 126,4 | 24,0 | 19,0 | 83,4 | 76,3 | 41,7 |
| 4 | Київ–Дн-ськ–Запоріжжя | 1 236,7 | 520,0 | 502,9 | 319,0 | 183,9 | 34,9 | 27,6 | 121,4 | 111,0 | 60,7 |
| 5, 6 | Київ–Дн-ськ–Запоріжжя–Сімферополь | – | – | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 7 | Київ–Дн-ськ–Донецьк | 1 400,6 | 660,0 | 722,9 | 458,6 | 264,3 | 50,2 | 39,6 | 174,5 | 159,5 | 87,2 |
| 8 | Київ–Луганськ | 727,9 | 800,0 | 455,4 | 288,9 | 166,5 | 31,6 | 25,0 | 109,9 | 100,5 | 54,9 |
| 9 | Київ–Маріуполь | 765,5 | 780,0 | 466,9 | 296,2 | 170,7 | 32,4 | 25,6 | 112,7 | 103,0 | 56,3 |
| 10, 11, 13 | Київ–Сімферополь | 2 848,2 | 705,0 | 1 570,2 | 996,1 | 574,2 | 109,1 | 86,1 | 378,9 | 346,5 | 189,5 |
| 12 | Київ–Одеса | 1 049,6 | 525,0 | 430,9 | 273,4 | 157,6 | 29,9 | 23,6 | 104,0 | 95,1 | 52,0 |
| 14, 15, 16 | Київ–Львів | 1 432,5 | 530,0 | 593,7 | 376,6 | 217,1 | 41,2 | 32,6 | 143,3 | 131,0 | 71,6 |
| 3 | Дніпропетровськ–Харків | 772,5 | 260,0 | 157,1 | 99,6 | 57,4 | 10,9 | 8,6 | 37,9 | 34,7 | 19,0 |
| 17, 18 | Дніпропетровськ–Одеса | 1 044,1 | 420,0 | 342,9 | 217,5 | 125,4 | 23,8 | 18,8 | 82,8 | 75,7 | 41,4 |
| 5, 6, 7 | Донецьк–Сімферополь | 2 051,3 | 651,0 | 1 044,3 | 662,4 | 381,8 | 72,5 | 57,3 | 252,0 | 230,4 | 126,0 |
| 16 | Луганськ–Львів | 606,3 | 1 330,0 | 630,6 | 400,0 | 230,6 | 43,8 | 34,6 | 152,2 | 139,1 | 76,1 |
| 5, 6 | Харків–Сімферополь | 1 448,1 | 691,0 | 782,5 | 496,4 | 286,1 | 54,4 | 42,9 | 188,8 | 172,7 | 94,4 |
| 12 | Харків–Одеса | 1 051,6 | 680,0 | 559,2 | 354,7 | 204,5 | 38,8 | 30,7 | 135,0 | 123,4 | 67,5 |
| 16 | Харків–Львів | 735,8 | 970,0 | 558,1 | 354,1 | 204,1 | 38,8 | 30,6 | 134,7 | 123,2 | 67,3 |
| 17 | Луганськ–Сімферополь | 326,8 | 791,0 | 202,1 | 128,2 | 73,9 | 14,0 | 11,1 | 48,8 | 44,6 | 24,4 |
| 12 | Луганськ–Одеса | 674,0 | 780,0 | 411,1 | 260,8 | 150,3 | 28,6 | 22,5 | 99,2 | 90,7 | 49,6 |

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Закінчення табл. 9

| Пусковий комплекс | Найменування дільниці | Кількість відправлених пасажирів, тис. пас | Відстань, км | Дохід | Витрати | Прибуток | Податок на прибуток | Дивіденди | Чистий прибуток | Амортизаційні відрахування | Інвестиції з прибутку |
|-------------------|-----------------------|--|--------------|----------|---------|----------|---------------------|-----------|-----------------|----------------------------|-----------------------|
| 17 | Запоріжжя–Одеса | 553,0 | 500,0 | 216,2 | 137,2 | 79,1 | 15,0 | 11,9 | 52,2 | 47,7 | 26,1 |
| 16 | Запоріжжя–Львів | 377,1 | 1 050,0 | 309,6 | 196,4 | 113,2 | 21,5 | 17,0 | 74,7 | 68,3 | 37,4 |
| 12, 13 | Одеса–Сімферополь | 577,1 | 420,0 | 189,5 | 120,2 | 69,3 | 13,2 | 10,4 | 45,7 | 41,8 | 22,9 |
| 16 | Одеса–Львів | 496,2 | 925,0 | 358,9 | 227,7 | 131,2 | 24,9 | 19,7 | 86,6 | 79,2 | 43,3 |
| 16 | Львів–Сімферополь | 765,0 | 1 105,0 | 661,0 | 419,3 | 241,7 | 45,9 | 36,3 | 159,5 | 145,9 | 79,8 |
| 8 | Харків–Луганськ | 1 011,0 | 860,0 | 679,9 | 431,3 | 248,6 | 47,2 | 37,3 | 164,1 | 150,0 | 82,0 |
| | Всього | 24 748,2 | 16 833,0 | 12 808,7 | 8 125,2 | 4 683,5 | 889,9 | 702,5 | 3 091,1 | 2 826,3 | 1 545,5 |

Таблиця 10

Проміжні розрахунки чистого дисконтного доходу за окремими напрямками після вводу в експлуатацію ВШМ, млн грн. Джерело: розробка авторів

| Рік побудови ВШМ | Напрямок курсування | Величина економічних складових, млн грн | | | | | | |
|------------------|--|---|------------------------|----------------------------|----------------------|--------------|--------------------------|-------------------------|
| | | Доходи від перевезень | Експлуатаційні витрати | Амортизаційні відрахування | Капітальні вкладення | Чистий дохід | Коефіцієнт дисконтування | Чистий дисконтний дохід |
| 1 | Київ–Полтава | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 20 422,7 | – 20 422,7 | 0,893 | – 18 237,5 |
| 2 | Київ–Харків | 616,9 | 391,3 | 136,1 | 9 220,3 | – 9 011,7 | 0,797 | – 7 182,3 |
| 3 | Київ–Дніпропетровськ, Харків–Дн-ськ | 502,7 | 318,8 | 111,0 | 14 709,4 | – 14 539,4 | 0,712 | – 10 352,0 |
| 4 | Київ–Запоріжжя | 502,9 | 319,0 | 111,0 | 6 070,3 | – 5 900,3 | 0,636 | – 3 752,6 |
| 5 | Київ–Сімферополь, Харків–Сімферополь | 2 352,7 | 1 492,5 | 519,2 | 14 068,0 | – 13 272,6 | 0,567 | – 7 525,6 |
| 6 | Київ–Донецьк, Донецьк–Сімферополь | 1 767,2 | 1 121,0 | 389,9 | 14 359,9 | – 13 762,4 | 0,507 | – 6 977,5 |
| 7 | Київ–Луганськ, Київ–Маріуполь, Харків–Луганськ, Луганськ–Сімферополь | 1 804,3 | 1 144,4 | 398,1 | 16 918,6 | – 16 308,4 | 0,452 | – 7 371,4 |
| 8 | Київ–Сімферополь | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 10 676,3 | – 10 676,3 | 0,404 | – 4 313,2 |
| 9 | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 12 000,0 | – 12 000,0 | 0,361 | – 4 332,0 |

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Закінчення табл. 10

| Рік побудови ВШМ | Напрямок курсування | Величина економічних складових, млн грн | | | | | | |
|------------------|--|---|------------------------|----------------------------|----------------------|--------------|--------------------------|-------------------------|
| | | Доходи від перевезень | Експлуатаційні витрати | Амортизаційні відрахування | Капітальні вкладення | Чистий дохід | Коефіцієнт дисконтування | Чистий дисконтний дохід |
| 10 | Київ–Одеса, Харків–Одеса, Одеса–Сімферополь, Луганськ–Одеса | 1 590,7 | 1 009,3 | 351,0 | 13 793,7 | – 13 256,1 | 0,322 | – 4 268,5 |
| 11 | Київ–Львів, Луганськ–Львів, Харків–Львів, Одеса–Львів, Львів–Сімферополь | – | – | – | 14 593,0 | – 14 593,0 | 0,287 | – 4 188,2 |
| 12 | | – | – | – | 14 639,1 | – 14 639,1 | 0,257 | – 3 762,2 |
| 13 | | – | – | – | 16 036,5 | – 16 036,5 | 0,229 | – 3 672,4 |
| 14 | | 2 802,6 | 1 777,8 | 618,4 | 9 398,7 | – 8 451,1 | 0,205 | – 1 732,5 |
| 15 | Дн-ськ–Одеса, Запоріжжя–Одеса, Запоріжжя–Мелітополь | 868,7 | 551,1 | 191,6 | 8 917,8 | – 8 624,1 | 0,183 | – 1 578,2 |
| | Разом | 12 808,7 | 8 125,2 | 2 826,3 | 195 824,3 | – 191 493,7 | 0,163 | – 31 213,5 |

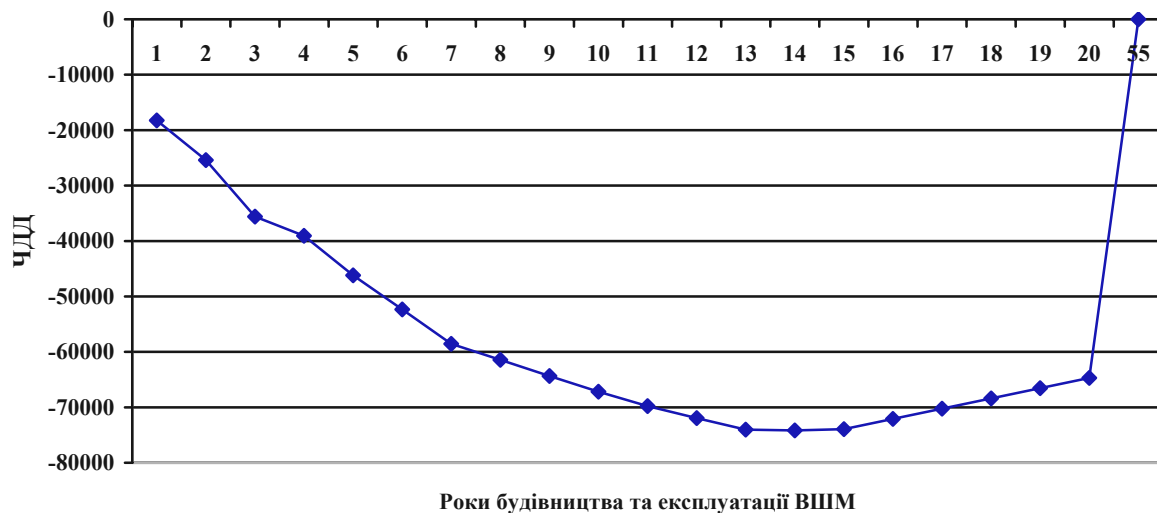


Рис. 5. Динаміка зміни чистого дисконтного доходу та визначення терміну окупності високошвидкісної магістралі. Джерело: розробка авторів

У табл. 6 наведені розрахунки загальних інвестицій на будівництво колій, станцій, ремонтних депо, заводу та закупівлю рухомого складу по окремих роках та пускових комплексах, що дозволить в подальшому визначити величину чистого дисконтного доходу.

В табл. 10 наведені проміжні розрахунки чистого дисконтного доходу за окремими напрямками ВШМ, які необхідні для визначення загального ЧДД накопиченим підсумком за 15 років.

Таблиця 11

**Економічні показники роботи високошвидкісної компанії, після закінчення
будівництва ВШМ, млн грн. Джерело: розробка авторів**

| Напрямок курсування | Величина економічних складових, млн грн | | | |
|---|---|------------------------|----------------------------|----------------|
| | Доходи від перевезень | Експлуатаційні витрати | Амортизаційні відрахування | Чистий дохід |
| Київ–Харків | 616,9 | 391,3 | 136,1 | 208,6 |
| Київ–Дніпропетровськ, Харків–Дн-ськ | 502,7 | 318,8 | 111,0 | 170,0 |
| Київ–Запоріжжя | 502,9 | 319,0 | 111,0 | 170,0 |
| Київ–Сімферополь, Харків–Сімферополь | 2352,7 | 1 492,5 | 519,2 | 795,4 |
| Київ–Донецьк, Донецьк–Сімферополь | 1 767,2 | 1 121,0 | 389,9 | 597,5 |
| Київ–Луганськ, Київ–Маріуполь, Харків–Луганськ, Луганськ–Сімферополь | 1 804,3 | 1 144,4 | 398,1 | 610,2 |
| Київ–Одеса, Харків–Одеса, Одеса–Сімферополь, Луганськ–Одеса | 1 590,7 | 1 009,3 | 351,0 | 537,6 |
| Київ–Львів, Луганськ–Львів, Харків–Львів, Одеса–Львів, Львів–Сімферополь | 2 802,6 | 1 777,8 | 618,4 | 947,6 |
| Дніпропетровськ–Одеса, Запоріжжя–Одеса, Запоріжжя–Мелітополь | 868,7 | 551,1 | 191,6 | 293,7 |
| Разом | 12 808,7 | 8 125,2 | 2 826,3 | 4 330,6 |

За результатами досліджень, які були наведені вище, для кожного року будівництва високошвидкісної магістралі на рис. 5 зображено графік зміни ЧДД та термін окупності ВШМ, що становить 55 років. Для кращого сприйняття графіка на рисунку пропущено період між 20 та 55 роками з початку будівництва ВШМ. Такий значний термін окупності високошвидкісної магістралі пояснюється дуже великою вартістю будівництва ВШМ та рухомого складу. В той же час слід сказати, що діяльність високошвидкісної компанії буде прибутковою, оскільки за 14 років експлуатації ВШМ буде накопичено прибуток у розмірі 4 683,5 млн грн. Підвищити ефективність функціонування високошвидкісної компанії можна за рахунок використання вітчизняного рухомого складу, який в Україні буде виробляти Крюківський вагонобудівний завод, та збільшення кількості пасажирів, які будуть перевезені після 15 року експлуатації ВШМ.

Не можна в перші роки експлуатації високошвидкісної компанії підвищувати тарифи на перевезення пасажирів, оскільки вони будуть

перевищувати вартість квитків на літак. Уже зараз в Україні вартість перевезення пасажирів у швидкісних поїздах Hyundai Rotem між Києвом та Дніпропетровськом дорівнює вартості квитків на літак між Києвом та Будапештом (дані липня 2013 року). Після закінчення будівництва високошвидкісної магістралі чистий дохід щорічно становитиме 4 330,6 млн грн.

Наукова новизна та практична значимість

Нами запропоновано науковий підхід щодо визначення економічної ефективності будівництва та експлуатації високошвидкісних магістралей, який на відміну від існуючого включає удосконалені принципи визначення кількості перевезених пасажирів, вартості будівництва ВШМ, кількості одиниць рухомого складу, оптимізує розрахунки доходів та витрат в контексті конкурентних переваг та впливу зовнішніх факторів на діяльність компанії. На основі вказаного наукового підходу розроблено удосконалену методику визначення ефективності будівництва високошвидкісної магістралі в Україні.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Висновки

Стаття присвячена розробці методики щодо визначення ефективності впровадження в Україні високошвидкісних поїздів. Виходячи з виконаного аналізу, можна констатувати:

1. Удосконалено методичний підхід щодо розрахунку перспективних обсягів перевезень по високошвидкісній магістралі, який суттєво відрізняється від європейського, запропонованого французькою компанією «SYSTRA», оскільки дозволяє додатково врахувати транзитний потік пасажирів через Україну, розподілити пасажирів по окремих дільницях пропорційно кількості населенню міст, що входять у високошвидкісну магістраль, з урахуванням середньої рухливості населення, терміну поїздки та коефіцієнта, що додатково враховує частоту поїздки пасажирів на заданій дільниці залежно від призначення (відраджень, пересадка на літак, відпочинок та ін.).

2. Запропоновано науковий підхід щодо визначення економічної ефективності будівництва та експлуатації високошвидкісних магістралей, який на відміну від існуючого включає удосконалені принципи визначення кількості перевезених пасажирів, вартості будівництва ВШМ, одиниць рухомого складу, оптимізує розрахунки доходів та витрат в контексті конкурентних переваг та впливу зовнішніх факторів на діяльність компанії. Врахування вищенаведених положень підвищує обґрунтованість управлінських рішень щодо забезпечення ефективності функціонування високошвидкісних перевезень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бараш, Ю. С. Сравнение видов транспорта с учетом устойчивого развития общества / Ю. С. Бараш, И. П. Корженевич, П. А. Лихопек // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2009. – Вип. 28. – С. 210–214.
2. Бараш, Ю. С. Теоретико-методичний підхід до визначення конкурентоспроможності послуг, що надаються пасажирськими видами транспорту / Ю. С. Бараш, А. А. Покотілов, Т. Ю. Чаркіна // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2011. – Вип. 38. – С. 233–237.
3. Бараш, Ю. С. Управління залізничним транспортом країни : монографія / Ю. С. Бараш. – 2-ге вид., переробл. і допов. – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2006. – 264 с.
4. Босов, А. А. Формирование вариантов рациональной сети линий высокоскоростного движения поездов в Украине / А. А. Босов, Г. Н. Кирпа. – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп., 2004. – 144 с.
5. Дикань, В. Л. Обеспечение конкурентоспособности предприятия : монография / В. Л. Дикань. – Х. : Основа, 1995. – 160 с.
6. Кірдіна, О. Г. Методологічні аспекти інвестиційно-інноваційного розвитку залізничного комплексу України : монографія / О. Г. Кірдіна. – Х. : УкрДАЗТ, 2011. – 312 с.
7. Концепція впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях України в 2004-2015 роках. – К. : Державна адмін. залізн. трансп. України, 2004. – 43 с.
8. Корженевич, І. П. Принципи прогнозу оцінки витрат на ліквідацію наслідків від шкідливого впливу на суспільство та довкілля автомобільного та залізничного транспорту / І. П. Корженевич, Ю. С. Бараш, Т. Ю. Чаркіна // Проблеми економіки транспорту : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2012. – Вип. 3. – С. 102–109.
9. Момот, А. В. Методичний підхід 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.
10. Момот, А. В. Методичні підходи до визначення раціональних швидкостей руху пасажирських поїздів та раціональних зон їх курсування / А. В. Момот // Проблеми економіки транспорту : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2013. – Вип. 5. – С. 80–89.
11. Предварительное технико-экономическое обоснование проекта высокоскоростных железных дорог в Украине. – К. : «SYSTRA», 2002. – 213 с.
12. Принципи визначення ефективності курсування приміських пасажирських поїздів на заданому напрямку руху / Ю. С. Бараш, Т. Ю. Чаркіна, Ю. П. Мельянцова, О. О. Карась // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2012. – Вип. 41. – С. 234–248.
13. Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 року № 2174 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80>. – Назва з екрана.
14. Розробка концепції впровадження швидкісного та високошвидкісного руху пасажирських поїздів

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

- їздів на залізницях України в 2005-2015 роках. – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп., 2004. – 170 с.
15. Чаркіна, Т. Ю. Усовершенствование принципов управления конкурентоспособностью пассажирских перевозок / Т. Ю. Чаркіна // Современный науч. вестн. Серия «Экономические науки». – 2012. – № 16 (128). – С. 97–108.
 16. Чаркіна, Т. Ю. Дослідження впливу загального терміну поїздки пасажирів на доходи транспортних підприємств / Т. Ю. Чаркіна // Вісн. економіки трансп. і пром-сті : зб. наук.-практ. статей. – Х., 2012. – Вип. 39. – С. 180–183.
 17. 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.
 18. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/guidelines.pdf>. – Назва з екрану.
 19. Rail Infrastructure Charging Practice over Europe [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cesifo-group.de/ifoHome/facts/DICE/Infrastructure/Transportation/Railways/rail-infr-char-prac-2010.html>. – Назва з екрану.

Ю. С. БАРАШ^{1*}, А. В. МОМОТ¹

^{1*}Каф. «Учет, аудит и интеллектуальная собственность», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (0562) 33 58 13, эл. почта ubarash@mail.ru

¹Каф. «Учет, аудит и интеллектуальная собственность», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (0562) 33 58 13, эл. почта ubarash@mail.ru

УСОВЕРШЕНСТВОВАНАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ МАГИСТРАЛИ В УКРАИНЕ

Цель. Разработать усовершенствованную методику и сформулировать мероприятия, касающиеся определения экономической эффективности организации высокоскоростного движения с учетом опыта эксплуатации скоростных перевозок в Украине, продолжительности поездки, количества остановок на маршруте, графика движения высокоскоростных поездов и спроса на эти перевозки. **Методика.** Предложена последовательность определения целесообразности организации высокоскоростного движения в Украине, адаптированная к рыночным условиям. Данная методика учитывает расчеты стоимости высокоскоростной магистрали (ВСМ), станций, ремонтных подразделений и подвижного состава. Исследованы расходы на перевозки пассажиров с помощью маржинального дохода; изучена динамика изменения чистого дисконтированного дохода и срока окупаемости ВСМ. **Результаты.** В работе разработана методика комплексного определения эффективности строительства и эксплуатации высокоскоростных поездов с учетом стоимости инфраструктуры, подвижного состава, влияния факторов внешней среды и др. **Научная новизна.** Предложен научный подход, касающийся определения экономической эффективности строительства и эксплуатации ВСМ. Он, в отличие от существующего, включает усовершенствованные принципы определения количества перевезенных пассажиров, стоимости строительства ВСМ, приобретения подвижного состава, оптимизирует расчеты доходов и расходов в контексте конкурентных преимуществ и влияния внешних факторов на деятельность компании. В расчетах впервые учитывается транзитный поток пассажиров, отправляющихся из стран СНГ на отдых в Крым, Карпаты, Одесский и Львовские регионы. Учет указанных факторов повышает обоснованность управленческих решений, касающихся обеспечения эффективности функционирования высокоскоростных перевозок. **Практическая значимость.** Предложенная методика и результаты исследований позволили определить целесообразность строительства в Украине высокоскоростной магистрали для скорости движения пассажирских поездов не меньше 250 км/час. Это позволит пассажирскому высокоскоростному движению занять свою нишу на транспортном рынке Украины.

Ключевые слова: скоростное и высокоскоростное движение; высокоскоростная магистраль; капитальные вложения; перевозки; инфраструктура; доходы от перевозок; затраты; прибыль

YU. S. BARASH^{1*}, A. V. MOMOT¹^{1*}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 (0562) 33 58 13, e-mail ubarash@mail.ru¹Dep. «Account, Audit and Intellectual Property», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St. 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (0562) 33 58 13, e-mail ubarash@mail.ru

IMPROVED METHOD OF DETERMINATION OF ECONOMIC EFFICIENCY OF CONSTRUCTION AND OPERATION OF HIGH SPEED MAINLINE IN UKRAINE

Purpose. To develop an advanced methodology and formulate the measures concerning the definition of economic efficiency of high-speed movement organization taking into account the operating experience of rapid transportations in Ukraine, travel time, number of stops on the route, schedule and the demand for these transportations. **Methodology.** The economic feasibility for appropriateness of high-speed movement organization in Ukraine is an investment project, which involves step-by-step money investment to the construction. To solve such problems one uses net present value, which UZ or newly created companies can get during the project realization and after its completion. **Findings.** On the basis of obtained studies one can state that the methodology of complex determination of construction efficiency and high-speed passenger trains operation taking into account the cost of infrastructure, rolling stock, impact of environmental factors, etc. was developed in the article. **Originality.** We propose a scientific approach to determine the economic efficiency of the construction and high-speed main lines operation. This approach, unlike the existing one, includes the improved principles of determining the passenger traffic, the cost of high-speed mainline construction, the number of rolling stock; optimizes income and expenditure calculations in the context of competitive advantages and impact of the external factors on the company. For the first time it was taken into account the transit flow of passengers departing from CIS countries to the vacation in the Crimea, the Carpathians, Odessa and Lviv regions. The account of these factors increases the feasibility of administrative decisions concerning ensuring the efficiency of high-speed traffic functioning. **Practical value.** The proposed methodology and the research results allowed determining the construction reasonability of high-speed mainline for the passenger trains with a speed at least 250 km/h in Ukraine. This will allow the high-speed passenger traffic to occupy its niche in the transport market of Ukraine.

Keywords: high-speed traffic; high-speed main line; capital investments; transportations; infrastructure; transportation income; expenses; profit

REFERENCES

1. Barash Yu.S., Korzhenevich I.P., Likhopek P.A. Sravneniye vidov transporta s uchetom ustoychivogo razvitiya obshchestva [Comparison of transport modes, taking into account the sustainable development of society]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2009, issue 28, pp. 210-214.
2. Barash Yu.S., Pokotilov A.A., Charkina T.Yu. Teoretyko-metodychnyi pidkhid do vyznachennia konkurentosposobnosti posluh, shcho nadaiutsia pasazhyrskymy vydamy transportu [Theoretical and methodological approach to determination the competitiveness of services provided by the passenger transport modes]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2011, issue 38, pp. 233-237.
3. Barash Yu.S. *Upravlinnia zaliznychnym transportom krainy* [Management of railway transport of the country]. Dnipropetrovsk, DNUZT Publ., 2006. 264 p.
4. Bosov A.A., Kirpa G.N. *Formirovaniye variantov ratsionalnoy seti liniy vysokoskorostnogo dvizheniya poyezdov v Ukraine* [Formation of options of rational network of high-speed train lines in Ukraine]. Dnipropetrovsk, DNUZT Publ., 2004. 144 p.
5. Dikan V.L. *Obespecheniye konkurentosposobnosti predpriyatiya* [Ensuring the competitiveness of enterprises]. Kharkiv, Osnova Publ., 1995. 160 p.
6. Kirdina O.H. *Metodolohichni aspekty investytsiino-innovatsiinoho rozvytku zaliznychnoho kompleksu Ukrainy* [Methodological aspects of investment and innovation development of railway complex of Ukraine]. Kharkiv, UkrDAZT Publ., 2011. 312 p.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

7. *Kontseptsiiia vprovadzheniia shvydkisnoho rukhu pasazhyrskykh poizdiv na zaliznytsiakh Ukrainy v 2004-2015 rokakh* [The concept of introducing of high-speed passenger trains on the railways of Ukraine in 2004-2015 years]. Kyiv, Derzhavna administratsiia zaliznychnoho transportu Ukrainy Publ., 2004. 43 p.
8. Korzhenevych I.P., Barash Yu.S., Charkina T.Yu. Pryntsypy prohnoznoi otsinky vytrat na likvidatsiiu naslidkiv vid shkidlyvoho vplyvu na suspilstvo ta dovyklytia avtomobilnoho ta zaliznychnoho transportu [Principles of predictive cost estimates to eliminate the consequences of the harmful effect on society and the environment of road and rail transport]. *Problemy ekonomiky transportu* [Problems of Transport Economics], 2012, issue 3, pp. 102-109.
9. Momot A.V. Metodichnyi pidkhid do vyznachennia efektyvnosti kursuvannia shvydkisnykh ta vysokoshvydkisnykh poizdiv [Methodological approach to the definition of plying efficiency of speed and high-speed trains]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University*, 2013, no. 6 (48), pp. 45-62.
10. Momot A.V. Metodichnyi pidkhid do vyznachennia ratsionalnykh shvydkosti rukhu pasazhyrskykh poizdiv ta ratsionalnykh zon yikh kursuvannia [Methodological approach to the definition of rational speeds of passenger trains motion and the rational areas of their plying]. *Problemy ekonomiky transportu* [Problems of Transport Economics], 2013, issue 5, pp. 80-89.
11. *Predvaritelnoye tekhniko-ekonomicheskoye obosnovaniye proyekta vysokoskorostnykh zheleznykh dorog v Ukraine* [Preliminary technical and economic justification of project of high speed railways in Ukraine]. Kyiv, «SYSTRA» Publ., 2002. 213 p.
12. Barash Yu.S., Charkina T.Yu., Meliantsova Yu.P., Karas O.O. Pryntsypy vyznachennia efektyvnosti kursuvannia prymyskykh pasazhyrskykh poizdiv na zadanomu napriamku rukhu [Principles for determining the plying effectiveness of suburban passenger trains on a given direction of motion]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2012, issue 41, pp. 234-248.
13. *Pro shkvalennia Transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2020 roku: rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy* [On approval of the Transport Strategy of Ukraine to 2020: Ordinance of the Cabinet of Ministers of Ukraine]. Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80> (Accessed 28 November 2013).
14. *Rozrobka kontseptsii vprovadzheniia shvydkisnoho ta vysokoshvydkisnoho rukhu pasazhyrskykh poizdiv na zaliznytsiakh Ukrainy v 2005-2015 rokakh* [Development of the implementation concept of speed and high-speed passenger train motion on the railways of Ukraine in 2005-2015 years]. Dnipropetrovsk, Dnipropetr. nats. un-t. zaliz. transp. Publ., 2004. 170 p.
15. Charkina T.Yu. Usovershenstvovaniye printsipov upravleniya konkurentosposobnostyu passazhirskikh perevozok [Improvement of management principles of passenger transportation competitiveness]. *Sovremennyi nauchnyy vestnik. Seriya «Ekonomicheskiye nauki» – Modern Scientific Bulletin. Series “Economic Sciences”*, 2012, no.16 (128), pp. 97-108.
16. Charkina T.Yu. Doslidzhennia vplyvu zahalnoho terminu poizdki pasazhyra na dokhody transportnykh pidpriemstv [Investigation of the influence of the general trip term of a passenger on transportation enterprise income]. *Visnyk ekonomiky, transportu i promyslovosti* [Bulletin of Economics, Transport and Industry], 2012, issue 39, pp. 180-183.
17. Charkina T.Yu. *Upravlinnia konkurentospromozhnistiu zaliznychnykh pasazhyrskykh perevezen na rynku transportnykh posluh*. Avtoreferat Diss. [Managing of competitiveness of rail passenger transportations in the market of transport services. Author's abstract.]. Kharkiv, 2013. 22 p.
18. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. Available at: <http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/guidelines.pdf> (Accessed 28 November 2013).
19. Rail Infrastructure Charging Practice over Europe. Available at: <http://www.cesifo-group.de/ifoHome/facts/DICE/Infrastructure/Transportation/Railways/rail-infr-char-prac-2010.html> (Accessed 28 November 2013).

Стаття рекомендована до публікації д.е.н., проф. О. В. Каховською (Україна); д.е.н., проф. О. М. Гненним (Україна)

Надійшла до редколегії 28.11.2013

Прийнята до друку 21.01.2014

UDC 005.7

A. GOLOVKOVA^{1*}

^{1*}Business Transformation Services, University Dauphine, Paris, France, SAP, tel. +33 69 52 53 299,
e-mail golovkovanna@gmail.com

STRATEGIC IMPACT OF MOBILITY ON ORGANIZATIONS

Purpose. The current rapid social and economic developments show mobility as the most important factor of economic growth, social and cultural progress. Mobile technology has undergone a sea change over the past ten years. The evolution of mobility is about creating better ways to change the world. It will increasingly shape our lives and thinking in ways we cannot fully anticipate. Mobile revolution is a global reality which creates new opportunities and challenges for all companies in the world. **Methodology.** Proposed methodological approach is based on a comprehensive assessment of the strategic impact of mobility on the organization as a major tool to improve competitiveness and efficiency of the company. During the research have been used both qualitative and quantitative methods. As a result, the article provides bridges between the field of mobility, organization science, information systems, and certain aspects of philosophy. **Findings.** This research provides a glimpse into the fast-evolving world of mobile technology and maybe even faster evolving world of organizations. The research is designed to understand the strategic impact of mobility on organizations, and evaluate the benefits of integration of these new technologies into the company. The research comprised of an extensive literature review, observation of existing practices, and semi-structured interviews geared toward understanding the strategic impact of mobility on organization and its employees. **Originality.** The research findings suggest three main strategic implications of mobility: improve working process; increase internal communication and knowledge sharing; and enhance sales and marketing effectiveness. **Practical value.** The use of mobile technology and its impact on organizational change and strategy, stability and development of competitive advantage allow the company to ensure the effectiveness of its business. Mobility can dramatically transform the company by finding their feet in almost every sector and it has a profound impact on both customers as well as employees. Mobility solutions are growing across business portfolios of company and driving by the need to increase productivity. They improve decision making, with increased near real-time access through mobile channels that help to improve internal employee interaction, customer collaboration, network building and information sharing.

Keyword: mobility; mobile technology; mobile applications; mobile devices; strategic impact organizational value; intangible benefit; enterprise mobility; constant connectivity

Introduction

Game-changing mobile technology is a key for modern computer-based information systems that can revolutionize business in the future. This status quo is not surprising. Mobility is all around us. It has penetrated into every aspect of our work and life. More and more companies implement and incorporate the latest technology into their operations to enhance or balance their business demands and opportunities, and to increase their productivity and profitability.

Mobility is gaining importance and popularity in organizations (Andersen et al., 2003). It is changing the way businesses operate and people work, and how information systems support business processes, decision-making and competitive advantage. They not only have become an expected component of the information technology

infrastructure, but also have begun playing a key role in virtualizing and accelerating the business and thus transforming the entire enterprise and its ecosystem.

Bellotti and Bly (1996) indicate that mobility is very important for communication and for use of common resources. It facilitates awareness and informal cooperation, and creates new looks, abilities and knowledge. Mobility is highlighted as one of the key means of stabilizing and keeping up the company activity.

The strategic importance of mobility cannot be underestimated. Mobile technology becomes a fundamental player in all levels of the organization. This fast development of technologies can radically change the capabilities of information systems and opening new possibilities for business. Therefore, we believe that this new phenomenon needs to be better understood and analyzed.

Purpose

New technology is a critical resource for creating organizational value. It has the potential to dramatically change the nature of products, processes, companies, industries, and even competition itself. Therefore, we can sight that these technologies serve as powerful strategic marketing tools for organizations.

Organizations must often consider both the costs and benefits of implementing new technology in the workplace. Costs and benefits can be either tangible or intangible. The tangible benefits are those benefits that can be measured and quantified in financial terms, such as cost savings (Mukhopadhyay et al., 1995), productivity (Hitt and Brynjolfsson, 1996), market share (Banker and Kauffman, 1988; Barua et al., 1995), and profitability (Jarvenpaa and Ives, 1990; Brown et al., 1995). While the intangible benefits on business processes and relationships include better customer satisfaction that are not so easily measured (Quinn and Baily, 1994; Anderson et al., 2003). The article focuses on studying intangible benefits of mobility to illustrate their strategic impact on the organization.

The world has entered a new age defined by enterprise mobility and constant connectivity. To accelerate business processes and increase productivity, it is necessary to mobilize the enterprise – enabling the employees and customers to transact business at any time, from anywhere, on any device. To obtain the greatest business benefits from this technology, the organization should use a more individualized approach that enables workers to achieve the optimal connectivity state.

As has been previously reported, mobility is one of the most important market and technological trend within information and communication technology. It changes and improves many aspects of economy, lifestyle and culture. This technology is transforming how companies “do business” and how they interact with employees, customers, and suppliers.

Today, almost every company uses at least one mobile application or device, which means they increase organizational expectations for connectivity to work “anywhere, anytime”. And that’s why it is hard to imagine life without the convenience and efficiencies of mobile technologies.

However, mobility also changes the traditional spatial and temporal boundaries between work and

non-work, resulting in more permeable boundaries in which work is completed during personal time and non-work is conducted on-line during working hours. Added to this, some argue that mobility has become an expression of human desire to expand power and control over our circumstances and to mold the world around us to suit our individual and collective needs. Thus, it is not so much the mobile capabilities of technology that are changing the way we work, but the capacity for ubiquitous and constant connectivity.

Mobility is exploding for one simple and powerful reason → it makes our personal and professional lives more convenient and efficient. Equipped with powerful mobile devices and compelling applications, mobile workers are enabling a wave of disruptive innovation that’s transforming how business is run. Employees are purchasing mobile devices and requesting access to enterprise-information systems. Consumers, meanwhile, expect 24-hour customer experiences and detailed product information at their fingertips.

From an organizational perspective, mobility enables users to engage with customers, suppliers and colleagues at any time and from anywhere. This technology thus appears to offer “organizational nirvana” where executives can manage their work to make better use of downtime and increase their availability, with the promise of increased value and productivity for the company. For IT leaders, as SAP, the challenges are not only to respond to the growth in new technology capabilities, but also user demands for organizational support to enable them to “use technology on a more continual, natural, dynamic and often invisible basis.”

Methodology

The methodology used in the article begins with the study from various books and papers around mobility, connectivity and design of information system. As the aim of this research is to study the strategic and organizational impact of mobility, a qualitative approach was regarded as most appropriate, since the main research problem involves lots of data that cannot be quantified. Thus, in the article has been used qualitative investigation techniques including literature review, observation of existing practices, and semi-structured interviews.

Findings

The global objective for mobility is to maximize the overall benefits to the organization. During this research has been identified five main objectives – maximize customer service, maximize company image, maximize employee satisfaction, maximize efficiency, and maximize effectiveness. According to the research, these objectives are the fundamental reasons for implementing and adapting mobility in organization (Fig. 1).

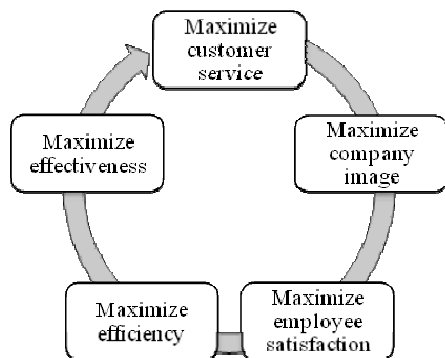


Fig. 1. Main Objectives

The first main objective identified is to maximize customer service, which is one of the key strategic focuses of the organization. Equipped with mobile devices, employees are able to have access to product information and the Internet whenever the need arises. They can verify or search for information easily at the customers' sites and answer questions on the spot, and also learn their comments, complaints and suggestions regarding the company's products. Thus, they can be more responsive to customers in responding to their questions, handling their requests, and following up with customers. These allow them to provide better customer service. This finding is in line with the literature discussed in the theoretical part where improved customer service quality is found to be one of the main intangible benefits brought about by technologies. Also, Jarvenpaa et al. (2003) discuss this benefit. He argues that mobility can provide users with more "freedom" and new methods to interact with customers that allow them to serve customers better.

The second main objective is to *enhance company image*. The use of new and innovative IT is important as IT can play a role in "producing new knowledge dissemination platform." Providing mobility can help the organization to be more con-

fident and knowledgeable, and to provide the most innovative, flexible and powerful products/services for its customers. In addition, using of mobile technology allow employees to be more well-informed about the products that can enhance their professional image, which in turn improves the image of the company. That is also very important.

According to our research, *the maximization of employees' satisfaction* is one of the key drivers of the company's decision to apply this new technology. Mobility allows employees to utilize their time better (e.g., reduce "slack" or "dead" time), and to communicate and cooperate with their colleagues more easily and readily. Thus, employee's satisfaction, performance and productivity can significantly increase. It was surprisingly for us, because in the research literature has not been cited such benefits of mobility.

Other mains reasons for deploying mobility are the *maximization of efficiency and effectiveness* of organization. With the help of mobile devices, employees can be more well-informed about the company's products, which allow them to do their job better. For example, utilizing the multi-media features provided by SAP, employees can improve the quality and effectiveness of company's products demonstrations for customers. Also, efficiency improvements can be obtained by carrying out their job-related tasks in a timelier manner. As Sarker and Wells (2003) argue, "mobility means efficiency". With this new technology, employees are able to "fill" their time, meaning that they can carry out their daily tasks between appointments and scheduled activities, and during any "slack" or "dead time." Thereby, their work efficiency will significantly improved. Moreover, mobility can be a great tool to help employees carry out their job quicker and better, which is in line with the findings reported by Bakos and Treacy (1986).

Thus, mobility allow companies to "do business" in ways that are radically different from what's done today. Mobilization affects people in a number of ways. It affects the way people work and interact with each other, and also on their performance and productivity. Mobility allows people to work actually anywhere and anytime with access to the same resources that they have in the office. That means employees can have more flexible timetable and perform their work as needed, on demand. In such an environment, employees can be more easily rewarded based on pro-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ductivity, and thus management's focus will move from monitoring attendance to evaluating results – from activity to productivity. This, we think, is the most important points.

With this technology, employees become more independent of physical location, this allow them to interact with their colleagues and customers anywhere and anytime.

Mobility allows employees to maximize the effectiveness of personal and corporate information management, to speed up the communication processes, and to perfect decision making when for working in meetings were examples given by interviewees to illustrate the ways in which the mobility enhanced their job performance.

To summarize, the main objectives identified during the research show that mobility can be used as a way to better achieve company strategies. In our future research, we would like to support this assertion by examples from companies in different industries.

Originality and practical value

As discussed previously, during the research we found five main objectives that contribute to the general objective of maximizing the company's benefits of using mobility. The key drivers for organization to adopt mobility are to *"increase efficiency"* and *"provide better customer satisfaction"*, which are two main measurements of competitive advantages (Sethi and King, 1994).

We want to demonstrate the strategic impacts of mobility on the organization using relationships between these main objectives. Thus, we identified three main strategic implications of mobility that can help to reinforce and achieve company strategy (Fig. 2).

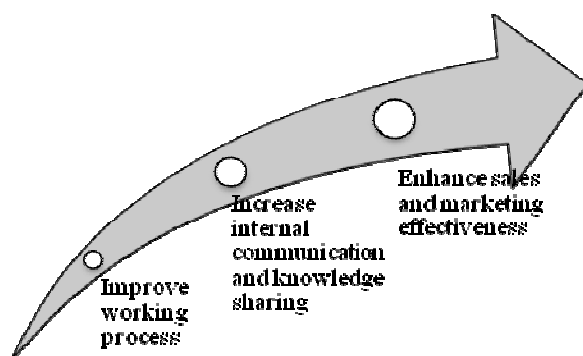


Fig. 2. Main Strategic Implications of Mobility

(1) Improve working process

According to Kohli and Devara (2004), information technologies are generally deployed to help improve and rationalize business processes. Mobile technology and mobility are not exclusion. As well, with features such as wireless connection and mobility of devices, mobility provides "real-time availability of information" and "Internet access at anytime, anywhere". Today, for companies all over the world the information is a key source of competitive advantage, and in this way these features are particularly important when "information is transforming the nature of competition" (Porter and Millar, 1985).

Based on our research, we suggest that mobility can help the organization to improve the working process by enabling activities to be carried out in real-time (such as real time response to customers' queries, and ability to submit customers' product requests on the spot), and to streamline the process by removing redundant procedures (such as by inputting and updating data/information at source, and enabling electronic recording of customer feedback while interacting with customers).

(2) Increase internal communication and knowledge sharing

One of the purposes of using mobile strategy is to facilitate communication. Mobility can help to strengthen interpersonal relationships and increase flexibility in coordination (Jarvenpaa et al., 2003). It provides a new medium and channel for communication and knowledge sharing. In our case, the use of mobility software solutions has made it easier for employees to transfer or share information with one another and enabled them to communicate and collaborate better. As mentioned above, satisfying employee demand has been one of the key drivers for the adoption of mobility.

(3) Enhance sales and marketing effectiveness

Schlosser (2002) discusses in his research the innovative ways of using technologies. And he approves that these technologies are always shaped by individual needs as users adapted their message contexts, social etiquette, self-impressions, and ways of doing business. The use of mobility can help to shape the company's image with "prestige" and to be "leading edge" (Schlosser, 2002).

Hence, mobility can be used as a sales and marketing tool to enhance company image and to give customers the impression that the company is at the "cutting edge".

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

This article provides bridges between the field of mobility, organization science, information systems, and certain aspects of philosophy.

Throughout our research more and more we are coming to the conclusion that mobility is an exciting prospect to consider. The spread of this technology will revolutionize the way companies "do business". To understand the big picture and all the possibilities, it's worth imagining this future state in some detail, and considering the individual impacts that mobility will likely have.

Mobility can transform organization by finding their feet in almost every sector and it has a profound impact on both customers as well as employees. This technology is growing across business portfolios of company and driving by the need to increase productivity. It improves decision making, with increased near real-time access through mobile channels that help to improve internal employee interaction, customer collaboration, network building and information sharing.

Conclusions

Realizing the importance of enterprise mobility as a strategic priority, any organization should certainly empower its business processes with the enterprise-wide deployment of mobile applications. As predicts SAP Business Analyst: *"Mobility Solutions have the potential to fundamentally transform organization, its business chain and markets. We think that only when location constraints will be obliterated and when mobility will become the key endpoint, company will be able to clarify their vision for the future"*.

"Companies that embrace mobility solutions will see improvements in productivity and operational efficiency that were unimaginable only a few years ago. Today, mobility can't be seen as a luxury anymore, it's a necessity", Head of Business Transformation Services, SAP).

Many companies all over the world are already using mobile applications and devices to deliver increased customer satisfaction and performance; for these companies the future is already here.

"Mobility creates value by allowing mobile access to contextually-relevant information so front-line workers can make informed decisions in their daily interaction with customers, partners and suppliers", Head of Business Transformation Services, SAP).

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Andersen, K. V. Mobile Organizing Using Information Technology (MOBIT) / K. V. Andersen, A. Fogeigren-Pedersen, U. Varshney // Information Communication & Society. – 2003. – № 6 (2). – P. 211–228.
2. Anderson, M. C. The new productivity paradox / M. C. Anderson, R. D. Banker, S. Ravindran // Communications of the ACM. – 2003. – № 46 (3). – P. 91–94.
3. Bakos, Y. Information technology and corporate strategy: a research perspective / Y. Bakos, M. E. Treacy // MIS Quarterly. – 1986. – № 10 (2). – P. 107–119.
4. Banker, R. D. Strategic contributions of information technology: an empirical study of ATM networks / R. D. Banker, R. J. Kauffman // Proc. of the 9th International Conf. on Information Systems. – Minneapolis, 1998. – P. 141–150.
5. Barua, A. Information technologies and business value: an analytic and empirical investigation / A. Barua, C. H. Kriebel, T. Mukhopadhyay // Information Systems Research. – 1995. – № 6 (1). – P. 3–23.
6. Bellotti, V. Walking Away from the Desktop Computer: Distributed Collaboration and Mobility in a Product Design Team / V. Bellotti, S. Bly // Proc. of the 1996 ACM Conf. on CSCW. – New York : ACM Press, 1996. – P. 209–218.
7. Brown, R. T. Strategic information system and financial performance / R. T. Brown, A. W. Gatian, J. O. Hicks // J. of Information Systems. – 1995. – № 11 (4). – P. 215–248.
8. Hitt, L. M. Productivity, business profitability, and consumer surplus: three different measures of information technology value / L. M. Hitt, E. Brynjolfsson // MIS Quarterly. – 1996. – № 20 (2). – P. 121–141.
9. Jarvenpaa, S. L. Information technology and corporate strategy: a view from the top / S. L. Jarvenpaa, B. Ives // Information Systems Research. – 1990. – № 1 (4). – P. 351–376.
10. Kohli, R. Realizing the business value of information technology investment: an organizational process / R. Kohli, S. Devaraj // MIS Quarterly Executive. – 2004. – № 3 (1). – P. 53–68.
11. Mobile commerce at crossroads / S. L. Jarvenpaa, K. R. Lang, Y. Takeda, V. K. Tuunainen // Communications of the ACM. – 2003. – № 46 (12). – P. 41–44.
12. Mukhopadhyay, T. Business value of information technology: a study of electronic data interchange / T. Mukhopadhyay, S. Kekre, S. Kalathur // MIS Quarterly. – 1995. – № 19 (2). – P. 137–156.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

13. Porter, M. E. How information gives you competitive advantage / M. E. Porter, V. E. Millar // Harvard Business Review. – 1985. – P. 149–160.
14. Quinn, J. B. Information technology: increasing productivity in services / J. B. Quinn, M. N. Baily // Academy of Management Executives. – 1994. – № 8 (3). – P. 28–51.
15. Sarker, S. Understanding mobile handheld device use and adoption / S. Sarker, J. D. Wells // Communications of the ACM. – 2003. – № 46 (12). – P. 35–40.
16. Schlosser, F. K. So, how do people really use their handheld devices? An interactive study of wireless technology use / F. K. Schlosser // J. of Organizational Behavior. – 2002. – № 23. – P. 401–423.
17. Sethi, V. Development of measures to access the extent to which an information technology application provides competitive advantage / V. Sethi, W. R. King // Management Science. – 1994. – № 40 (12). – P. 1601–1627.

А. ГОЛОВКОВА^{1*}

^{1*}Сервис Бизнес Трансформации, Университет Дофин, Париж, Франция, SAP, тел. +33 69 52 53 299,
эл. почта golovkovanna@gmail.com

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ МОБИЛЬНОСТИ НА ОРГАНИЗАЦИИ

Цель. Современное мировое экономическое развитие стран и развитие общества свидетельствуют о мобильности как наиболее важном факторе экономического роста культурного и общественного прогресса. За последние десять лет мобильные технологии подверглись кардинальным изменениям. Развитие мобильности является толчком к созданию более эффективных способов изменения мира. Данная технология будет все более и более формировать нашу жизнь и мышление таким образом, который в настоящее время мы не можем в полной мере предвидеть. Мобильная революция является глобальной реальностью, которая создает новые возможности и проблемы для компаний во всём мире. **Методика.** Предложенный методический подход основывается на комплексной оценке стратегического влияния мобильности на организацию как основного инструмента повышения конкурентоспособности и эффективности деятельности. В ходе анализа были использованы качественные и количественные методы оценки. Как результат, данная статья включает анализ взаимосвязи между сферой мобильности, теорией организации и некоторыми аспектами философии. **Результаты.** Представленное исследование дает возможность заглянуть в быстро развивающийся мир мобильных технологий и, возможно, даже в еще более быстрый мир развития организаций. Исследовательские разработки позволяют понять стратегическое влияние мобильности на организацию и оценить преимущества интеграции новых технологий в компанию. Исследование включает обширный литературный анализ, наблюдение существующей практики и полуструктурированные интервью, ориентированные на понимание стратегического воздействия мобильности на организацию и её сотрудников. **Научная новизна.** Результаты исследования позволяют нам выделить три основные стратегические импликации мобильности: улучшение рабочего процесса; увеличение внутренней коммуникации и обмена знаниями, а также повышение продаж и маркетинговой эффективности. **Практическая значимость.** Использование мобильных технологий, их влияние на организационные изменения и реализацию стратегии формирования, обеспечения устойчивости и развития конкурентных преимуществ позволяет компании обеспечить эффективность их бизнеса. Мобильность способна кардинально трансформировать каждый сектор компании и иметь значительное влияние как на структуру организации, так и на ее сотрудников. Данная инновационная технология усовершенствует процесс принятия решений, делая его доступным в реальном времени через мобильные каналы, которые помогают улучшить внутренние взаимодействия между сотрудниками, сотрудничество с клиентами, создание сетей и обмен информацией.

Ключевые слова: мобильность; мобильные технологии; мобильные приложения; мобильные устройства; стратегическое влияние; организационные ценности; нематериальные выгоды; мобильность предприятия; непрерывная связь

Г. ГОЛОВКОВА^{1*}

^{1*}Сервіс Бізнес Трансформації, Університет Дофін, Париж, Франція, SAP, тел. +33 69 52 53 299,
ел. пошта golovkovanna@gmail.com

СТРАТЕГІЧНИЙ ВПЛИВ МОБІЛЬНОСТІ НА ОРГАНІЗАЦІЇ

Мета. Сучасний світовий економічний розвиток країн та розвиток суспільства свідчать про мобільність як найважливіший фактор економічного зростання, культурного й суспільного прогресу. За останні десять років мобільні технології зазнали кардинальних змін. Розвиток мобільності є поштовхом до створення більш ефективних способів змінення світу. Зазначена технологія буде все більше й більше формувати наше життя та мислення таким чином, який у даний час ми не можемо повною мірою передбачити. Мобільна революція є глобальною реальністю, яка створює нові можливості й проблеми для компаній у всьому світі.

Методика. Запропонований методичний підхід ґрунтується на комплексній оцінці стратегічного впливу мобільності на організацію як основного інструменту підвищення конкурентоспроможності й ефективності діяльності підприємства. У ході аналізу були використані якісні та кількісні методи оцінювання. Як результат, дана стаття включає аналіз взаємозв'язку між сферою мобільності, теорією організації й деякими аспектами філософії. **Результати.** Представлене дослідження дає можливість заглянути у світ мобільних технологій, який швидко розвивається, і, можливо, навіть у ще більш швидкий світ розвитку організацій. Дослідницькі розробки дозволяють зрозуміти стратегічний вплив мобільності на організацію та оцінити переваги інтеграції нових технологій у компанію. Дослідження включає загальний літературний аналіз, спостереження існуючої практики й напівструктуровані інтерв'ю, орієнтовані на зрозуміння стратегічного впливу мобільності на організацію та її робітників. **Наукова новизна.** Результати дослідження дозволяють нам виділити три основні стратегічні імплікації мобільності: поліпшення робочого процесу, збільшення внутрішніх комунікацій та обміну знаннями, а також підвищення продаж і маркетингової ефективності. **Практична значимість.** Використання мобільних технологій, а також їх вплив на організаційні зміни й реалізацію стратегії формування, забезпечення стійкості та розвитку конкурентних переваг, дозволяє компанії забезпечити ефективність їх бізнесу. Мобільність здатна кардинально трансформувати кожен сектор компанії й мати величезний вплив як на структуру організації, так і на її співробітників. Дана інноваційна технологія покращить процес прийняття рішень, роблячи його доступним у реальному часі через мобільні канали, які допомагають поліпшити внутрішню взаємодію між співробітниками, співпрацю з клієнтами, створення мереж й обмін інформацією.

Ключові слова: мобільність; мобільні технології; мобільні додатки; мобільні пристрої; стратегічний вплив; організаційні цінності; нематеріальні вигоди; мобільність підприємства; безперервний зв'язок

REFERENCES

1. Andersen K.V., Fogeigren-Pedersen A., Varshney U. Mobile Organizing Using Information Technology (MOBIT). *Information Communication & Society*, 2003, no. 6 (2), pp. 211-228.
2. Anderson M.C., Banker R.D., Ravindran S. The new productivity paradox. *Communications of the ACM*, 2003, no. 46 (3), pp. 91-94.
3. Bakos Y., Treacy M.E. Information technology and corporate strategy: a research perspective. *MIS Quarterly*, 1986, no. 10 (2), pp. 107-119.
4. Banker R.D., Kauffman R.J. Strategic contributions of information technology: an empirical study of ATM networks. Proc. of the 9th Int. Conf. on Information Systems, Minneapolis, 1998, pp. 141-150.
5. Barua A., Kriebel C.H., Mukhopadhyay T. Information technologies and business value: an analytic and empirical investigation. *Information Systems Research*, 1995, no. 6 (1), pp. 3-23.
6. Bellotti V., Bly S. Walking Away from the Desktop Computer: Distributed Collaboration and Mobility in a Product Design Team. Proc. of the 1996 ACM Conf. on CSCW. New York, 1996. pp. 209-218.
7. Brown R.T., Gatian A.W., Hicks J.O. Strategic information system and financial performance. *Journal of Information Systems*, 1995, no. 11 (4), pp. 215-248.
8. Hitt L.M., Brynjolfsson E. Productivity, business profitability, and consumer surplus: three different measures of information technology value. *MIS Quarterly*, 1996, no. 20 (2), pp. 121-141.
9. Jarvenpaa S.L., Ives B. Information technology and corporate strategy: a view from the top. *Information Systems Research*, 1990, no. 1 (4), pp. 351-376.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

10. Kohli R., Devaraj S. Realizing the business value of information technology investment: an organizational process. *MIS Quarterly Executive*, 2004, no. 3 (1), pp. 53-68.
11. Jarvenpaa S.L., Lang K.R., Takeda Y., Tuunainen V.K. Mobile commerce at crossroads. *Communications of the ACM*, 2003, no. 46 (12), pp. 41-44.
12. Mukhopadhyay T., Kekre S., Kalathur S. Business value of information technology: a study of electronic data interchange. *MIS Quarterly*, 1995, no. 19 (2), pp. 137-156.
13. Porter M.E., Millar V.E. How information gives you competitive advantage. *Harvard Business Review*, 1985, pp. 149-160.
14. Quinn J.B., Baily M.N. Information technology: increasing productivity in services. *Academy of Management Executives*, 1994, no. 8 (3), pp. 28-51.
15. Sarker S., Wells J.D. Understanding mobile handheld device use and adoption. *Communications of the ACM*, 2003, no. 46 (12), pp. 35-40.
16. Schlosser F.K. So, how do people really use their handheld devices? An interactive study of wireless technology use. *Journal of Organizational Behavior*, 2002, no. 23, pp. 401-423.
17. Sethi V., King W.R. Development of measures to access the extent to which an information technology application provides competitive advantage. *Management Science*, 1994, no. 40 (12), pp. 1601-1627.

D. Sc. (Economics), Prof. A. A. Tkach; D. Sc. (Economics), Prof. P. I. Koreniuk recommended this article to be published

Received: Oct. 04, 2013

Accepted: Jan. 09, 2014

УДК 338.24.021.8-049.5

І. І. РЕКУН^{1*}

^{1*}Каф. «Фінанси та економічна безпека», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта rekun_i@mail.ru

ПРОБЛЕМА ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В СУЧАСНИХ МАКРО- ТА МІКРОКОНЦЕПЦІЯХ

Мета. Важливими складовими безпеки в цілому є економічна безпека й забезпечення відповідних національних інтересів держави. Все це тісно пов'язано з економічною ефективністю функціонування господарських об'єктів, з економічною незалежністю, стабільністю та безпекою суспільства. Окрім того, економічна безпека є складовою національної безпеки, її фундаментом і матеріальною основою. Проблема забезпечення економічної безпеки в сучасних умовах на мікро- та макрорівнях потребує визначення основних напрямів її формування. **Методика.** Для досягнення поставленої мети обґрунтовано основні напрямки формування механізму забезпечення безпеки економічної системи, зокрема – на макрорівні. **Результати.** Економічна безпека є таким стан функціонування економіки держави, в якому настає порядок рівноваги у визначених організаційно-правових нормах на засадах суспільного життя. Це норми, які створює держава, і засади співіснування, які передаються з покоління в покоління. Проаналізовано сучасний стан забезпечення економічної безпеки на макро- та мікрорівнях. Визначено систему показників, котрі можуть бути використані при оцінці стану системи економічної безпеки. **Наукова новизна.** Сформульовано положення, що стосуються необхідних змін у політиці економічної безпеки держави. Запропоновано систему показників, які можуть бути використані при оцінці стану системи економічної безпеки. **Практична значимість.** Використання запропонованої системи показників стану економічної безпеки дозволить розширити перелік важливих факторів, що впливають на її стан та дають змогу визначити основні напрями її формування.

Ключові слова: економічна безпека; державне регулювання; національна економіка

Вступ

Якість функціонування господарства України залежить від рівня розвитку її макроекономічної та мікроекономічної систем. Механізм забезпечення економічної безпеки України ускладнюється поєднанням внутрішніх (труднощі перехідного періоду), та зовнішніх (протиріччя процесу глобалізації) проблем. Тому питання економічної безпеки є одним із найактуальніших. Виявлення загроз безпеки та обґрунтування шляхів їх нейтралізації представляється загальнометодологічним імперативом розвитку вітчизняних економічних досліджень по всіх значимих напрямках.

З точки зору умов гармонійного розвитку України економічна безпека означає, перш за все, побудову добробуту держави. А це, насамперед, передбачає забезпечення макро- та мікро- рівня економічного розвитку. На початку ХХІ століття людство вже не може сподіватися на рівновагу в економічному розвитку ні на світовому рівні, ні на європейському, ні на рівні держави, ні на рівні окремого громадянина. До цього призвела глобальна фінансова криза, яка

має тенденцію до продовження. Вчені прогнозують, що наслідки цієї кризи людство буде відчувати ще якнайменше 50 років. Про це свідчать ті витрати, які розвинені країни внесли з метою покриття цієї кризи, але вони на сьогодні становлять не більше 1 % від потрібного. Жодна країна світу поки що не здатна фізично до покриття витрат у зв'язку з кризою [6].

Останніми роками з процесами глобалізації проблема економічної безпеки привертає все більшу увагу вітчизняних і зарубіжних дослідників. Про це свідчить зростаюча кількість наукових публікацій, монографій і статей, а також аналіз різноманітних економічних проблем. Значним внеском у розвиток теорії економічної безпеки є праці Л. Абалкіна, О. Ареф'євої, О. Барановського, В. Гейця, С. Афонцева, І. Богданова, Я. Жаліло, М. Єрмошенка, А. Колосова, В. Мунтіяна, Є. Олейникова, В. Панькова, В. Сенчагова, В. Чекмарьова. Окремі питання з економічної безпеки, висвітлювалися у дослідженнях Н. Ващекіна, М. Дзлієва, А. Урсула, А. Судоплатова, Н. Савінської, Ю. Стрельченко, В. Ярочкина та інших авторів.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Мета

Метою цієї статті є висвітлення проблеми економічної безпеки у сучасних макроекономічних концепціях та пошук шляхів формування механізму забезпечення безпеки економічної системи, зокрема на макрорівні.

Методика

Для досягнення поставленої мети обґрунтовано основні напрямки формування механізму забезпечення безпеки економічної системи, зокрема на макрорівні.

Результати

Економічна безпека є такий стан функціонування економіки держави, в якому настає порядок рівноваги у визначених організаційно-правових нормах на засадах суспільного життя. Це норми, які створює держава, засади співіснування, які передаються з покоління в покоління. Проаналізовано сучасний стан забезпечення економічної безпеки на макро та мікро рівнях. Визначено систему показників, які можуть бути використані під час оцінювання стану системи економічної безпеки.

Розвиток суспільства і забезпечення добробуту його членів суттєво залежить від безпеки їх діяльності, від умов, за яких ця безпека здійснюється. Але держава і суспільство не є одним цілим. Держава – це тільки частина суспільства. Тому іноді безпека держави може бути забезпечена, а економічна безпека суспільства забезпечена недостатньо.

Важливою складовою безпеки є економічна безпека, і забезпечення відповідних національних інтересів держави. Все це тісно пов'язано із економічною ефективністю функціонування господарських об'єктів, з економічною незалежністю, стабільністю та безпекою суспільства. Окрім того, економічна безпека є складовою національної безпеки, її фундаментом і матеріальною основою.

Етимологічно термін «безпека» походить від грец. «володіти ситуацією». В іноземній літературі економічну безпеку підприємства прийнято характеризувати поняттям «economic security of enterprise».

Методологічно поняття «економічна безпека» висвітлюється вченими насамперед з поняття «національна безпека». Останнє має фо-

рмалізоване визначення у схваленому Верховною Радою України у червні 2003 р. Законі «Про основи національної безпеки України». Зокрема, у ст. 1 зазначеного Закону національна безпека розглядається як захищеність життєво важливих інтересів людини і громадянина, суспільства і держави, за якої забезпечуються сталий розвиток суспільства, своєчасне виявлення, нейтралізація реальних і потенційних загроз національним інтересам і запобігання їм. Закон також визначає основні сфери національної безпеки: зовнішньополітична, державної безпеки, військова, безпеки державного кордону України, внутрішньополітична, економічна, соціальна, гуманітарна, екологічна, інформаційна. Відштовхуючись від цих міркувань, вчені намагаються дати визначення поняттю «економічна безпека». Хоча й існують у різних авторів суттєві розбіжності у його трактуванні.

Звернення до основних засад економічної науки, яка надає можливість отримати різноманітні визначення економічної безпеки суспільства та держави, методи її забезпечення, дало змогу виокремити на основі плюралізму загальну думку, яка розгортається переважно у площині з двома полюсами.

На першому полюсі погляди, які висвітлюють макроконцептуальні положення економічної безпеки. Насамперед визначається, що економічна безпека держави в умовах нової соціально-економічної дійсності тісно пов'язана з економічною системою, яку називають соціальною, ринковою, економікою (як з точки зору її формування, так і реалізації). Незважаючи на більше, ніж 20 років перетворень у нашій країні, конституційні положення економічного устрою України привертають до себе увагу багатьох економістів. Деякі висновки сходяться до того, що ми вибрали найбільш ефективну модель економічної системи. Незнання її сутності часто є причиною помилкових теоретичних інтерпретацій і непорозумінь в економічній політиці, необґрунтованих оцінок реалій. Така ситуація є доказом того, що сучасна держава недостатньо спроможна до розумного перерозподілу власних природних і виробничих ресурсів, до стимулювання, регулювання та справедливої державної підтримки. Враховуючи таку ситуацію, система забезпечення національної економічної безпеки у вітчизняній національній соціально-економічній дійсності пов'язана із вири-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

шенням правових, економічних та правоохоронних завдань, із захистом економічних інтересів і прав держави, суб'єктів економічної діяльності – підприємств, організацій, фізичних осіб. Тому вкрай необхідною є формування відповідної політики економічної безпеки, що передбачає розробку її концепції, проектування та реалізацію.

Окрім того, в деяких концепціях зазначається, що макроекономічні кризи непередбачувані, але вони плідні, оскільки кожна економічна криза знищує те, що економічно себе вже віджило, і на його наслідках формуються більш прогресивні економічні процеси. Тому проблема економічної безпеки певним чином є надуманою, штучною. Головні вимоги, що висувуються до макроекономічної системи, це вимоги гнучкості, динамічності і адаптивності, здатності долати кризи у короткі терміни. Але як саме забезпечити гнучкість, динамічність і адаптивність, про це вчені не зазначають.

На іншому полюсі думок об'єктивно визнається необхідність економічної безпеки. Але автори спираються здебільшого на абстрактно декларативні визначення економічної безпеки, з яких важко зрозуміти, як вона має бути забезпечена за певних умов. Якщо проаналізувати визначення економічної безпеки більш широко, то економічна безпека як життєве явище має виходити із певної методології. Будь-який процес в природі, суспільному житті може розглядатися як процес управління і самоуправління. Якщо мікроекономічні системи розглядати з точки зору теорії управління, то в ній вводиться поняття повної функції управління. Вона включає в себе виявлення проблем, що впливають на психологію управлінця, цілепокладання щодо цієї проблеми, формування концепції управління, яка дозволяє досягти поставлених цілей, впровадження концепції у життя, контроль за процесом управління, пошук ресурсів для досягнення поставлених цілей.

Такий підхід є загальним, універсальним і застосовується до технічних систем, соціальних систем, і, зокрема, до економічних систем.

Забезпечення економічної безпеки в загальному вигляді потребує якісної економічної науки, відтворення управлінського корпусу – чиновників бізнесу, менеджерів, чиновників на державній основі з метою здійснення управління економікою на наукових засадах. Американсь-

кий вчений Джон Гелбрейт один із небагатьох передбачив кризу 2008 року, хоча він визнавав, що жодну кризу передбачити неможливо. У своїй праці вчений проаналізував стан економічної науки, назвавши її «економікою невинного обману». Автор вважає, що коли йдеться про свободу вибору на «вільному ринку», то споживач виявляється таким же об'єктом маніпуляцій за допомогою реклами і маркетингу, що створюють штучний попит, як і виборець на політичних виборах. Споживачем управляють рекламні бюджети, а попит на ринку контролює менеджмент. Але будь-які спроби поставити під сумнів свободу вибору споживача викликає гнівний осуд офіційного економічного співтовариства, оскільки руйнує сакральну формулу «попит породжує пропозицію», яка стверджує перевагу споживача в суспільстві споживання. З приводу розумного споживання суспільством у Гелбрейта теж є великі сумніви [2].

Поняття «економічна безпека» з практичної точки зору включає у себе те, що відноситься до сучасної економіки – рентабельність виробничих систем, забезпечення стійкості, рентабельності протягом певного часу. Зважаючи на те, що, основою господарювання країни є природне середовище, відповідно деградація природного середовища послаблює економічну безпеку. Донедавна економічна наука не враховувала наслідків антропогенного впливу на стан навколишнього середовища і при визначенні економічної ефективності нових технологій, процесів, устаткування, виробництв дотримувались концепції максимального прибутку за мінімальних витрат [13].

Я. Загоруй зазначає, що зловживання економічним принципом природокористування спричинило хімічне, фізичне, радіоактивне забруднення навколишнього середовища, що надзвичайно негативно вплинуло на людей, на рослини і тваринний світ. Зростає кількість викидів забруднюючих речовин в навколишнє середовище і відходів. Тільки на підприємствах України обсяг відходів, під якими зайнято близько 200 тис. га родючих земель, перевищує 10 млрд т, збільшуючись щорічно приблизно на 1 млрд т. В процесі суспільного виробництва щорічно залучається до 1,5 млрд т природних сировинних ресурсів. Виснажуються невідновлювальні сировинні ресурси, збільшується техногенне навантаження і безконтрольна хіміза-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ція земель, посилюються ерозійні процеси, що призводить до прискореної деградації ґрунтів, зниження їх родючості [3]. Окрім того, на економічну безпеку впливає стан здоров'я, освіта, здатність до розвитку населення.

Економічна переоцінка цінностей, як специфічна форма теоретико-практичного ставлення до дійсності, психологічно травмують людину, спотворюючи її внутрішній світ, створюють несприятливі умови формування і реалізації духовного потенціалу громадян. За таких умов створити ефективну економіку проблематично [12].

Серед міжнародних підходів класичним прикладом визначення певних факторів економічної безпеки може слугувати Глобальний індекс конкурентоспроможності, який розраховується Всесвітнім Економічним Форумом (The Global Competitiveness Report, World Economic Forum). Зокрема, в ньому зазначено, що у 2012 році після тривалої економічної кризи Україна знаходиться на 73-му місці індексу глобальної конкурентоспроможності. У переліку проблем, що не дозволяють ефективно розвиватися Україні, такі:

1. Розвиток інституцій – 132-ге місце з 144 країн, практично усі складові показники для державного сектора (права власності, нецільове використання бюджетних коштів, довіра громадськості до політиків, хабарі та неформальні платежі, незалежність судової системи, фаворитизм у рішеннях чиновників, тягар адміністративного регулювання, ефективність правової системи у врегулюванні суперечок, прозорість політики держорганів, надійність роботи правоохоронних органів та інші) і для приватного сектора (корпоративна етика, рівень стандартів аудиту та звітності, ефективність корпоративного керівництва, захист інтересів міноритарних акціонерів, надійність захисту інвесторів) наближені до вказаного середнього.

2. У розвитку інфраструктури – 65-те місце; найгірший показник: стан доріг – 137-ме місце.

3. У розвитку системи охорони здоров'я і початкової освіти (62-ге місце) найгірші показники: розповсюдження ВІЛ – 109-те, тривалість життя – 94-те, захворювання туберкульозом – 92-ге, охоплення початковою освітою – 90-те місце.

4. У розвитку вищої освіти і професійного навчання (47-ме місце) найгірші показники: якість шкіл бізнесу – 117-те місце, підвищення

кваліфікації персоналу – 106-те, доступність дослідницьких послуг і навчання 98-ме місце.

5. У розвитку ефективності ринку товарів (117-те місце) основною складовою є конкурентність (інтенсивність конкуренції на внутрішньому ринку, ступінь монополізації ринку, ефективність антимонопольної політики, вплив оподаткування, кількість процедур та час, необхідний для відкриття бізнесу, торговельні бар'єри, митні тарифи тощо).

6. У розвитку ефективності ринку праці, що має в цілому непоганий показник 62-ге місце, викликає занепокоєння 131-ше місце по витоку кваліфікованих кадрів, і таке ж місце для показника – «Ставка на професійне управління», та 111-те місце за показником «Співпраця у відносинах працівник-працедавець».

7. У розвитку фінансового ринку (114-те місце) особливе занепокоєння викликає 142-ге місце в показнику «Надійність банків». Доступність фінансових послуг – 113-те місце, отримання фінансування на внутрішньому фондовому ринку – 129-те, доступність венчурного капіталу – 106-те, регулювання фондового ринку – 124-те. Розвиток технологічного рівня (81-ше місце) включає технологічну адаптованість – 93-ге місце, а також прямі іноземні інвестиції та передача технологій – 109-те місце. Рівень розвитку бізнес-процесів (91-е місце) займає місце нижче за середнє внаслідок низьких показників: рівень розвитку бізнес-кластерів – 127-ме, природа конкурентної переваги – 109-те, готовність делегувати повноваження – 118-те місце [8].

Таким чином, поняття економічної безпеки в широкому сенсі передбачає включення в комплекс критеріїв трьох груп.

Перша група критеріїв характеризує біосферно-екологічні аспекти економічної безпеки. Це отримання достовірної інформації про стан навколишнього середовища, виконання вимог законодавства і нормативів у сфері охорони навколишнього середовища. До об'єктів виробничої біосферно-екологічної безпеки належать:

- природні ресурси;
- джерела викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря – стаціонарні і пересувні;
- джерела утворення відходів виробництва [9, с.22].

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Стан біосферно-екологічної безпеки України у сфері поводження з відходами виробництва і споживання регламентується:

1. Конституцією України, прийнятій на п'ятій сесії Верховної Ради України 28 червня 1996 р., в якій чітко зазначено, що поряд із захистом суверенітету і територіальної цілісності України, найважливішими функціями держави є забезпечення її економічної та інформаційної безпеки (ст. 17) [4].

2. Законом України від 19 червня 2003 р. «Про основи національної безпеки України», в якому визначено такі поняття, як «національна безпека», «національні інтереси», «загрози національній безпеці»; окреслено правову основу національної безпеки, об'єкти національної безпеки, серед яких і економічна безпека [10].

3. Стратегія національної безпеки України (12.02.2007р.), в якій визначено принципи, пріоритетні цілі, завдання та механізми забезпечення життєво важливих інтересів особи, суспільства і держави від зовнішніх і внутрішніх загроз; конкретизовано засади політики держави у сфері національної безпеки, в тому числі щодо забезпечення прийнятого рівня економічної безпеки [11].

4. Наказ Міністерства економіки України від 2 березня 2007 р. № 60, у якому визначено специфічний понятійний апарат з використанням невластивих класичній економічній науці термінів: «економічна безпека», «загрози економічній безпеці», «критерії економічної безпеки», «індикатори економічної безпеки» тощо. Цим наказом було затверджено Методика розрахунку рівня економічної безпеки України, яка зараз використовується Міністерством економіки України для розрахунку рівня економічної безпеки за 10 сферами та інтегрального індексу економічної безпеки України [9].

Реалії суспільного життя свідчать про те, що дотримання законодавства не завжди гарантує безпеку бізнесу, не сприяє зростанню капіталів. Через жорсткі умови отримання «коротких» кредитів переважна кількість дрібних і середніх підприємців орієнтують свій бізнес в основному на отримання миттєвої вигоди. Їх не дуже хвилює можливість створення перспективних ринків [5].

Друга група критеріїв економічної безпеки це – демографічні аспекти – кількість і якість населення. На сьогодні держава і бізнес почи-

нають реалізовувати програми неперервного корпоративного навчання, спрямовані на підготовку кваліфікованих кадрів для інноваційної економіки. Адже навчання, спрямоване тільки на передачу знань, в сучасному світі стає не-ефективним, якщо при цьому не розвиваються здатність фахівця орієнтуватися у складних виробничих ситуаціях, вирішувати швидко і якісно як традиційні, так і нестандартні завдання. Знання основ законодавства, вміння користуватися нормативними актами та нормативно-технічною документацією істотно впливає на якість підготовки фахівців-економістів. Групою українських вчених були розроблені засади ефективної організації безпеки персоналу підприємства, його капіталу та майна, а також комерційних інтересів [1].

Але цього ще не достатньо, щоб назвати ситуацію з економічною безпекою бізнесу в Україні успішною. Соціальні наслідки економічних реформ виявилися у погіршенні умов життєдіяльності громадян України, у порушенні умов праці та відпочинку виробничого потенціалу людини, втрати робочого часу через хвороби тощо.

Третя група критеріїв економічної безпеки характеризує власне економічну безпеку у вузькому сенсі. Реалії свідчать, якщо забезпечується економічна безпека в широкому сенсі, то забезпечується економічна безпека і в вузькому сенсі. Якщо забезпечується економічна безпека тільки у вузькому сенсі, то у широкому сенсі економічна безпека не забезпечується. Суспільство може виявитися на шляху до катастрофи.

Більшість економічно розвинутих країн спрямовують політику в інтересах провідних фірм своїх країн і транснаціональних корпорацій. Але в Україні проблема забезпечення економічної безпеки ускладнюється поєднанням внутрішніх (пов'язаних із становленням держави) та зовнішніх (пов'язаних із протиріччями процесу глобалізації) проблем [7].

Як бачимо, економічна безпека є такий стан функціонування економіки держави, в якому настає порядок рівноваги у визначених організаційно-правових нормах на засадах суспільного життя. Це норми, які створює держава, засади співіснування, які передаються з покоління в покоління. Суспільство змінюється, і тому засади з часом кардинально трансформу-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ються, що дуже непокоїть суспільство. Корупція, жадоба до наживи та інші негативні суспільні прояви заважають подоланню кризи.

Наукова новизна та практична значимість

Сформульовано положення, що стосуються необхідних змін у політиці економічної безпеки держави. Запропоновано систему показників, які можуть бути використані під час оцінювання стану системи економічної безпеки. Використання запропонованої системи показників стану економічної безпеки дозволить розширити перелік важливих факторів, що впливають на її стан та дають змогу визначити основні напрямки її формування.

Висновки

Таким чином, ми робимо висновок, що економічна безпека – це здатність держави забезпечити свою політику – глобальну, зовнішню, внутрішню – економічно всіма необхідними продуктами та природними благами на основі власного економічного потенціалу у взаємодії з іноземними господарськими суб'єктами.

Суттєва невизначеність стану соціально-економічних систем України ускладнює процес моделювання станів економічної безпеки, а, отже, і їх дослідження. Суттєві обмеження у дослідженнях складає недостатня база основних параметрів системи. Разом із тим, економічна ситуація в Україні, особливості економічного розвитку галузей і підприємств диктують необхідність поглибленого вивчення проблеми економічної безпеки.

Зростаюча роль економічної безпеки підприємства потребує адекватного економічного інструментарію, що дозволяє більш ефективно використовувати накопичений науковий потенціал.

Наукові засади вітчизняного регулювання економічної безпеки мають бути включеними до конституційного права, а також до регулювання адміністративного, господарського (фінансового, бюджетного, валютного, митного, податкового, банківського, страхового, морського, гірничого, торгівельного) права.

В комплексі цих окреслених правових тем мусять бути, перш за все, ті положення, що стосуються необхідних змін у політиці економічної безпеки. Вони стосуються таких чинників, а саме:

– цілей: розширення рівня економічної свободи шляхом зниження податків і обмеження перерозподілу прибутків; скорочення бюджетного дефіциту і його впровадження в стан тривалої рівноваги; реалізації глибоких реформ, а також поліпшення умов господарювання;

– кардинальних змін в економічній сфері: реформи в макро- та мікроекономіці і державних фінансах; реформи податкової і пенсійної систем та охорони здоров'я; соціальні реформи і ринку праці; реформи державної адміністрації і фіскальної децентралізації; поліпшення умов для бізнесу;

– чинників формування економічної безпеки: скорочення перерозподілу, інтеграції економічної і політичної в межах міжнародного співробітництва, макроекономічної стабілізації, фіскальної консолідації, поміркованості у бюджетних витратах (рівноправно відносно державних та підприємницьких інституцій), реструктуризації та приватизації в банківській сфері, приватизації інфраструктури в комунальній сфері, залучення стратегічних інвесторів до підприємств, дерегуляція цін і включення незалежних інституцій регуляційного нагляду, вирішення проблеми старіння населення шляхом пенсійних реформ, еластичність ринків (особливо ринку праці); реформи в податковій сфері (мають бути прямі, природні, ефективні і справедливі); формування мотивуючої соціальної системи, яка спрямована на тих, хто її дійсно потребує.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський, О. І. Фінансова безпека : монографія / О. І. Барановський ; Інститут економічного прогнозування. – К. : Фенікс, 1999. – 338 с.
2. Гэлбрейт, Д. Экономика невинного обмана : правда нашего времени / Д. Гэлбрейт. – М. : Европа, 2009. – 88 с.
3. Економічні аспекти екологічної безпеки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://h.ua/story/5807/#ixzz2i5xU1sAk>. – Назва з екрана.
4. Конституція України : офіц. текст : [прийнята на п'ятій сесії Верховної Ради України 28.06.1996 р. зі змінами, внесеними Законом України від 8.12.2004 р. : станом на 1.01.2006 р.]. – К. : Мін-во Юстиції України. – 2006. – 124 с.
5. Марценюк, Л. В. Вплив залізничного транспорту на розвиток національної економіки

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

- України // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 274–278.
6. Мілай, О. І. Фінансова безпека на підприємствах залізничного транспорту / О. І. Мілай // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2011. – Вип. 38. – С. 263–269.
 7. Моделювання економічної безпеки: держава, регіон, підприємство : монографія / В. М. Геєць, М. О. Кизим, Т. С. Клебанова та ін. – Х. : ВД «ІНЖЕК», 2006. – 240 с.
 8. Офіційний веб-сайт Всесвітнього Економічного Форуму [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.weforum.org/>. – Назва з екрана.
 9. Про затвердження «Методики розрахунку рівня економічної безпеки України» [Електронний ресурс] : наказ Мін-ва економіки України № 60 від 02.03.2007 р. – Режим доступу: <http://zakon.nau.ua/doc/?uid=1022.4251.0>. – Назва з екрана.
 10. Про основи національної безпеки України [Електронний ресурс] : закон України № 964-IV від 19.06.2003 р. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/964-15>. – Назва з екрана.
 11. Стратегія національної безпеки України [Електронний ресурс] : наказ Президента України № 105/2007 від 12.02.2007 р. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/105/2007>. – Назва з екрана.
 12. Rekun, I. Models for the evaluation of educational achievement / I. Rekun // *Nierówności społeczne a wzrost gospodarczy. Modernizacja dla spójności społeczno-ekonomicznej*. – Rzeszów : Uniwersytet Rzeszowski, Katedra Teorii Ekonomii I Stosunków Międzynarodowych, 2011. – Zeszyt № 19. – P. 137–144.
 13. Stachowiak, Z. Teoria i praktyka mechanizmu bezpieczeństwa ekonomicznego państwa : ujęcie instytucjonalne / Z. Stachowiak // *Akademia Obrony Narodowej*. – Warszawa : Wydawnictwo Akademii Obrony Narodowej, 2012. – 406 p.

И. И. РЕКУН^{1*}

^{1*}Каф. «Финансы и экономическая безопасность», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта rekun_i@mail.ru.

ПРОБЛЕМА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СОВРЕМЕННЫХ МАКРО- И МИКРО КОНЦЕПЦИЯХ

Цель. Важными составляющими безопасности в целом являются экономическая безопасность и обеспечение соответствующих национальных интересов государства. Все это тесно связано с экономической эффективностью функционирования хозяйственных объектов, с экономической независимостью, стабильностью и безопасностью общества. Кроме того, экономическая безопасность является составляющей национальной безопасности, ее фундаментом и материальной основой. Проблема обеспечения экономической безопасности в современных условиях на микро- и макроуровнях требует определения основных направлений ее формирования. **Методика.** Для достижения поставленной цели обоснованы основные направления формирования механизма обеспечения безопасности экономической системы, в частности – на макроуровне. **Результаты.** Экономическая безопасность является таким состоянием функционирования экономики государства, в котором наступает порядок равновесия в определенных организационно-правовых нормах на основе общественной жизни. Это нормы, которые создает государство и принципы сосуществования, которые передаются из поколения в поколение. Проанализировано современное состояние обеспечения экономической безопасности на макро- и микроуровнях. Определена система показателей, которые могут быть использованы при оценке состояния системы безопасности. **Научная новизна.** Сформулированы положения, касающиеся необходимых изменений в политике экономической безопасности государства. Предложена система показателей, которые могут быть использованы при оценке состояния системы безопасности. **Практическая значимость.** Использование предложенной системы показателей состояния экономической безопасности позволит расширить перечень важных факторов, влияющих на ее состояние и позволяющих определить основные направления ее формирования.

Ключевые слова: экономическая безопасность; государственное регулирование; национальная экономика

I. I. REKUN^{1*}

^{1*}Dep. «Finance and Economic Safety», 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 rekun_i@mail.ru

ECONOMIC SAFETY PROBLEM IN MODERN MACRO AND MICRO CONCEPTS

Purpose. Security is an important component of economic security and the guaranteeing of appropriate national interests in the state. All these things are closely related to the economic efficiency of operations of economic entities, with economic independence, stability and security of a society. In addition, economic security is a part of national security, its foundation and material basis. The problem of economic security in modern conditions at the micro and macro levels requires determining the main directions of its formation. **Methodology.** To achieve this goal, basic directions of a security mechanism of the economic system, in particular on the macro level were grounded. **Findings.** Economic security is such state of the state economy operation in which the order of equilibrium occurred in certain organizational and legal norms on the basis of social life. These regulations are created by the state, principles of coexistence, which are transmitted from generation to generation. The current state of economic security guaranteeing at the macro and micro levels was analyzed. The system of indicators that can be used in the assessment of the security system was determined. **Originality.** Propositions concerning necessary changes in the policy of economic security in a state were formulated. The system of indicators, which can be used in the assessment of the security system was offered. **Practical value.** Using of the proposed system of economic security indicators will expand the list of important factors affecting on its status and allow us determining the main directions of its formation.

Keywords: economic security; government regulation; national economy

REFERENCES

1. Baranovskyi O.I. *Finansova bezpeka* [Financial security]. Kyiv, Feniks Publ., 1999. 338 p.
2. Gelbreit D. *Ekonomika nevinno obmana: pravda nashego vremeni* [Economy of Innocent Fraud: Truth for our time]. Moscow, Yevropa Publ., 2009. 88 p.
3. *Ekonomichni aspekty ekolohichnoi bezpeky* (Economic aspects of environmental safety). Available at: <http://h.ua/story/5807/#ixzz2i5xU1sAk> (Accessed 10 December 2013).
4. *Konstitutsiia Ukrainy* [The Constitution of Ukraine]. Kyiv, Min-vo Yustytzii Ukrainy Publ., 2006. 124 p.
5. Martseniuk L.V. Vplyv zaliznychnoho transportu na rozvytok natsionalnoi ekonomiky Ukrainy [The impact of rail transport on the development of the national economy of Ukraine]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2012, issue 42, pp. 274-278.
6. Milai O.I. Finansova bezpeka na pidpriemstvakh zaliznychnoho transportu [Financial security for railway undertakings]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2011, issue 38, pp. 263-269.
7. Heiets V.M., Kyzym M.O., Klebanova T.S., Cherniak O.I. *Modeliuvannia ekonomichnoi bezpeky: derzhava, rehion, pidpriemstvo* [Simulation of economic security: state, region, enterprise]. Kharkiv, VD «INZhEK» Publ., 2006, 240 p.
8. *Ofitsiynyi veb-sait Vsesvitnoho Ekonomichnoho Forumu* (Official website of the World Economic Forum). Available at: <http://www.weforum.org/> (Accessed 10 December 2013).
9. *Pro zatverdzhennia metodyky rozrakhunku rivnia ekonomichnoi bezpeky Ukrainy* (On approving the methodology for determining the level of economic security of Ukraine). Available at: <http://zakon.nau.ua/doc/?uid=1022.4251.0> (Accessed 10 December 2013).
10. *Pro osnovy natsionalnoi bezpeky Ukrainy* (On National Security of Ukraine). Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/964-15> (Accessed 10 December 2013).
11. *Stratehiia natsionalnoi bezpeky Ukrainy* (National Security Strategy of Ukraine). Available at: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/105/2007> (Accessed 10 December 2013).

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

12. Rekun I. Models for the evaluation of educational achievement. Nierówności społeczne a wzrost gospodarczy. Modernizacja dla spójności społeczno-ekonomicznej. Rzeszów, Uniwersytet Rzeszowski, 2011. Zeszyt no. 19, pp. 137-144.
13. Stachowiak Z. Teoria i praktyka mechanizmu bezpieczeństwa ekonomicznego państwa : ujęcie instytucjonalne. Akademia Obrony Narodowej. Warszawa, Wydawnictwo Akademii Obrony Narodowej, 2012. 406 p.

Стаття рекомендована до публікації д.е.н., проф. М. М. Івановим (Україна); д.е.н., проф. Л. С. Головковою (Україна)

Надійшла до редколегії 10.12.2013

Прийнята до друку 23.01.2014

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 629.42.05.047.36

Є. Б. БОДНАР^{1*}

^{1*}Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка
В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 67 62, ел. пошта melnar78@gmail.com

ОСНОВНІ ВИМОГИ ТА ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ БОРТОВИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ ЛОКОМОТИВІВ

Мета. Обґрунтування основних принципів побудови бортових систем діагностування локомотивів та вибір високопродуктивного й надійного інтерфейсу для обміну інформацією бортових систем діагностування. **Методика.** Задача отримання достовірної та адекватної інформації про технічний стан технічного об'єкту вирішується з використанням і дотриманням основних принципів сучасних ЕОМ. **Результати.** Обрано високопродуктивний і надійний інтерфейс для обміну повідомленнями між різними блоками систем управління й бортових систем діагностування, властивостями якого є необхідна висока швидкість обміну, висока вірогідність і низький рівень помилок передачі інформації. **Наукова новизна.** Сформульовано основні принципи побудови бортових систем діагностування локомотивів, дотримання яких забезпечить накопичення достовірної та адекватної інформації про технічний стан, що необхідна для організації його обслуговування й ремонту. **Практична значимість.** Спроектоване з використанням викладених вимог та принципів діагностичне обладнання буде впливати на технічний стан локомотива, підвищення ймовірності його безвідмовної роботи, продуктивність праці локомотивних та ремонтних бригад. Впровадження бортових і стаціонарних систем діагностування локомотивів дозволить суттєво вдосконалити систему їх утримання й оптимізувати витрати на проведення технічного обслуговування (ТО) та поточних ремонтів (ПР). Крім цього, накопичена за допомогою бортових комплексів інформація про зміну діагностичних параметрів буде використовуватися для створення математичних моделей, що, у свою чергу, дозволить організувати систему утримання та прогнозувати технічний стан локомотивів.

Ключові слова: діагностування; технічний стан; діагностичне обладнання; бортові системи діагностування

Вступ

Подальше удосконалення та підвищення ефективності залізничного транспорту можливе на основі впровадження досягнень науково-технічного прогресу і, в першу чергу, за рахунок удосконалення технічних засобів та інфраструктури залізничного транспорту та зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище. Серед завдань, які необхідно вирішувати в першу чергу, є зниження витрат на технічне обслуговування і ремонт за рахунок поліпшення показників надійності і ремонтпридатності, зменшення трудомісткості і три-

валості простою на планових видах ремонту, застосування інтелектуальних систем діагностування, а також формування та впровадження сервісної системи обслуговування тягового рухомого складу.

Резервом підвищення надійності локомотивів є перехід від планово-попереджувального обслуговування і ремонту до обслуговування і ремонту з урахуванням дійсного технічного стану. Використання цієї стратегії обслуговування локомотивів вимагає широкого застосування засобів і методів автоматизованого контролю і діагностування. У зв'язку з цим виникає необхідність забезпечення такої властивості

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

локомотива та його систем, яка дозволяла б достовірно визначити його технічний стан з мінімальними витратами.

Впровадження бортових і стаціонарних систем діагностування локомотивів дозволить суттєво удосконалити систему їх утримання та оптимізувати витрати на проведення технічного обслуговування (ТО) та поточних ремонтів (ПР). Для накопичення і використання діагностичної інформації на залізницях України давно назріла необхідність створення Центру комплексного діагностування локомотивів. Основною задачею такого центру є створення системи моніторингу технічного стану кожного локомотива, що в перспективі дозволить в масштабі реального часу оцінювати технічний стан локомотива та прогнозувати його зміну. Необхідність створення такої структури зумовлена дослідженнями в напрямку створення інтелектуальних локомотивів. Апаратно-програмні засоби такого локомотива повинні забезпечувати інтегрованість за рахунок сумісності відповідних команд, що поступають на локомотив під час руху і з локомотива в Центр комплексного діагностування для зберігання в стандартних блоках пам'яті інформаційно-обчислювальної системи.

В результаті аналізу структур систем автоматизованого контролю і діагностування на локомотивах, які створюються в Україні, з'ясовано, що єдиного підходу та вимог до бортових та стаціонарних систем діагностування локомотивів не створено. Окремі розробки в цьому напрямку вирішують локальні проблеми і не передбачають комплексного підходу до створення бортових і стаціонарних систем діагностування. На 47 засіданні ради по залізничному транспорту країн СНД і Балтики затверджені основні принципи та критерії технічних вимог до технічних засобів для використання на колії 1 520. Пропонується у конструкції електровоза передбачити систему діагностування, яка повинна забезпечувати:

- автоматичний контроль технічного стану основного обладнання електровоза та надання машиністу інформації за допомогою дисплея, встановленого в кабіні локомотива;

- безперервний контроль критичних значень параметрів основних агрегатів та систем з індикацією виходу їх за допустимі межі і аварійне автоматичне їх відключення (з урахуванням

забезпечення безпеки руху) або зміна режиму роботи (наприклад, зменшення сили тяги);

- інформацію про перевищення допустимих параметрів, які повинні видаватися на дисплей автоматично, а інформацію про поточні значення параметрів, що контролюються – за викликом машиніста (перелік параметрів уточнюється замовником);

- реєстрацію та збереження значень контрольованих параметрів, які перевищують допустимі значення;

- цілеспрямоване інформування машиніста локомотива про помилки або функціональні обмеження локомотива з можливістю отримання причин та заходів щодо їх усунення;

- інформування ремонтного персоналу про пошкодження тягового рухомого складу шляхом візуалізації попередніх повідомлень через сервісні інтерфейси на приладах управління електроприводом і перетворювача допоміжних механізмів;

- створення системи моніторингу технічного стану, що дозволяє в масштабі реального часу оцінювати стан локомотива та прогнозувати його зміну.

Виконаний аналіз практики створення бортових систем машин свідчить про доцільність поділення функцій бортової системи на інформаційне забезпечення та полегшення функцій управління машиніста і зовнішнього діагностичного обладнання в локомотивних депо, що дозволяє оцінювати технічний стан локомотива та визначати обсяги проведення ТО і ПР.

Мета

Обґрунтування основних принципів побудови бортових систем діагностування локомотивів та вибір високопродуктивного і надійного інтерфейсу для обміну інформацією бортових систем діагностування.

Методика

Виконання цієї задачі вирішується використанням вимірювально-діагностичних систем, побудованих з використанням сучасних ЕОМ, які створені з дотриманням таких основних принципів:

1. Принцип достатності регламентує вибір мінімальної кількості датчиків вторинних процесів, що супроводжують роботу агрегатів

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

і систем локомотива та технологічної системи в цілому і забезпечують спостереження за його технічним станом. Слід зауважити, що при цьому вихідний сигнал датчика можна представити в широкому діапазоні амплітуд і частот з послідовною обробкою (виявлення, фільтрація, лінерізація, корекція амплітудно-фазових характеристик та ін.). Діагностування агрегатів і систем локомотива базується на вимірі множини первинних діагностичних ознак, що характеризують їх роботу (тиск, температура, вібрація, витрата палива (електроенергії), частота обертання та інші) з встановленням відповідних зв'язків з безліччю технічних станів (дисбаланс, несправності підшипників, засмічення фільтрів та інше). При цьому слід зауважити, що для забезпечення достовірності та глибини діагнозу необхідно збільшувати кількість діагностичних ознак: або за рахунок збільшення кількості датчиків, або за рахунок збільшення кількості ознак, які отримують за допомогою одного датчика.

2. Принцип інформативної повноти, що відображає обмеженість наших знань в навколишньому середовищі і в загальному вигляді може бути визначений таким чином [1], що із спектру сигналу після видалення з нього крім діагностичних ознак, які описують стан об'єкта відомим способом, виділяється залишковий «шум», який може використовуватися для діагностування. Результати багатьох експериментальних досліджень діагностування машин свідчать, що в більшості випадків система ознак, яка включає характеристики «шуму», майже ортогональна, тобто «шум» дійсно відображає низку неврахованих факторів технічного стану у відомих діагностичних ознаках (наприклад, заїдання та затирання в підшипниках і ущільнювачах).

3. Принцип інваріантності регламентує вибір і селекцію таких діагностичних ознак, які інваріантні до конструкції машини і форми зв'язку з параметрами її технічного стану [6], що забезпечує використання швидких рангових процедур без еталонного діагностування і прогнозування ресурсу машин.

4. Принцип самодіагностування всіх вимірювальних та управляючих каналів інформаційно-діагностичної системи (ІДС) забезпечує легке впровадження системи в експлуатацію, простоту обслуговування і ремонту окремих

каналів, високу метрологічну і функціональність системи, її виживаність і пристосованість до постійно змінних умов виробництва. Принцип самодіагностування в ІДС реалізується шляхом подачі спеціальних стимулюючих сигналів в канали датчиків і комп'ютерного аналізу цих сигналів на виході після відповідних перетворювачів.

5. Принцип структурної гнучкості і програмованості забезпечує реалізацію оптимальної паралельно-послідовної структури ІДС, виходячи із критерію необхідної швидкодії при мінімальній вартості.

6. Принцип корекції неідеальності вимірювальних трактів обчислювальними методами на ЕОМ – нелінійності датчиків, амплітудно-фазових характеристик погоджувально-перетворюючих трактів та інше.

7. Принцип дружності інтерфейса при максимальних обсягах, що забезпечує визначення оператором стану локомотива в цілому з монітора і отримання вказівки на подальші дії. Цей принцип забезпечує відображення стану локомотива та його властивостей як в автоматичному режимі, так і в режимі управління машиністом.

8. Принцип багаторівневої організації забезпечує роботу з системою діагностування фахівців різних рівнів кваліфікації і відповідальності. На першому рівні, наприклад, система інформує про стан локомотива і його вузлів щодо готовності до експлуатації. На другому рівні з використанням меню та управління опціями можна отримати інформацію про тренди процесів, результати аналізу сигналів та інше.

Результати

Під час створення бортових систем локомотивів слід мати на увазі, що в системах управління та автоматики сучасних локомотивів використовується багато мікропроцесорних систем (системи автоведення, САУТ, КЛУБ та інші) із застосуванням різного типу датчиків та мікропроцесорних пристроїв.

Виникає потреба у виборі високопродуктивного і надійного інтерфейсу для обміну повідомленнями між різними блоками систем управління і бортових систем діагностування. Для ефективної роботи цих систем необхідна висока швидкість обміну, висока вірогідність і низький рівень помилок передачі інформації.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

На сьогодні, існує маса мережевих технологій. Сучасні мережі забезпечують обслуговування великого діапазону абонентів, гідну швидкість передачі даних і відповідають низці інших вимог, однак для використання на залізничному транспорті підходять лише небагато з них.

Розглянемо кілька способів організації взаємодії абонентів найбільш поширених мереж.

В цей час найбільш популярна у світі мережа Ethernet. Її поширеність зумовлюється високим рівнем стандартизації і уніфікації вузлів. Однак слід зазначити, що мережа Ethernet не відрізняється ні високими характеристиками, ні оптимальними алгоритмами і застосовувати її на рухомому складі в умовах експлуатації можна, тільки прийнявши заходи щодо захисту інформації від спотворення.

На відміну від Ethernet мережа Token-Ring добре витримує велике навантаження, забезпечує швидкий доступ і велику інтенсивність обміну. До недоліків Token-Ring можна віднести високу вартість устаткування, недостатню гнучкість конфігурації і низьку перешкодозахищеність [7].

Зараз все більше поширюються оптоволоконні мережі. Найбільш відомою з них є мережа FDDI, яка має великі переваги порівнянно з усіма розглянутими раніше мережами. Це висока перешкодозахищеність, хороша гальванічна розв'язка абонентів і висока швидкість передачі даних. На жаль, застосування мережі FDDI для обладнання бортових систем є нерациональним через високу вартість апаратури.

В цей час зв'язок між бортовими датчиками і пристроями обробки інформації в бортових транспортних і промислових мережах здійснюється за допомогою відкритого мережевого протоколу CANopen (Controller Area Network) [11]. Вибір зумовлений хорошими характеристиками, високою перешкодозахищеністю, можливістю розвитку і відносною простотою реалізації. Основною рисою протоколу CANopen, що дозволяє застосовувати його на рухомому складі, є, на відміну від інших інтерфейсів, можливість працювати на основі техніки розподілених повідомлень. Інформація, передана в мережі, доступна для прийому будь-яким вузлом системи, який, використовуючи фільтр, приймає рішення про обробку або ігнорування повідомлення. Передача повідомлення в мережі CAN може бути ініційована будь-яким вузлом мережі (принцип багатомайстерної конфігура-

ції) при вільній шині, вузли можуть обмінюватися інформацією між собою. Всі вузли мають рівні права на початок передачі при вільній шині, тому передача може бути розпочата одночасно декількома вузлами. Така схема доступу гарантує в кожен момент часу передачу повідомлення з найвищим пріоритетом і найбільш ефективне використання для цього пропускну здатності шини.

У протоколі передбачені широкі можливості детектування помилок і механізми зниження кількості помилок. Одним з найбільш важливих інструментів виявлення помилок є відстеження рівня сигналу в переданих вузлом бітах. Відмінність вимірюного рівня від того, що був при посилці, фіксується як помилка. Під час інформації про виникнення помилки передане повідомлення знищується. У кожному контролері інтерфейсу є лічильник передачі і прийому повідомлень про помилки, що забезпечує якнайшвидшу ізоляцію вузла, який відмовив, і дозволяє створити досконалий механізм управління мережею для захисту її від збоїв.

Наукова новизна та практична значимість

Сформульовані основні принципи побудови бортових систем діагностування локомотивів, дотримання яких забезпечить накопичення достовірної та адекватної інформації про технічний стан, необхідної для організації його обслуговування та ремонту. Обґрунтовано вибір високопродуктивного і надійного інтерфейсу для обміну повідомленнями між різними блоками систем управління і бортових систем діагностування.

Висновки

Спроектване з використанням вищевикладених вимог та принципів діагностичне обладнання сприятиме покращенню технічного стану локомотива, підвищенню надійності та ефективності його роботи. Крім того, накопичена за допомогою бортових комплексів інформація про зміну діагностичних параметрів буде використовуватися для створення математичних моделей, що, в свою чергу, дозволить організувати систему утримання та прогнозувати технічний стан локомотивів.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вешкурцев, Ю. М. Автокогерентные устройства измерения случайных процессов / Ю. М. Вешкурцев. – Омск : ОмГТУ, 1994. – 163 с.
2. Гулиус, В. А. Модель оценки производительности сети Fast Ethernet / В. А. Гулиус, А. А. Янковский // Системний аналіз та інформ. технології : наук.-техн. матеріали Х міжнар. конф. – К., 2008 – С. 78–79.
3. Дьяков, И. Ф. Некоторые аспекты бортового информационно-диагностического комплекса автомобиля / И. Ф. Дьяков, В. М. Петров // Автомобиль и техносфера : сб. докл. 2-ой международ. НПК. – Казань, 2001. – С. 54–56.
4. Дьяков, И. Ф. Электронные системы для бортовой диагностики автомобиля / И. Ф. Дьяков, В. М. Петров // Сб. тез. докл. Семинара. – М. : НИИАЭ, 1999. – С. 11–14.
5. Закер, К. Компьютерные сети. Модернизация и поиск неисправностей / К. Закер. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 1008 с.
6. Костюков, В. Н. Ранговый метод виброакустической диагностики и оценки качества машин / В. Н. Костюков // Гидропривод и системы упр. строит., тяговых и дорожных машин. – Омск, 1985. – С. 113–124.
7. Новиков, Ю. В. Локальные сети / Ю. В. Новиков, С. В. Кондратенко. – М. : Эком, 2000. – 312 с.
8. Новиков, Ю. В. Локальные сети: архитектура, алгоритмы, проектирование / Ю. В. Новиков, С. В. Кондратенко. – М. : Изд-во ЭКОМ, 2000. – 312 с.
9. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб. : Питер, 2000. – 672 с.
10. Устименко, Д. В. Сучасні мікроконтролери в схемах рухомого складу / Д. В. Устименко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2007. – Вип. 15. – С. 47–49.
11. Этчберг, К. Controller Area Network / К. Этчберг // Мир компьютер. автоматизации. – 2004. – № 5. – С. 68–70.
12. Emerging Communications Technologies. – 2-nd edition. – Uyless Black : Prentice Hall Professional, 1997. – 232 p.
13. Brooks, R. A. A Robust Layered Control System for a Mobile Robot / R. A. Brooks // IEEE J. of Robotics and Automation. – 1986. – Vol. 2, № 1. – P. 14–23.
14. Hunt, Craig. TCP/IP Network Administration / Craig Hunt. – 2-nd edition. – O'Reilly & Associates, 1998. – 630 p.

Е. Б. БОДНАРЬ^{1*}

^{1*}Каф. «Локомотивы», Днепрпетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепрпетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 67 62, эл. почта melnar78@gmail.com

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ ЛОКОМОТИВОВ

Цель. Обоснование основных принципов построения бортовых систем диагностирования локомотивов и выбор высокопроизводительного и надежного интерфейса для обмена информацией бортовых систем диагностирования. **Методика.** Задача получения достоверной и адекватной информации о техническом состоянии технического объекта решается с использованием и соблюдением основных принципов современных ЭВМ. **Результаты.** Выбран высокопроизводительный и надежный интерфейс для обмена сообщениями между различными блоками систем управления и бортовых систем диагностирования, свойствами которого является необходимая высокая скорость обмена, высокая вероятность и низкий уровень ошибок передачи информации. **Научная новизна.** Сформулированы основные принципы построения бортовых систем диагностирования локомотивов, соблюдение которых обеспечит накопление достоверной и адекватной информации о техническом состоянии, необходимой для организации его обслуживания и ремонта. **Практическая значимость.** Спроектированное с использованием изложенных требований и принципов диагностическое оборудование будет влиять на техническое состояние локомотива, повышение вероятности его безотказной работы, производительность труда локомотивных и ремонтных бригад. Внедрение бортовых и стационарных систем диагностирования локомотивов позволит существенно усовершенствовать систему их содержания и оптимизировать расходы на проведение технического обслуживания (ТО) и текущих ремонтов (ТР). Кроме этого, накопленная с помощью бортовых комплексов информация об изменении диагностических параметров будет использоваться для создания математических

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

моделей, что, в свою очередь, позволит организовать систему содержания и прогнозировать техническое состояние локомотивов.

Ключевые слова: диагностирование; техническое состояние; диагностическое оборудование; бортовые системы диагностирования

YE. B. BODNAR^{1*}

^{1*}Dep. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 67 62, e-mail melnar78@gmail.com

BASIC REQUIREMENTS AND PRINCIPLES OF CREATION ONBOARD DIAGNOSTIC SYSTEMS OF LOCOMOTIVES

Purpose. Justification of the basic principles of construction on-board diagnostic systems locomotive and choose from high-performance and reliable interface for the exchange of information on-board diagnostic systems. **Methodology.** Problem of getting correct and adequate information about the technical state of the technical object is solved with the use and compliance of the fundamental principles of modern computers. **Findings.** High-performance and reliable interface to exchange messages between different units of management systems and on-board diagnostic systems was selected. Properties which are required high data rate, high reliability and low error rate of information transfer. **Originality.** The main principles of building on-board diagnostic systems which ensure compliance locomotives accumulation of accurate and adequate information about the technical condition which is necessary to organize its maintenance and repair were formulated. **Practical value.** Diagnostic equipment designed with use of requirements set forth above and principles will affect the technical condition of the engine, increasing the likelihood of uptime, productivity and locomotive repair teams. The introduction of on-board diagnostic systems and stationary locomotives will significantly improve the system and optimize their maintenance costs of maintenance and repairs. Besides, information about diagnostic parameters changing accumulated with the aim of airborne systems will be used in order to create mathematical models that, in turn, will organize a system of maintenance and predict the technical condition of locomotives.

Keywords: diagnosis; technical condition; diagnostic equipment; onboard diagnostic systems

REFERENCES

1. Veshkurtsev Yu.M. *Avtokogerentnyye ustroystva izmerenyya sluchaynykh protsessov* [Self Coherent measurement devices of random processes]. Omsk, OmHTU Publ., 1994. 163 p.
2. Gulius, V.A., Yankovskiy A.A. Model otsenki proizvoditelnosti seti Fast Ethernet [Assessment model of performance of network Fast Ethernet]. *Materialy X Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Systemnyi analiz ta informatsiini tekhnolohii»* [Proc. of the X Int. Sci. and Technical Conf. «System analysis and information technology»], Kyiv, 2008, pp. 78-79.
3. Dyakov I.F., Petrov V.M. Nekotoryye aspekty bortovogo informatsionno-dagnosticheskogo kompleksa avtomobilya [Some aspects of onboard information and diagnostic complex of the car]. *Sbornik dokladov 2-oy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Avtomobil i tekhnosfera»* [Proc. of the 2nd Int. Sci. and Practical Conf. «Automobiles and Technosphere»], Kazan, 2001, pp. 54-56.
4. Dyakov I.F., Petrov V.M. Elektronnyye sistemy dlya bortovoy diagnostiki avtomobilya [Electronic systems for onboard diagnostics of the automobile]. *Sbornik tezisev dokladov Seminara* [Theses of abstracts of the Seminar], Moscow, 1999, pp. 11-14.
5. Zaker K. *Kompyuternyye seti. Modernizatsiya i poisk neispravnostey* [Computer networks. Modernization and trouble shooting]. Saint Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2003. 1008 p.
6. Kostyukov V.N. Rangovyy metod vibroakusticheskoy diagnostiki i otsenki kachestva mashin [The ranking method of vibroacoustic diagnostics and evaluation of quality of cars]. *Gidroprivod i sistemy upravleniya stroitelnykh, tyagovykh i dorozhnykh mashin* [Hydraulic drive and control system of construction, traction and road cars], Omsk, 1985, pp. 113-124.
7. Novikov Yu.V., Kondratenko S.V. *Lokalnyye seti* [Local networks]. Moscow, Ekom Publ., 2000. 312 p.
8. Novikov Yu.V., Kondratenko S.V. *Lokalnyye seti: arkhitektura, algoritmy, proyektirovaniye* [Local networks: architecture, algorithms, designing]. Moscow, Izdatelstvo EKOM Publ., 2000. 312 p.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

9. Olifer V.G., Olifer N.A. *Kompyuternyye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly* [Computer networks. Principles, technologies, records]. Saint Petersburg, Piter Publ., 2000. 672 p.
10. Ustyomenko D.V. Suchasni mikrokontrolery v skhemakh rukhomoho skladu [Modern microcontroller in the schemes of rolling stock]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2007, issue 15, pp. 47-49.
11. Etchberg, K. Controller Area Network. *Mir kompyuternoy avtomatizatsii – The world of computer automation*, 2004, no. 5, pp. 68-70.
12. Emerging Communications Technologies. Uyless Black: Prentice Hall Professional Publ., 1997. 232 p.
13. Brooks R.A. A. Robust Layered Control System for a Mobile Robot. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 1986, vol. 2, no. 1, pp. 14-23.
14. Hunt Craig. TCP/IP Network Administration. O'Reilly & Associates Publ., 1998. 630 p.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. А. М. Мухомою (Україна); начальником служби локомотивного господарства Придніпровської залізниці В. С. Любкою (Україна)

Надійшла до редколегії 21.11.2013

Прийнята до друку 18.01.2014

УДК 656.222.3:656.23

А. И. ВЕРЛАН^{1*}

^{1*}ООО «Трансинвестсервис», ул. Чапаева, 50, с. Визирка, Одесская область, Украина, 67543, тел. +38 (0482) 30 07 24, эл. почта averlan@tis.ua

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ СТИМУЛИРОВАНИЯ ОТПРАВИТЕЛЬСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Цель. Целью статьи является оценка расходов, перераспределяемых в системе «грузоотправитель–железная дорога–грузополучатель» при маршрутизации железнодорожных перевозок и разработка методов тарифного стимулирования грузоотправителей к формированию отправительских маршрутов. **Методика.** С помощью методов экономико-математического анализа в статье исследовано распределение расходов между различными участниками перевозочного процесса в условиях формирования отправительских маршрутов. **Результаты.** Для внедрения методов тарифного стимулирования отправительской маршрутизации и сохранения существующей структуры тарифа предложено предусмотреть в «Сборнике тарифов на перевозку грузов железнодорожным транспортом Украины» скидку для отправительских маршрутов, дифференцированную от расстояния перевозок. Также предложена новая методика определения величины сборов для подачи и уборки вагонов на подъездные пути поездными локомотивами. **Научная новизна.** В результате выполненных исследований предложен новый метод определения эффективности отправительской маршрутизации, который, в отличие от существующего, учитывает наличие различных интересов у отдельных участников перевозочного процесса. Получена зависимость поправочных коэффициентов к тарифу для перевозок грузов в собственных вагонах прямыми отправительскими маршрутами от расстояния перевозок. Реализация данных коэффициентов обеспечит приближение тарифа на железнодорожные перевозки к себестоимости перевозок. Предложен метод определения ставки сборов на подачу и уборку вагонов на подъездные пути поездными локомотивами. **Практическая значимость.** Создание в Украине системы тарифных скидок на перевозку грузов отправительскими маршрутами соответствует мировой практике и позволяет приблизить тариф к реальной себестоимости перевозок. Такой шаг, с одной стороны, создаст стимулы к инвестициям частных средств в развитие инфраструктуры и маневровых средств подъездных путей, а с другой – позволит закрепить грузоотправителей за железными дорогами и остановить их отток на альтернативные виды транспорта.

Ключевые слова: маршрутные отправки; железнодорожные тарифы; скидки; подъездные пути; подача-уборка вагонов

Введение

Одной из острых проблем магистрального железнодорожного транспорта Украины на современном этапе является отсутствие в Укрзалізничці средств на обновление ее материально-технической базы [10]. Это приводит к росту себестоимости перевозок, оттоку клиентов на альтернативные виды транспорта, снижению объемов перевозок и, как следствие, дальнейшему повышению себестоимости перевозок. Возможным путем решения данной проблемы может быть привлечение частного капитала для обновления материально-технической базы железнодорожного транспорта.

Необходимо отметить, что способы организации железнодорожных перевозок предусматривают объективные требования к структуре

железнодорожной сети [15]. Так, если отправление грузов на сети осуществляется преимущественно подвагонными отправлениями, то это требует развития технического оснащения магистральных технических станций внутри сети с целью оптимальной организации вагонопотоков. При этом за счет концентрации управления пропускной способностью инфраструктуры, парком локомотивов и вагонов можно достигнуть значительного снижения средней себестоимости перевозки грузов на сети. Однако обеспечить интерес частных инвесторов к финансированию отрасли при такой модели весьма затруднительно, так как повлиять на себестоимость перевозки для отдельного грузоотправителя достаточно сложно. Альтернативный вариант представляют железнодорожные сети, ориентированные на обращение отправитель-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ских маршрутов. В этом случае за счет концентрации технических операций в терминальных пунктах существенно упрощаются требования к оснащению железнодорожной сети общего пользования. Учитывая, что зарождение и погашение грузопотоков преимущественно происходит на путях необщего пользования, то, при развитии отправительской маршрутизации, собственники предприятий потенциально имеют стимулы к развитию инфраструктуры и маневровых средств подъездных путей с целью снижения себестоимости перевозок.

В целом отправительская маршрутизация является широко используемым методом организации перевозок как в Украине, так и за рубежом [1, 2, 6, 13, 14]. Благодаря маршрутизации обеспечивается ускорение оборота вагонов, уменьшение переработки вагонов на технических станциях, сокращение сроков доставки грузов. Организация перевозок грузов отправительскими маршрутами затрагивает интересы грузоотправителей, грузополучателей и перевозчиков. При этом улучшение использования железнодорожной инфраструктуры и тягового подвижного состава вызывает необходимость увеличения погрузо-разгрузочных мощностей и путевой емкости у грузоотправителей и грузополучателей. Переход Украины к рыночной экономике, процессы монополизации железнодорожной отрасли вызывают необходимость совершенствования нормативной базы, регулирующей отправительскую маршрутизацию. Решение задачи стимулирования отправительской маршрутизации может быть достигнуто за счет разработки тарифной системы, позволяющей создавать транспортные продукты в соответствии с требованиями отдельных клиентов и обеспечить приближение железнодорожного тарифа к реальной себестоимости перевозок.

Цель

Цель статьи – оценка расходов, перераспределяемых в системе «грузоотправитель-железная дорога-грузополучатель» при маршрутизации железнодорожных перевозок и разработка методов тарифного стимулирования грузоотправителей к формированию отправительских маршрутов.

Методика

Эффективность отправительской маршрутизации в настоящее время оценивается в соот-

ветствии с «Инструктивными указаниями по организации вагонопотоков на железных дорогах Украины» [4]. В соответствии с данными указаниями для включения в план маршрутизации отдельной корреспонденции грузов должно выполняться условие того, что дополнительные расходы на организацию маршрутов в сравнении с немаршрутным отправлением на станции погрузки $\Delta E_{сп}$ и выгрузки $\Delta E_{св}$ не должны превышать экономии в пути следования $\Delta E_{эк}^{сп}$. Это условие представляется выражением

$$\Delta E_{сп} + \Delta E_{св} \leq \Delta E_{эк}^{сп}.$$

Суммарная экономия в пути следования определяется по формуле

$$\Delta E_{эк}^{сп} = \left(\sum t_{эк} + t_{эк}^{уп} + t_{эк}^{вб} \right) Ne_{нН} + Ne_{нН}^{сп} \sum r,$$

где $\sum t_{эк}$ – суммарная экономия приведенных вагоно-часов при следовании маршрута через сортировочные, участковые и грузовые станции без переработки, ваг.-ч; $t_{эк}^{уп}$, $t_{эк}^{вб}$ – экономия времени на участке погрузки и выгрузки промежуточных станций соответственно; N – маршрутизируемый вагонопоток, ваг.; $e_{нН}$ – расходная ставка за один вагоно-час для вагона, который включен в маршрут с учетом вида груза, грн/ваг.-ч; $e_{нН}^{сп}$ – среднесетевая расходная ставка за один вагоно-час, грн/ваг.-ч; $\sum r$ – суммарный эквивалент переработки вагонов и перецепки локомотивов на всех станциях, которые маршрут проследует без переработки, ваг.-ч.

Дополнительные расходы на станциях погрузки и выгрузки определяются по формулам

$$\Delta E_{сп} = \Delta t_{п} Ne_{нН} \text{ и } \Delta E_{св} = \Delta t_{в} Ne_{нН},$$

где $\Delta t_{п}$, $\Delta t_{в}$ – дополнительные простои на станциях погрузки и выгрузки в сравнении с немаршрутизированной организацией вагонопотоков соответственно, ваг.-ч.

Дополнительный простой на станциях погрузки при маршрутизации, в сравнении с немаршрутизированной погрузкой, определяется как

$$\Delta t_{п} = \left(t_{м}^{п} - t_{нм}^{п} \right) - t_{эк}^{сп},$$

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

где t_m^n, t_{nm}^n – средний простой вагона на подъездном пути и станции примыкания в при маршрутной и немаршрутной погрузке соответственно, ваг.-ч; $t_{эк}^{сп}$ – экономия приведенных вагоно-часов, которая образуется на станции примыкания при пропуске маршрута, погруженного на подъездном пути за счет исключения сортировки поступающих передач вагонов и изменения затрат времени на подачу-уборку, ваг.-ч.

Необходимо отметить, что в основу методики, приведенной в [4] положена методика, изложенная в [3], которая была разработана во времена Советского Союза для условий функционирования плановой экономики и эксплуатации единого инвентарного парка грузовых вагонов. Учитывая, что и железнодорожная инфраструктура, и подвижной состав в то время находились в одной собственности, то эффективность маршрутизации фактически основывалась на минимизации собственных расходов железнодорожных дорог для выполнения перевозки.

С переходом Украины к рыночной экономике, условия работы железнодорожного транспорта и его взаимодействия с клиентами существенно изменились. Основные предприятия-клиенты железнодорожного транспорта в конце 1990-х начале 2000-х годов были приватизированы и в настоящее время они и их подъездные пути находятся в частной собственности. С целью стабильного обеспечения погрузки порожними вагонами крупные грузоотправители либо приобрели собственный вагонный парк, либо пользуются услугами независимых операторов грузовых вагонов. При этом, во многих случаях, собственные вагоны движутся по закольцованным маршрутам, обслуживая одного грузоотправителя.

В этих условиях для разных участников перевозочного процесса имеют место разные условия эффективности маршрутизации перевозок [2]. В общем случае, эффективность маршрутизации перевозок может быть представлена как

$$\begin{cases} E_{го} = \Delta n e_{нн} - E_{го}^{доп} \pm K_{го} \geq 0 \\ E_{жд} = N e_{нн}^{сп} \sum r + E_n + E_k + E_{уп} + E_{ув} \pm K_{жд} \geq 0 \\ E_{гп} = -E_{гп}^{доп} \pm K_{гп} \geq 0 \end{cases}$$

где $E_{го}, E_{жд}, E_{гп}$ – экономия расходов грузоотправителя, железной дороги и грузополучателя соответственно; Δn – сокращение эксплуатационного парка грузовых вагонов, задействованного для перевозок, по сравнению с отправлением немаршрутизированного вагонопотока; $E_{го}^{доп}, E_{гп}^{доп}$ – дополнительные приведенные расходы грузоотправителей и грузополучателей, связанные с выполнением на их подъездных путях начальных и конечных операций по формированию и погашению поездопотоков соответственно; E_n, E_k – сокращение эксплуатационных расходов станций примыкания к подъездным путям погрузки и выгрузки в связи с переносом выполнения начальных и конечных операций на подъездные пути, а также исключения подачи-уборки вагонов маневровыми локомотивами соответственно; $E_{уп}, E_{ув}$ – сокращение эксплуатационных расходов железных дорог в связи с отсутствием перевозки вагонов на участках, примыкающих к станциям погрузки и выгрузки, в сборных, вывозных, передаточных поездах соответственно.

$K_{го}, K_{жд}, K_{гп}$ – компенсации участника/участнику перевозочного процесса (грузоотправителя, железной дороги, грузополучателя соответственно) дополнительных расходов, связанных с маршрутизацией перевозок.

В случае если компенсации $K_{го}, K_{жд}, K_{гп}$ равны нулю, то отправительская маршрутизация перевозок однозначно приводит к экономии эксплуатационных расходов железных дорог и увеличению эксплуатационных расходов грузополучателя. Величина экономии расходов грузоотправителя может иметь как положительное, так и отрицательное значение.

Вопрос компенсации дополнительных расходов грузополучателю решается за счет грузоотправителя, путем уменьшения стоимости груза либо увеличения стоимости его переработки.

Для компенсации дополнительных расходов грузоотправителям, связанных с формированием отправительских маршрутов, железные дороги различных стран вводят дифференциацию грузовых тарифов либо устанавливают скидки к тарифам. Так в Российской Федерации в Прейскуранте 10-01 [8] предусмотрены понижающие коэффициенты к грузовому тарифу, дифференцированные в зависимости от расстояния перевозок и вида маршрута (табл. 1).

Таблица 1

Поправочные коэффициенты к тарифу для маршрутных отправок в Российской Федерации

| Вид маршрутов | Расстояние перевозок, км | | | |
|---------------|--------------------------|-----------|-------------|-------------|
| | До 500 | 501–1 000 | 1 001–2 000 | Свыше 2 000 |
| Прямые | 0,85 | 0,89 | 0,92 | 0,95 |
| В распыление | 0,90 | 0,92 | 0,95 | 0,97 |

С другой стороны, РЖД предоставляет услуги грузоотправителям по формированию отправительских маршрутов на собственной инфраструктуре [7].

В США стимулирование грузоотправителей к формированию отправительских маршрутов также производится за счет тарифной политики. При этом для повагонных, групповых и маршрутных отправок установлены разные тарифы. В частности, снижение тарифа на перевозку этанола маршрутными отправлениями составляет 26,4–27,6 % [13]. Величина скидок при перевозках угля, руды, минеральных удобрений составляет 20–40 %. Еще больших значений скидка составляет для зерновых грузов, где при перевозках маршрутными отправлениями она превышает 50 % [16].

В Украине есть опыт применения дифференциации тарифов для перевозок грузов маршрутами в виде специальных коэффициентов к Сборнику тарифов (см. например [9]), однако в настоящее время ни дифференциация тарифа в зависимости от вида отправки, ни понижающие коэффициенты для маршрутных отправок не применяются. Поэтому стимулов к совершенствованию технического оснащения для формирования маршрутов грузоотправители и грузополучатели не имеют, а старение основных средств железных дорог и повышение стоимости нефтепродуктов приводит к увеличению себестоимости перевозок.

В этой связи на основании методов микро-математического анализа необходимо выполнить исследование влияния маршрутизации на себестоимость железнодорожных перевозок и разработать методы компенсации дополнительных расходов грузоотправителям при организации маршрутов.

В настоящее время расходы по грузовым перевозкам разделяются на две части: первая из них компенсируется за счет грузовых тарифов,

а вторая – за счет дополнительных плат, сборов и свободных тарифов. При этом тариф имеет параметрическую форму и представляется как

$$C = A + (B + D \cdot P) L,$$

где A – агрегированная расходная ставка за начальные и конечные операции за отправку, грн; B , D – агрегированные расходные ставки за движенческую операцию, за отправку-км и т-км соответственно, грн; P – масса отправки; L – расстояние перевозки.

Стоимость начальной и конечной операции при перевозке грузов в собственных вагонах загрузкой до 72,5 т в соответствии с [11] определяется как

$$A = 406,99274 + 30,14761 k_L,$$

а стоимость движенческой операции как

$$B + D \cdot P = (5,65778 + 0,4191 k_L + (0,02201 + 0,00163 k_L) P) k, \quad (1)$$

где k_L – коэффициент, который корректирует стоимость перевозки в зависимости от интенсивности грузовых операций; k – коэффициент, который корректирует стоимость за движенческую операцию в зависимости от расстояния перевозки.

Распределение затрат, связанных с перевозкой грузов, по источникам покрытия между начально-конечной и движенческой операциями выполняется опосредовано на основании сравнения вагоно-часов простоя транзитных и местных вагонов. Учитывая, что коэффициенты к сборнику тарифов устанавливаются одинаковыми на весь тариф, то можно сделать вывод, что это деление является условным и используется исключительно для внутреннего перераспределения поступающих средств между железными дорогами.

Значительным недостатком существующей структуры тарифа на железнодорожные перевозки грузов является то, что при оплате тарифа грузоотправитель приобретает у железной дороги комплекс услуг, цена которого является неизменной, а фактический состав этих услуг может существенно варьироваться в зависимости от местных условий. Поэтому направлением совершенствования тарифа может быть сокращение расходов, относимых на тариф и уве-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

личение количества дополнительных плат и сборов. В результате достигается не только возможность приближения стоимости перевозки к ее реальной себестоимости, но и автоматически обеспечивается распределение поступающих средств на подразделения железных дорог, выполняющих дополнительные объемы работы. Одним из наиболее актуальных направлений решения данной задачи является отправительская маршрутизация.

Величина экономии расходов железной дороги при маршрутизации перевозок включает экономию на начальных операциях (если формирование отправительского маршрута производится на пути необщего пользования), экономию на конечных операциях (в случае, если погашение отправительского маршрута производится на пути необщего пользования) и экономию, возникающую в пути следования из-за исключения переработки вагонов и использования поездов более дорогих категорий (сборных, вывозных, передаточных) на начальном и конечном этапах перевозки.

В общем к начально-конечным операциям относятся такие виды работ и услуг:

- уведомление о прибытии груза и подаче груженых или порожних вагонов на железнодорожные пути необщего пользования или к фронтам погрузки (выгрузки) на местах общего пользования;

- выполнение приемо-сдаточных операций (осмотр и передача вагонов в техническом и коммерческом отношении);

- подгруппировка вагонов для подачи под погрузку (выгрузку) определенным грузоотправителям (грузополучателям) и подготовка их к подаче;

- прием к отправлению (включая проверку правильности погрузки и крепления грузов на открытом подвижном составе) и выдача грузов, а также оформление перевозочных документов железнодорожной станцией;

- маневровая работа по расформированию поездов различных категорий (маршрутных, передаточных, вывозных, сборных), прибывших на железнодорожные станции погрузки, выгрузки, по предназначению вагонов и грузов, а также по формированию на железнодорожной станции отправления поездов различных категорий;

- маневровая работа по подаче (уборке) порожних и груженых вагонов на (с) выставочные

(приемо-сдаточные) пути, принадлежащие железной дороге и расположенные в пределах железнодорожной станции;

- маневровая работа по подаче (уборке) порожних и груженых вагонов в места общего пользования железнодорожных станций;

- расходы по содержанию и обслуживанию зданий, сооружений, оборудования и инвентаря хозяйства грузовой и коммерческой работы и хозяйства перевозок;

- расходы по содержанию технологических центров по обработке перевозочных документов;

- расходы по амортизации, содержанию и ремонту станционных путей (без железнодорожных путей необщего пользования), устройств сигнализации и связи, а также расходы по приему и отправлению поездов на железнодорожных станциях, работе поездных локомотивов, их амортизации, содержанию и капитальному ремонту.

В то же время при формировании маршрутов на подъездных путях железной дороге в во многих случаях сдается готовый поезд, отвечающий требованиям ПТЭ, и даже с заполненной воздухом тормозной магистралью, а здания, где размещаются работники железных дорог, находятся на балансе промышленных предприятий. Аналогичная ситуация складывается и при погашении маршрутов на подъездных путях. В таких условиях стоимость услуг и работ, выполняемых железной дорогой, при отправительской маршрутизации может быть существенно меньшей и составлять порядка 15–20 % стоимости начально-конечных операций, предусмотренных тарифом.

Поэтому в качестве базовых расходов железной дороги должны быть приняты расходы, когда отправление и погашение поездопотока выполняется на подъездных путях. Расходы железных дорог, связанные с использованием для формирования и погашения отправительских маршрутов инфраструктуры и маневровых средств магистральных станций, должны взиматься в виде дополнительных плат. В этой связи в Украине должна быть разработана «Методика определения ставок договорной платы за формирование прямых отправительских маршрутов на путях общего пользования».

Экономия в пути следования $E_{сл}$ возникает в связи с исключением переработки вагонов

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

и перецепки поездных локомотивов, а также в связи с исключением использования сборных, вывозных, передаточных поездов на начальном и конечном этапе перевозки. Среднее количество переработок вагонов в пути следования зависит от расстояния перевозок L и может быть определено из выражений

$$E_{\text{пер}} = \frac{L}{L_{\text{тр}}} e_{\text{пер}}, L_{\text{тр}} = \frac{L z_{\text{тр}}}{\sum ns}, \quad (2)$$

где $z_{\text{тр}}$ – количество переработок транзитных вагонов на сети в год; $\sum ns$ – вагоно-километры пробега грузовых вагонов в год; $e_{\text{пер}}$ – расходная ставка, связанная с переработкой одного вагона с учетом расходов на перецепку поездных локомотивов.

Величины $z_{\text{тр}}$, $\sum ns$, $e_{\text{пер}}$ в (2) также могут быть установлены на основании данных отраслевой статистики по результатам анализа деятельности Укрзализныци в предшествующий период. Значения $e_{\text{пер}}$, $L_{\text{тр}}$ могут утверждаться и публиковаться совместно с коэффициентами к Сборнику тарифов.

Учет удорожания перевозки вагонов на начальном и конечном этапах движенической операции в (1) осуществляется с помощью коэффициента k , который принимает значения от 1,138 для расстояний до 160 км до 0,902 для расстояний свыше 2 090 км. Учитывая, что стоимость перевозки вагонов в прямых отправительских маршрутах является практически такой же, как и в сквозных поездах, то удорожание движенической операции на начальном и конечном этапах не происходит, и при расчете стоимости этой операции должен применяться минимальный коэффициент $k = 0,902$.

За подачу и уборку вагонов на железнодорожные пути необщего пользования взимается сбор, ставка которого определяется как

$$\Pi = \Pi_{\text{в}} N_{\text{в}} \quad (3)$$

где $\Pi_{\text{в}}$ – ставка сбора за один выход локомотива на железнодорожный путь необщего пользования в зависимости от расстояния подачи и уборки вагонов в оба конца; $N_{\text{в}}$ – среднесуточное количество выходов локомотива на железнодорожный путь необщего пользования.

При этом ставка сбора $\Pi_{\text{в}}$ устанавливается за один выход локомотива на железнодорожный путь необщего пользования в зависимости от расстояния подачи и уборки вагонов в оба конца и определяется по формуле

$$\Pi_{\text{в}} = \left(\frac{l_{\text{пу}}}{v_{\text{м}}} + t_{\text{м}} \right) e_{\text{лчм}} R, \quad (4)$$

где $l_{\text{пу}}$ – расстояние подачи и уборки вагонов в оба конца; $v_{\text{м}}$ – средняя скорость передвижения локомотива с группой вагонов с учетом простоев при пересечении главных путей, остановок у стрелочных переводов и станционных сигналов и т.п.; $t_{\text{м}}$ – среднее время маневровой работы локомотива, выполняемой в процессе подачи и уборки вагонов (расстановка подаваемых вагонов по местам погрузки и выгрузки, уборка вагонов с мест погрузки и выгрузки, подача вагонов на весы и под дозировку, уборка этих вагонов с весов и после дозировки); $e_{\text{лчм}}$ – расходная ставка за локомотиво-час маневровой работы; R – коэффициент рентабельности.

Фактически в [11] для определения величины ставки сбора за подачу и уборку используется зависимость

$$\Pi = f(l_{\text{м}}, N_{\text{в}}),$$

где $N_{\text{в}}$ – суточный вагонооборот подъездного пути.

При этом расчетные значения выражений (3) и (4) основываются на среднесетевых данных и не учитывают конкретные условия работы подъездных путей. Наибольших значений это несоответствие достигает в тех случаях, когда вагоны отправляются и прибывают на подъездные пути с поездными локомотивами. При этом стоимость перемещения вагонов маневровыми локомотивами более чем в 12 раз превышает стоимость локомотивной тяги в движенической операции (1) (при стоимости локомотивной составляющей 30 % от общей стоимости услуг магистральной инфраструктуры и локомотивной тяги). Кроме того, никаких дополнительных операций, учитываемых в (4) элементом $t_{\text{м}}$, локомотивы железной дороги не выполняют.

Для того, чтобы стимулировать грузоотправителей к удлинению и электрификации прие-

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

моотправочных путей необщего пользования с целью обеспечения возможности приема и отправления полноразмерных поездов, сбор за подачу и уборку вагонов на эти подъездные пути локомотивами железной дороги целесообразно определять как увеличение локомотивной составляющей в тарифе

$$P_{п(у)} = k_{л} \frac{l_{пп}}{L} C(L),$$

где $l_{пп}$ – расстояние пробега поездного локомотива по железнодорожному пути необщего пользования; $C(L)$ – тариф за перевозку грузов железным дорогам общего пользования на расстояние L ; $k_{л}$ – доля локомотивной составляющей в стоимости услуг магистральной инфраструктуры и локомотивной тяги.

Результаты

Для внедрения методов тарифного стимулирования отправительской маршрутизации и сохранения существующей структуры тарифа в Сборнике тарифов может быть предусмотрена скидка, дифференцированная от расстояния перевозок. Ориентировочные значения скидок для грузоотправителей при перевозках грузов в частных вагонах прямыми отправительскими маршрутами, формирование и погашение которых происходит на путях необщего пользования, приведено в табл. 2.

Расчет стоимости подачи-уборки вагонов поездными локомотивами, исходя из расстояния перевозки, позволит уменьшить плату за эту операцию в 5–8 раз и создаст реальные стимулы для собственников к инвестированию средств в развитие подъездных путей.

Таблица 2

Поправочные коэффициенты к тарифу для перевозок грузов в собственных вагонах прямыми отправительскими маршрутами

| До 160 | 161–320 | 321–500 | 501–700 | 701–1 000 | 1 001–1 500 | Свыше 1 500 |
|--------|---------|---------|---------|-----------|-------------|-------------|
| 0,64 | 0,77 | 0,83 | 0,87 | 0,9 | 0,92 | 0,95 |

В настоящее время уровень маршрутизации перевозок в Украине составляет около 40 %. Использование предложенных методов стимулирования отправительской маршрутизации позво-

лит, с одной стороны, привлечь инвестиции в железнодорожный транспорт и снизить расходы в логистических цепях поставки грузов, а с другой стороны – закрепить грузоотправителей за железнодорожным транспортом. Характер грузопотоков, перевозимых железнодорожным транспортом Украины, позволяет довести уровень маршрутизации перевозок до показателей США, где он составляет около 60 %.

Электрификация подходов и удлинение путей для возможности отправления с них и приема на промышленные предприятия полноразмерных поездов позволит сократить использование маневровых локомотивов Укрзализныци, износ парка которых превышает 96 %, а также снизить потребление импортных нефтепродуктов.

Научная новизна и практическая значимость

В результате выполненных исследований предложен новый метод определения эффективности отправительской маршрутизации, который, в отличие от существующего, учитывает наличие различных интересов у отдельных участников перевозочного процесса. Получена зависимость поправочных коэффициентов к тарифу для перевозок грузов в собственных вагонах прямыми отправительскими маршрутами от расстояния перевозок, которая обеспечивает приближение тарифа на железнодорожные перевозки к себестоимости перевозок. Предложен метод определения ставки сборов на подачу и уборку вагонов на подъездные пути поездными локомотивами.

Выводы

Эффективным методом снижения расходов в логистических цепях поставки грузов является отправительская маршрутизация перевозок грузов. Создание системы тарифных скидок на перевозку грузов отправительскими маршрутами в Украине соответствует мировой практике и позволяет приблизить тариф к реальной себестоимости перевозок. Такой шаг, с одной стороны, создаст стимулы к инвестициям частных средств в развитие инфраструктуры и маневровых средств подъездных путей, с другой – позволит закрепить грузоотправителей за железнодорожными дорогами и остановить их отток на альтернативные виды транспорта.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Верлан, А. І. Підвищення ефективності управління приватним вагонним парком за рахунок відправницької маршрутизації порожніх вагонопотоків / А. І. Верлан, Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора // Заліз. трансп. України. – 2012. – № 6. – С. 35–37.
2. Верлан, А. И. Совершенствование организации вагонопотоков в логистической цепи поставки железорудного сырья с Полтавского ГОКа в транспортный узел ТИС / А. И. Верлан, Д. Н. Козаченко, А. И. Шепета // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. / ДНУЗТ. – Д., 2012. – Вип. 3. – С. 20–24.
3. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах СССР. – М. : Транспорт, 1984. – 256 с.
4. Інструктивні вказівки з організації вагонопотоків на залізницях України. – К. : ТОВ «Швидкий рух», 2005. – 100 с.
5. Козаченко, Д. Н. Проблемы стимулирования отправительской маршрутизации на железнодорожном транспорте / Д. Н. Козаченко // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2013. – № 3 (192). – С. 207–211.
6. Корецкая, С. А. Необходимость внедрения логистики в связи с реформированием железнодорожного транспорта в Украине / С. А. Корецкая // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – Вип. 18. – С. 206–208.
7. Методика определения эффективности для ОАО "РЖД" отправительской маршрутизации и ставок договорной платы за формирование прямых отправительских маршрутов на путях общего пользования. Утверждена распоряжением ОАО "РЖД" от 24.07.2007 № 1379 р. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakonbase.ru/content/nav/135116>. – Загл. с экрана.
8. Прейскурант №10-01 «Тарифы на перевозку грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые Российскими железными дорогами». [Электронный ресурс] : в 2 ч. – Режим доступа: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6188. – Загл. с экрана.
9. Про затвердження Коефіцієнтів, що застосовуються до тарифів Збірника тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом України : Наказ Міністерства трансп. України 27.12.2002 № 934 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z1015-02>. – Загл. с экрана.
10. Снитко, Н. П. Необходимость и цели реформирования железнодорожного транспорта в Украине / Н. П. Снитко, Н. С. Соколовская, И. В. Радионов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – Вип. 18. – С. 255–259.
11. Тарифне керівництво № 1. Збірник тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом у межах України та пов'язані з ними послуги. – К. : «Укрзалізниця», 2009. – 200 с.
12. Expansion of U.S. Corn-based Ethanol from the Agricultural Transportation Perspective [Электронный ресурс] / USDA Ethanol Transportation Backgrounder. – 2007. – September. – Режим доступа : [http://www.nationalwatermelonassociation.com/docs/Ethanol Transportation Backgrounder.pdf](http://www.nationalwatermelonassociation.com/docs/Ethanol%20Transportation%20Backgrounder.pdf). – Загл. с экрана.
13. Forkenbrock, D. J. Comparison of external costs of rail and truck freight transportation / D. J. Forkenbrock // Transportation Research. Part A : Policy and Practice. – 2001. – Vol. 35. – Iss. 4. – P. 321–337.
14. Kenkel, P. An Economic Analysis Of Uit-Train Facility Investment [Электронный ресурс] / P. Kenkel, S. Henneberry, H. N. Agustini // Sel. Paper prepared for presentation at the Southern Agr. Economics Assoc. Annu. Meet. (14.02–18.02.2004). – Tulsa, 2004. – Режим доступа : <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/34748/1/sp04ke02.pdf>. – Загл. с экрана.
15. Kreutzberger, E. Lowest Cost Intermodal Rail Freight Transport Bundling Networks: Conceptual Structuring and Identification / E. Kreutzberger // Europ. J. of Transport and Infrastructure Research. – 2010. – Iss. 10 (2). – P. 158–180.
16. Study of Railroad Rates: 1985-2007 [Virtual Resource] / Surface Transportation Board. Office of Economics, Environmental Analysis & Administration Section of Economics, 2009. – Mode of access: <http://www.stb.dot.gov/stb/industry/1985-2007RailroadRateStudy.pdf>. – Title from the screen. – Date of Access: 01 December 2013.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

А. І. ВЕРЛАН^{1*}

^{1*}ТОВ «Трансінвестсервіс», вул. Чапаєва, 50, с. Візірка, Одеська область, Україна, 67543, тел. +38 (0482) 30 07 24,
ел. пошта averlan@tis.ua

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ СТИМУЛЮВАННЯ ВІДПРАВНИЦЬКОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Мета. Метою статті є оцінка витрат, які перерозподіляються в системі «вантажовідправник–залізниця–вантажодержувач» при маршрутизації залізничних перевезень, і розробка методів тарифного стимулювання вантажовідправників до формування відправницьких маршрутів. **Методика.** За допомогою методів економіко-математичного аналізу в статті досліджено розподіл витрат між різними учасниками перевізного процесу в умовах формування відправницьких маршрутів. **Результати.** Для впровадження методів тарифного стимулювання відправницької маршрутизації та збереження існуючої структури тарифу в «Збірнику тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом України» запропоновано передбачити знижку для відправницьких маршрутів, диференційовану від відстані перевезень. Також запропонована нова методика визначення величини зборів для подачі й прибирання вагонів на під'їзні шляхи поїздами локомотивами. **Наукова новизна.** У результаті виконаних досліджень запропоновано новий метод визначення ефективності відправницької маршрутизації, який, на відміну від існуючого, враховує наявність різних інтересів в окремих учасників перевізного процесу. Одержано залежність поправочних коефіцієнтів до тарифу на перевезення вантажів у власних вагонах прямими відправницькими маршрутами від відстані перевезень. Реалізація відповідних коефіцієнтів забезпечить наближення тарифу на залізничні перевезення до собівартості перевезень. Запропоновано метод визначення ставки зборів на подачу та забирання вагонів на під'їзні колії поїздами локомотивами. **Практична значимість.** Створення в Україні системи тарифних знижок на перевезення вантажів відправницькими маршрутами відповідає світовій практиці й дозволяє наблизити тариф до реальної собівартості перевезень. Такий крок, з одного боку, створить стимули для інвестицій приватних коштів у розвиток інфраструктури та маневрових засобів під'їзних колій, а з іншого – дозволить закріпити вантажовідправників за залізницями й зупинити їх відтік на альтернативні види транспорту.

Ключові слова: маршрутні відправки; залізничні тарифи; знижки; під'їзні колії; подача-прибирання вагонів

А. І. VERLAN^{1*}

^{1*}«Transinvestservice» Ltd., Chapayev St., 50, vlg. Vizyrka, 67543, Odessa region, Ukraine, 67543, tel. +38 (0482) 30 07 24,
e-mail averlan@tis.ua

STIMULATION METHODS IMPROVEMENT OF EXIT ROUTE ON RAILWAY TRANSPORT

Purpose. The purpose of the article is to assess the costs, which are redistributed in the system «shipper–railroad–consignee» during routing of rail transportation and the development of tariff simulation methods of shippers to the exit routes formation. **Methodology.** Using economic and mathematical analysis the distribution of costs among the various participants of transportation process during the exit routes formation is investigated in the article. **Findings.** For implementation of the tariff simulation methods of exit routes and retention of the existing tariff structure it is proposed to provide in the «Tariff catalogue for freight transportation by railway transport of Ukraine» the discount, differentiated from haulage distance. A new method for determining the fees amount for cars supply and removal on approach tracks by train locomotives was also offered. **Originality.** As a result of the research a new method for determination of the exit route efficiency that, unlike the existing one, takes into account the various interests of the individual participants in the transportation process was proposed. The dependence of the correction factors to the tariff for freight transportation in their own cars by direct exit routes from distance haulage was obtained. Implementation of these coefficients provides an approximation of railway tariffs to the traffic handling costs. A method for determination the rate of fees for cars supply and removal on approach tracks by train lo-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

comotives was offered. **Practical value.** In Ukraine creation of the tariff discounts system for freight transportation by exit routes consistent with international practice and allows bringing the tariff to the real traffic handling cost. This change on the one hand will provide stimulation for private capital investments in infrastructure development and shunting means of approach tracks, on the other – it will fix the shippers to the railroads and stop their outflow for alternative modes of transport.

Keywords: block train shipment; railroad tariff; discount, approach rack; cars supply and removal

REFERENCES

1. Verlan A.I., Kozachenko D.M., Vernyhora R.V. Pidvyshchennia efektyvnosti upravlinnia pryvatnym vahon-
nym parkom za rakhunok vidpravnytskoi marshrutyzatsii porozhnikh vahonopotokiv [Effectiveness of man-
agement improvement of a private car park by exit route of empty train traffic volume]. *Zaliznychnyi transport
Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2012, no. 6, pp. 35-37.
2. Verlan A.I., Kozachenko D.N., Shepeta A.I. Sovershenstvovaniye organizatsii vagonopotokov
v logisticheskoy tsepi postavki zhelezo-rudnogo syrya s Poltavskogo GOKa v transportnyy uzel TIS [Im-
provements of train traffic volumes organization in supply logistic chain of iron - ore raw materials from Pol-
tava MCC (Mining and Concetration Complex) in to TIS transport hub]. *Transportni systemy ta tekhnologii
perevezhen – Transportation systems and transportation technology*, 2012, issue 3, pp. 20-24.
3. *Instruktyvni vказivky z orhanizatsii vahonopotokiv na zaliznytsiakh Ukrainy* [Guidance due to the organization of
train traffic volumes organization on the Ukraine railways]. Kyiv, TOV «Shvydkyi rukh» Publ., 2005. 100 p.
4. *Instruktyvnyye ukazaniya po organizatsii vagonopotokov na zheleznykh dorogakh SSSR* [Guidance due to the
organization of train traffic volumes on the USSR railways]. Moscow, Transport Publ., 1984. 256 p.
5. Kozachenko D.N. Problemy stimulirovaniya otpravitskoy marshrutyzatsii na zheleznodorozhnom transporte
[Questions of exit routine stimulation at railways transport]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho univer-
sytetu imeni V. Dalia* [Bulletin of East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl], 2013,
no. 3 (192), pp. 207-211.
6. Koretskaya S.A. Neobkhodimost vnedreniya logistiki v svyazi s reformirovaniyem zheleznodorozhnogo trans-
porta v Ukraine [Logistics introduction need in connection with the railway transport reformation 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], 2007, issue 18, pp. 206-208.
7. *Metodika opredeleniya effektivnosti dlya OAO "RZhD" otpravitskoy marshrutyzatsii i stavok dogovorno-
y platy za formirovaniye pryamykh otpravitskikh marshrutov na putyakh obshchego polzovaniya* [Methodol-
ogy for determining the efficiency for JSC "Russian Railways" exit route and contract rates for the formation
of direct exit routes on the public railway tracks]. Available at: <http://zakonbase.ru/content/nav/135116> (Ac-
cessed 01 December 2013).
8. *Preyskurant №10-01 «Tarify na perevozku gruzov i uslugi infrastruktury, vpolnyayemye Rossiyskimi
zheleznyimi dorogami»* [Pricelist no. 10-01 «Tariffs for freight transportation and infrastructure services per-
formed by the Russian railways». Part I. Part II]. Available at: [http://doc.rzd.ru/doc/public/
ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6188](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6188) (Accessed 01 December 2013).
9. *Pro zatverdzhennia Koefitsientiv, shcho zastosovuiutsia do taryfiv Zbirnyka taryfiv na perevezennia vantazhiv
zaliznychnym transportom Ukrainy: Nakaz Ministerstva transportu Ukrainy* [On approval of Coefficients that
are applied to tariffs in Tariffs Catalogue concerning cargo transportation by Ukrainian railway: Ministry of
Transport in Ukraine Decree]. Available at: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z1015-02> (Accessed 01 De-
cember 2013).
10. Snitko N.P., Sokolovskaya N.S., Radionov I.V. Neobkhodimost i tseli reformirovaniya zheleznodorozhnogo
transporta v Ukraine [Reformation need and purposes of railway transport in Ukraine]. *Visnyk Dnipropet-
rovskoho 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. 255-259.
11. *Taryfne kerivnytstvo no. 1. Zbirnyk taryfiv na perevezennia vantazhiv zaliznychnym transportom u mezhakh
Ukrainy ta poviazani z nymy posluhy* [Tariff guide number 1. Tariffs catalogue for freight transportation by
railway within Ukraine and related services]. Kyiv, «Ukrzaliznytsia» Publ., 2009. 200 p.
12. Expansion of U.S. Corn-based Ethanol from the Agricultural Transportation Perspective. *USDA Ethanol
Transportation Backgrounder*, 2007. Available at: [http://www.nationalwatermelonassociation.com/docs/
Ethanol Transportation Backgrounder.pdf](http://www.nationalwatermelonassociation.com/docs/Ethanol%20Transportation%20Backgrounder.pdf) (Accessed 01 December 2013).

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

13. Forkenbrock D.J. Comparison of external costs of rail and truck freight transportation. *Transportation Research. Part A: Policy and Practice*, 2001, vol. 35, issue 4, pp. 321-337.
14. Kenkel P., Henneberry S., Agustini H.N. An Economic Analysis Of Uit-Train Facility Investment. Selected Paper prepared for presentation at the Southern Agricultural Economics Association Annual Meeting. Tulsa, 2004. Available at: <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/34748/1/sp04ke02.pdf> (Accessed 01 December 2013).
15. Kreutzberger E. Lowest Cost Intermodal Rail Freight Transport Bundling Networks: Conceptual Structuring and Identification. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 2010, issue 10 (2), pp. 158-180.
16. Study of Railroad Rates: 1985-2007. Surface Transportation Board. Office of Economics, Environmental Analysis & Administration Section of Economics, 2009. Available at: <http://www.stb.dot.gov/stb/industry/1985-2007RailroadRateStudy.pdf> (Accessed 01 December 2013).

Статья рекомендована к публикации д.э.н., проф. Ю. С. Барашем (Украина); к.т.н., доц. А. В. Лаврухиным (Украина)

Поступила в редколлегию 14.11.2013

Принята к печати 27.01.2014

ЭЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 621.332:537.8

Н. А. КОСТИН^{1*}

^{1*}Каф. «Электротехника и электромеханика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 37

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА ПЕРЕДАЧИ И ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В УСТРОЙСТВАХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ

Цель. Теоретическое обоснование «полевого» (на основе электромагнитного поля) подхода к передаче и образованию потерь электроэнергии в устройствах систем тягового электроснабжения и электроподвижного состава. **Методика.** Использованы методы теории электромагнитного поля и, в частности, теория и практика передачи электромагнитной энергии на основе понятия вектора Пойнтинга и элементов теории распространения, отражения и преломления плоских электромагнитных волн. **Результаты.** Выполнены теоретические исследования передачи электромагнитной энергии от тяговой подстанции до электроподвижного состава по диэлектрику (воздуху), окружающему тяговую сеть (между контактным проводом и рельсом). Предложено стратегически конструировать «приземистые» (невысокие) типы электроподвижного состава. Оценены составляющие потока электроэнергии сквозь крышу электроподвижного состава и его лобовую часть кузова, что позволило достоверно оценить активные потери мощности в системе электротяги. Для компенсации реактивной мощности, потребляемой электроподвижным составом и обусловленной стоячими волнами, предложено (для гашения последних) создавать и помещать перед электроподвижным составом слой определённой среды с необходимыми параметрами. **Научная новизна.** Впервые предложен «полевого» принцип анализа передачи электроэнергии и возникновения её потерь в системах электрической тяги. Установлены закономерности движения потоков электромагнитной энергии через крышу и лобовую часть кузова электроподвижного состава. **Практическая значимость.** Получено выражение абсолютной величины вектора Пойнтинга в точках диэлектрика (воздуха) между контактным проводом и рельсом, позволяющее оценить наибольшую плотность энергии, передаваемой в единицу времени, и спрогнозировать основные габаритные размеры единицы электроподвижного состава. Численно оценены энергетические показатели крыши кузова электроподвижного состава, через которую проникают электромагнитные волны при переносе электроэнергии.

Ключевые слова: электроэнергия; передача; потери; вектор Пойнтинга; контактные провода; рельсы; электроподвижной состав; электромагнитные волны

Введение

Существующие научные публикации, в которых излагаются результаты исследований электроэнергетических процессов в системах электрической тяги, базируются на «цепном подходе», т.е. на теории линейных и нелинейных электрических и магнитных цепей, хотя, по существу, все электромагнитные и электроэнергетические процессы при их полном и детальном изучении требуют «полевого» подхо-

да, основывающегося на теории электромагнитного поля. По нашему мнению, именно это является едва ли не основной причиной недостаточного объяснения хода ряда процессов или существующих фактов в электроэнергетике. Именно «цепной» подход сужает, ограничивает возможности научного управления энергетическими процессами. В этом плане многое необъяснимо, например, в проблеме «утечки», т.е. потерь электроэнергии в системах электротяги,

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

о чем свидетельствует разница показаний счетчиков электроэнергии тяговых подстанций (ТП) и электроподвижного состава (ЭПС). Этим потерям даже дано название – «условные потери» и они директивно нормируются Главным Управлением локомотивного хозяйства Укрзализныци. И хотя ряд авторов [4] пытаются обосновать причины появления и изменения этих потерь, однако, по нашему мнению, используемые или аргументы являются неубедительными. Не исключено, что и дополнительные (непроизводительные) потери электроэнергии в подсистемах электрической тяги [7, 8] могут получить более убедительное, чем существующее, объяснение.

И, наконец, главное в обосновании вышеизложенного. Согласно основам теоретической электротехники, электромагнитная энергия (электроэнергия) передается от источника (тяговой подстанции) к потребителю (электроподвижному составу) не по проводам (т.е. не по электрической цепи), а по диэлектрику (воздуху) между (и за) проводами и она переносится не током, а электромагнитным полем, т.е. электромагнитными волнами.

В этой связи автор работы излагает свое мнение о ряде электроэнергетических вопросов, касающихся передачи энергии в системах электрической тяги. Для этого вспомним, что, как известно из теоретической электротехники, количественно и по направлению передача электроэнергии (заметим, и информации) по диэлектрику характеризуется вектором Пойнтинга \vec{P} [2, 10, 12]:

$$\vec{P} = [\vec{E} \vec{H}], \quad (1)$$

где \vec{E} и \vec{H} – векторы напряженностей электрического и магнитного полей в точках диэлектрика. Направление вектора \vec{P} , т.е. направление перемещения электроэнергии в данной точке, совпадает с поступательным движением правоходового винта при вращении системы векторов $\vec{E} - \vec{H}$ от вектора \vec{E} к вектору \vec{H} в сторону меньшего угла между ними.

Цель

Теоретическое обоснование процесса передачи и образования потерь электроэнергии в устройствах систем электрического транспор-

та на основе теории электромагнитного поля, с использованием известного понятия вектора Пойнтинга. Численная оценка потоков электроэнергии, поступающей от тяговой подстанции и входящей в электроподвижной состав через металлические части его кузова, что позволит достоверно определить активные потери мощности в устройствах системы электротяги.

Методика оценки отраженных и преломленных электромагнитных волн

Как известно [3, 5], если плоская синусоидально изменяющаяся электромагнитная волна, движущаяся в среде 1 с параметрами ϵ_{a1} , μ_{a1} , γ_1 встречает на своем пути поверхность другой среды 2 с параметрами ϵ_{a2} , μ_{a2} , γ_2 и эта волна падает (падающая волна, имеющая напряженности $\vec{E}_{\text{пад}}$, $\vec{H}_{\text{пад}}$) перпендикулярно границе сред, то она частично отражается $\vec{E}_{\text{от}}$, $\vec{H}_{\text{от}}$ с коэффициентом отражения $\rho_{\text{от}}$

$$\rho_{\text{от}} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}, \quad (2)$$

и при этом

$$\vec{E}_{4\tau}, \quad (3)$$

$$\vec{H}_{\text{от}} = -\rho_{\text{от}} \vec{H}_{\text{пад}}, \quad (4)$$

а частично проникает (проходит, преломляется) $\vec{E}_{\text{пр}}$, $H_{\text{пр}4} = 1,42 H_{\text{пад}}$ в другую среду 2 с коэффициентом прохождения (преломления) $\vec{P}_{\text{кр}}$, определяемым:

– для волн напряженности электрического поля по выражению

$$\rho_{\text{пр}}^E = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1}, \quad (5)$$

при этом

$$\vec{E}_{\text{пр}} = \rho_{\text{пр}}^E \vec{E}_{\text{пад}}; \quad (6)$$

а для волн напряженности магнитного поля по формуле

$$\rho_{\text{пр}}^H = \frac{2Z_1}{Z_2 + Z_1}, \quad (7)$$

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

при этом

$$\vec{H}_{\text{пр}} = \rho_{\text{пр}}^H \cdot \vec{H}_{\text{пд}}, \quad (8)$$

где Z_1 , Z_2 – в общем случае комплексные волновые сопротивления сред 1 и 2, определяемые:

– для диэлектриков как

$$Z_{\text{диэл}} = \sqrt{\frac{\mu_a}{\epsilon_a}}, \quad (9)$$

являющейся величиной вещественной;

– для проводящей среды по выражению

$$Z_{\text{пров.ср.}} = \sqrt{\frac{\omega \mu_a}{\gamma}} e^{j45^\circ}, \quad (10)$$

где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота синусоидально изменяющихся напряжения и тока, создающих электромагнитное поле (волны).

Из выражений (2), (9) и (10) вытекает, что, если среды 1 и 2 имеют одинаковые параметры, то отраженная волна отсутствует и в среде 1 имеет место только падающая волна, а в среде 2 – только преломленная.

Независимо от угла падения падающей волны на границу раздела сред 1 и 2, преломленная

волна распространяется в проводящей среде, во-первых, всегда в направлении нормали к границе раздела сред и, во-вторых, эта волна затухает на глубине δ , определяемой по выражению

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \gamma_2 \mu_{a2}}}. \quad (11)$$

И, наконец, последнее замечание: так как волны, отражаясь, не изменяют осей векторов, а только могут изменять их знак, то вместо соответствующих векторов \vec{E} и \vec{H} можно рассматривать их векторные модули.

Результаты

Поток энергии в воздухе между контактной сетью и рельсом.

Рассмотрим передачу электроэнергии от тяговой подстанции до ЭПС по фидерной зоне с односторонним питанием постоянным током I , с наиболее распространенной контактной подвеской 2МФ – 100 + А185 и рельсом Р65 (рис. 1).

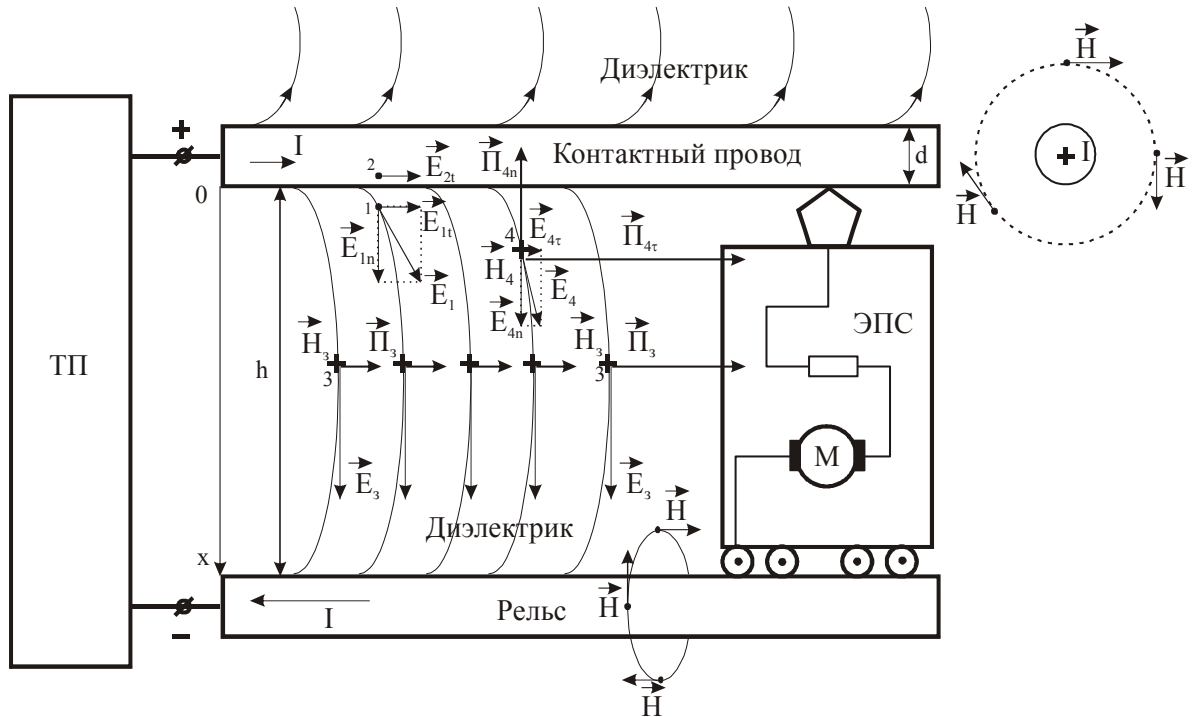


Рис. 1

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Электромагнитное поле в диэлектрике (воздухе), окружающем контактную сеть, описывается системой уравнений [2]:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = 0, \quad (12)$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = 0, \quad (13)$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0, \quad (14)$$

$$\operatorname{div} \vec{D} = \operatorname{div} \epsilon_a \vec{E} = 0, \quad (15)$$

$$\vec{B} = \mu_a \vec{H}, \quad (16)$$

$$\vec{D} = \epsilon_a \vec{E}, \quad (17)$$

$$\vec{E} = -\operatorname{grad} V. \quad (18)$$

Уравнение (13) свидетельствует о том, что электрическое поле в воздухе безвихревое, т.е. потенциальное, и поэтому справедливо уравнение (18). Приняв, что диэлектрическая среда однородная, т.е. $\epsilon_a = \text{const}$, и подставив (18) в (15), получим уравнение Лапласа

$$\operatorname{div} \operatorname{grad} V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0, \quad (19)$$

которому подчиняется потенциал $V(x, y, z)$ в каждой точке диэлектрика тяговой сети системы. В первом приближении будем считать, что потенциал V изменяется только в зависимости от координаты x , т.е. от контактной подвески до рельса (рис. 1), тогда (19) упростится:

$$\frac{d^2 V(x)}{dx^2} = 0. \quad (20)$$

Решение уравнения (20) возможно при заданных граничных условиях. Таким условием является равенство касательных составляющих напряженности электрического поля (рис. 1): $\vec{E}_{1t} = \vec{E}_{2t}$. Составляющая \vec{E}_{2t} в проводнике может быть определена из известного выражения:

$$E_{2t} = \frac{J}{\gamma},$$

где J – плотность тока в контактной сети; γ – удельная электропроводность материала сети.

Например, фидерный ток при одном поезде, ведомым электровозом ДЭ1, не превышает $I = 2000$ А, а поперечное сечение эквивалент-

ной контактной подвески 2МФ – 100 + А185 может быть найдено согласно [6] как

$$S_{\text{эк}} = 2 \cdot 100 + \frac{185}{1,7} = 308,82 \text{ мм}^2 = 308,82 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

$$\text{Тогда: } J = \frac{I}{S_{\text{эк}}} = \frac{2000}{308,82 \cdot 10^{-6}} = 6,48 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2.$$

Приняв величину γ для меди равную $5,8 \cdot 10^7 \text{ См/м}$, находим, что

$$E_{2t} = \frac{6,48 \cdot 10^6}{5,8 \cdot 10^7} = 0,112 \text{ В/м}.$$

В тоже время нормальная составляющая напряженности \vec{E}_{1n} в диэлектрике $E_{1n} \sim \frac{U}{h}$ (рис. 1), т.к. поле в диэлектрике неоднородное и наиболее сильное около проводов подвески. Приняв h максимальным (согласно ПТЭ), находим:

$$E_{1n} \sim \frac{3300}{6,8} = 485,3 \text{ В/м}.$$

Следовательно, E_{1t} , равное E_{2t} и равное $0,112 \text{ В/м}$, меньше E_{1n} в $4,3 \cdot 10^3$ раза. Следовательно, при расчете электрического поля в воздухе вокруг подвески составляющей \vec{E}_{1t} можно пренебречь и пользоваться граничным условием электростатики, т.е. условием эквипотенциальности поверхности проводника. При этом условии выполним решение уравнения (20):

$$\frac{dV(x)}{dx} = C_1;$$

$$V(x) = C_1 x + C_2, \quad (21)$$

где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования.

Согласно рис. 1, при $x=0$ $V=U$, а при $x=h$; $V=0$. Тогда из (21) имеем:

$$V(x=0) = U = C_1 \cdot 0 + C_2, \text{ т.е. } C_2 = U.$$

$$\text{Одновременно: } V(x=h) = 0 = C_1 h + U,$$

$$\text{откуда } C_1 = -\frac{U}{h}.$$

Тогда окончательно имеем:

$$V(x) = -\frac{U}{h} x + U, \quad (22)$$

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

а напряженность в воздухе между контактной подвеской и рельсом

$$E(x) = -\text{grad}V(x) = -\frac{dV}{dx} = \frac{U}{h}. \quad (23)$$

Напряженность магнитного поля найдем, пользуясь законом полного тока (рис. 1) $H \cdot 2\pi r_0 = I$ с учетом того, что $r_0 = x + d/2$, имеем

$$H(x) = \frac{I}{2\pi(x + d/2)}, \quad (24)$$

где d – диаметр эквивалентного провода подвески.

При дальнейшем энергетическом анализе учтем, что к напряженности $H(x)$, определяемой по формуле (24) и созданной эквивалентным проводом контактной подвески, следует прибавить составляющую, созданную током в рельсах; выражения для результирующей напряженности в любой точке (двухпроводной линии электропередач) можно найти, например, в [1].

Подставив (23) и (24) в (1), получаем в первом приближении (без учета \vec{H} , создаваемом током в рельсе) выражение абсолютной величины вектора Пойнтинга \vec{P} в точках диэлектрика (воздуха) между контактной подвеской и рельсом:

$$|P| = \frac{U I}{2\pi h(x + d/2)}. \quad (25)$$

В точках 1, 2, 3 и 4 (рис. 1) вектор \vec{H} направлен за плоскость листа, а направление вектора \vec{E} такое, как показано на рис. 1; при этом \vec{E}_4 раскладывается на две составляющие: касательную \vec{E}_{4t} и нормальную \vec{E}_{4n} к поверхности провода. Тогда, учитывая изложенное выше правило направления вектора Пойнтинга \vec{P} , можно сделать следующие выводы (рис. 1).

1. В точке 3, т.е. в средней части пространства тяговой сети вектор \vec{P}_3 , т.е. поток энергии, полностью направлен от ТП до ЭПС.

2. В точке 4 составляющая \vec{E}_{4n} и вектор \vec{H}_4 , согласно (1), обуславливают образование

составляющей вектора Пойнтинга \vec{P}_{4t} , который также имеет направление к нагрузке (ЭПС).

3. Также в т. 4 составляющая \vec{E}_{4t} и \vec{H}_4 образуют нормальную составляющую \vec{P}_{4n} , направленную из диэлектрика (воздуха) в проводник. На границе с проводником падающая из воздуха электромагнитная волна (\vec{E}_{4t}, \vec{H}_4) частично отражается от поверхности провода, а частично проходит (преломляется) в него; определим отраженную волну.

Для воздуха, являющегося средой 1, волновое сопротивление равно:

$$Z_1 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = \sqrt{\frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{8,854 \cdot 10^{-12}}} = 376,7 \text{ Ом}$$

Средой 2 является проводящая среда – эквивалентный провод контактной сети 2МФ – 100 + А185. Сечение этого провода, найденное выше, равно $308,82 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$. При этом диаметр провода составит 19,83 мм, удельная электропроводность

$$\gamma_2 = \gamma_{\text{эк.пр.}} = 5,0 \cdot 10^7 \text{ См/м}, \text{ а } \mu_{r2} = 1,0.$$

Фидерный ток является выпрямленным, шести- или двенадцатипульсирующим; в нем преобладают гармоники от 300 до 2 400 Гц. Тогда волновое сопротивление материала эквивалентного провода, согласно (10), будет равно

$$\begin{aligned} Z_2 &= \sqrt{\frac{2\pi \cdot 2000 \cdot 1 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}{5 \cdot 10^7}} = \\ &= 177,6 \cdot 10^{-7} \cdot e^{j45^\circ} \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Определим коэффициент отражения на границе «воздух – поверхность провода» по выражению (2):

$$\rho_{\text{от12}} = \frac{177,6 \cdot 10^{-7} \cdot e^{j45^\circ} - 376,7}{177,6 \cdot 10^{-7} \cdot e^{j45^\circ} + 376,7} \approx -1.$$

Тогда, согласно (3) и (4), напряженности поля отраженной волны:

$$\vec{E}_{\text{от1}} \approx -\vec{E}_{\text{пл1}};$$

$$\vec{H}_{\text{от1}} \approx \vec{H}_{\text{пл1}}.$$

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

То есть, отраженная волна почти полностью отражаясь, меняет знак у вектора \vec{E} .

Коэффициенты преломления, согласно (5) и (7), составят:

$$\rho_{\text{пр}2}^E = \frac{2 \cdot 177,6 \cdot 10^{-7} \cdot e^{j45^\circ}}{177,6 \cdot 10^{-7} \cdot e^{j45^\circ} + 376,7} \approx 0,94 \cdot 10^{-7} e^{j45^\circ},$$

$$\rho_{\text{пр}2}^H = \frac{2 \cdot 376,7}{177,6 \cdot 10^{-7} \cdot e^{j45^\circ} + 376,7} \approx 20.$$

Несмотря на полученные значения коэффициента $\rho_{\text{пр}}$, часть падающей волны преломляется и проходит согласно (11) в провод на глубину δ :

4,11 мм – синусоидальная волна частоты 300 Гц;

1,45 мм – синусоидальная волна частоты 2 400 Гц.

Таким образом, эквивалентный провод диаметром $d = 19,83$ мм контактной подвески является «непроницаемым» для волны; она затухает на глубине 1,45...4,11 мм. Энергия этой волны расходуется на тепловые потери в проводе, возникающие при протекании в нем фидерного тока.

4. Согласно (25), наибольшая плотность электроэнергии в единицу времени передается в пространстве малых значений x (см. рис. 1), то есть в пространстве вокруг проводов контактной сети и рельса.

Можно показать, что такое же состояние по направлению электроэнергии наблюдается и в пространстве выше контактной сети, и в подрельсовом основании с землей; только значения вектора \vec{P} будут другие, учитывая неоднородность всей тяговой сети.

Учитывая вышеизложенное и выражение (25), можно высказать следующие стратегические предложения относительно устройств систем электрической тяги. Согласно (25), с уменьшением величины h , т.е. с уменьшением расстояния между контактным проводом и головкой рельса, возрастает плотность электроэнергии, передаваемой от ТП к ЭПС. Согласно ПТЭ, $h_{\text{max}} = 6,8$ м, а $h_{\text{min}} = 5,75$ м. Следовательно, в проектируемых системах электротяги целесообразно уменьшать h , а соответственно конструировать невысокие «приземистые» (но,

вероятно, удлиненные) типы ЭПС. В этом предложении нет ничего необычного, если учесть, что одним из важнейших показателей технического прогресса в настоящее время является уменьшение пространства, занимаемого электромагнитным устройством [9, 13], ведь недаром создаются микроЭВМ, микромашины (электрические), различного рода микроаппараты и пр. В энергетическом плане для решения указанных устройств целесообразно ввести коэффициент использования конструкционного пространства η :

$$\eta = \frac{P_{\text{min}}}{P_{\text{max}}}, \quad (26)$$

$$0 \leq \eta \leq 1.$$

Поток электроэнергии сквозь ввод в крыше и собственно крышу ЭПС.

Из общего потока электроэнергии, поступающей (несущий волнами) к ЭПС из воздушного пространства тяговой сети можно выделить два потока: основной и второстепенный. Основной – поток энергии, представляющий существенно наибольшую часть энергии, получаемой ЭПС. Он концентрируется вокруг проводов тяговой сети и поступает в электрооборудование высоковольтной камеры через крышевой проходной изолятор, т.е. поверхность крыши (рис. 2), и через нижнюю часть камеры из пространства вокруг рельса. Второстепенный – это поток электроэнергии, несущий волнами, которые падают на лобовую часть кузова ЭПС, состоящую, в свою очередь, из металлической и диэлектрической (стекло кабины) частей (рис. 2). Для дальнейшего анализа (согласно рис. 2) дадим следующую нумерацию сред, в которых распространяются волны, неся электроэнергию:

1 – воздух вокруг проводов (и рельса) тяговой сети;

2 – эквивалентный провод к.с.;

3 – рельс;

4 – изолятор крышевой проходной;

5 – металл крыши;

6 – воздух в высоковольтной камере;

7 – стекло кабины;

8 – металлическая часть.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

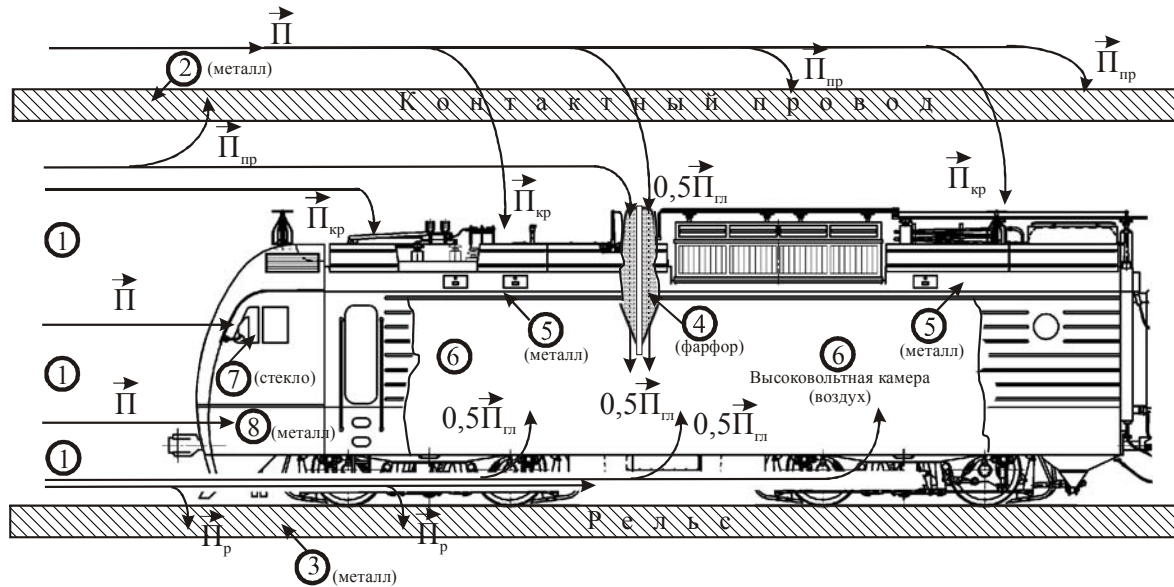


Рис. 2

Вначале рассмотрим основной поток, в котором можно выделить следующие составляющие вектора Пойнтинга, несущие этот поток (рис. 2).

1. Главный вектор $(0,5 \vec{P}_{\text{гл}})$, соответствующий плотности потока энергии, поступающей в элементы силовой тяговой цепи ЭПС (в высоковольтную камеру) через проходной крышевой фарфоровый изолятор. Для анализа электромагнитных волн, несущих $\vec{P}_{\text{гл}}$, определим коэффициенты отражения $\rho_{\text{от}14}$ и преломления $\rho_{\text{пр}14}$ на границе «воздух 1 – фарфор 4». Для идеальных диэлектриков, какими принимаем воздух ($\epsilon_{r1}=1,0$) и фарфор ($\epsilon_{r4}=6,0$), формулы (2) и (5) для $\rho_{\text{от}}$ и $\rho_{\text{пр}}$ упрощаются:

$$\rho_{\text{от}14} = \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r4}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r4}}} = \frac{\sqrt{1} - \sqrt{6}}{\sqrt{1} + \sqrt{6}} = -0,42,$$

$$\rho_{\text{пр}4}^E = \frac{2\sqrt{\epsilon_{r1}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r4}}} = \frac{2\sqrt{1}}{\sqrt{1} + \sqrt{6}} = 0,58.$$

Следовательно: $E_{\text{от}14} = -0,42 E_{\text{пл}1}$;

$$\rho_{\text{пр}4}^H = \frac{2\sqrt{\epsilon_{r4}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r4}}} = 1,42.$$

$$H_{\text{от}14} = -(0,42 H_{\text{пл}1}) = 0,42 H_{\text{пл}1}$$

$$E_{\text{пр}4} = 0,58 E_{\text{пл}1};$$

$$H_{\text{пр}4} = 1,42 H_{\text{пл}1}.$$

Как видим, часть энергии отражается от изолятора. Чтобы эта часть была минимальной, необходимо этот изолятор подбирать с ϵ_r , близкой к $\epsilon_r = 1,0$.

Вторая половина $\vec{P}_{\text{гл}}$ (рис. 2) поступает в высоковольтную камеру ЭПС из пространства вокруг рельса (т.е. «снизу» ЭПС). Распространение волн в этом пространстве и передачу по нему электроэнергии требует более глубокого анализа, который здесь пока что не приводится.

2. Вектор мощности (Пойнтинга) $\vec{P}_{\text{кр}}$, проникающий в металлическую крышу ЭПС сквозь ее поверхность (рис. 2). Вектор $\vec{P}_{\text{кр}}$ направлен по нормали к поверхности. Материал крыши – листовая конструкционная сталь толщиной 2 мм с параметрами: $\gamma = 7 \cdot 10^6 \text{ См/м}$; $\mu_r = 1000$.

Электромагнитные гармонические волны различных частот, падая из воздуха 1 на границу с поверхностью металлической крыши 5 (рис. 2), частично отражаются, а частично про-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

никают в металл крыши, постепенно затухая и одновременно обуславливая потери электро-энергии в металле крыши.

Волновое сопротивление металла крыши \underline{Z}_5 , найденное по выражению (10) для $f = 2\ 400$ Гц, составляет $164,4 \cdot 10^{-5} e^{j45^\circ}$ Ом, а воздуха $-\underline{Z}_1 = 376,7$ Ом. Подставив \underline{Z}_1 и \underline{Z}_5 в (2), получаем коэффициент отражения волн от поверхности крыши $\rho_{om15} \approx -1$, а подставив в (5) – коэффициент преломления $\rho_{np15} \approx 0,87 \cdot 10^{-5} e^{j45^\circ}$. Глубина δ_5 , на какую проникает волна частотой $2\ 400$ Гц, составляет $0,128$ мм, частотой 600 Гц – $0,246$ мм, а частотой 50 Гц – $0,85$ мм. Следовательно, т.к. толщина стального листа крыши равна 2 мм, а $\delta_{5\max} = 0,85$ мм, то металл крыши является «непроницаемым» для волн, т.к. волна затухает полностью, не доходя до противоположной поверхности. Это значит, что металлический лист крыши можно рассматривать как бесконечно толстый лист или как бесконечное электропроводящее полупространство, мощность, рассеиваемая в котором, равна вектору Пойнтинга на поверхности (листа) крыши $\vec{P}_{кр}$, умноженному на эту поверхность $S_{кр}$.

Комплексный вектор Пойнтинга на поверхности листа определяется выражением [9]:

$$\underline{P}_S = (1 + j) \sqrt{\frac{\omega \mu_a}{2\gamma}} \frac{H_{mS}^2}{2}, \quad (27)$$

его активная составляющая

$$P_P = \alpha_P \sqrt{\frac{\omega \mu_a}{2\gamma}} \frac{H_{mS}^2}{2}, \quad (28)$$

также реактивная составляющая

$$P_Q = \alpha_Q \sqrt{\frac{\omega \mu_a}{2\gamma}} \frac{H_{mS}^2}{2}, \quad (29)$$

где для стали $\alpha_P = 1,4$, $\alpha_Q = 0,85$; H_{mS} – амплитуда гармонической напряженности магнитного поля на рассматриваемой поверхности.

Рассчитаем H_{mS} для одной гармоники частотой $f = 600$ Гц (для 12-пульсирующего тока); величина H_{mS} для одной этой гармоники

составила $955,5 \frac{A}{M}$. Тогда, подставив в (28) и (29) необходимые величины и параметры стального листа крыши, получим:

– потери активной мощности от одной гармоники на единицу поверхности крыши P_P равны $371,6 \frac{Вт}{M^2}$;

– потребление реактивной мощности $P_Q = 225,6 \frac{вар}{M^2}$.

Полная поверхность крыши одной секции ЭПС (электровоза) составляет ~ 50 м², примем за величину «среднеактивной» поверхности $S_{кр} \approx 25$ м². Тогда полные потери: $P = 9,3$ кВт, а $Q = 5,64$ квар, полная мощность $S = 12,25$ кВА. При этом энергетические показатели, согласно известных выражений [3], составили: коэффициент мощности крыши $\lambda = 0,76$, коэффициент реактивной мощности $tg\phi = 0,61$.

Поток энергии, падающей на лобовую часть кузова.

Электромагнитные волны, распространяющиеся в средней части воздушного пространства 1 между контактной сетью и рельсом, падают на лобовую часть кузова, состоящую из стекла и металлической (нижней) части (рис. 2, 7 и 8).

Лобовое стекло имеет толщину 15 мм и $\epsilon_{r7} = 5,5 \dots 10$ (примем $9,0$). На границе «воздух, 1 – стекло, 7» волны частично отражаются с коэффициентом

$$\rho_{от17} = \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r7}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r7}}} = \frac{\sqrt{1} - \sqrt{9}}{\sqrt{1} + \sqrt{9}} = -0,5,$$

а частично преломляются с коэффициентом

$$\rho_{пр7}^E = \frac{2\sqrt{\epsilon_{r1}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r7}}} = \frac{2\sqrt{1}}{\sqrt{1} + \sqrt{9}} = 0,5.$$

Тогда $E_{от1} = -0,5E_{пл17}$; $E_{пр7} = -0,5E_{пл17}$.

Металлическая часть лобовой (нижней) части кузова ЭПС сконструирована из листов конструкционной стали толщиной 7 мм. И поэтому, подобно металлу крыши, также «непроницаема» для электромагнитных волн. И также, как в крыше, часть волны, проникая в металл,

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

будет создавать потери мощности [10], определяемые по формулам (27)–(29). Для их нахождения необходимо знание амплитуд гармоник напряженности магнитного поля H_{ms} у (на) поверхности металлической части кузова, которые здесь пока что не приводятся.

Научная новизна и практическая значимость

Впервые предложен и теоретически обоснован «полевой» (на основе теории электромагнитного поля) подход объяснения процессов передачи и образования потерь электрической энергии в устройствах систем тягового электроснабжения и электроподвижного состава. Подход базируется на понятиях распространения, отражения и преломления электромагнитных волн, энергетической характеристикой которых является вектор Пойнтинга. Установлены закономерности движения потоков электроэнергии от тяговой подстанции к тяговым электродвигателям электроподвижного состава через крышу и лобовую часть кузова.

Получены численные значения вектора Пойнтинга в различных точках каналов передачи энергий, позволившие оценить потери активной и реактивной энергии в металлических частях крыши и лобовой части. Численные результаты позволяют стратегически рекомендовать разрабатывать и производить новые типы электроподвижного состава – невысокие, «приземистые» (но, вероятно, удлинённые) и при этом несколько уменьшать расстояние от контактного провода до головки рельса.

Выводы

1. «Полевой» (на основе теории электромагнитного поля) подход к обоснованию передачи и образованию потерь электроэнергии в устройствах систем электрической тяги является более фундаментальным, и поэтому более достоверным, чем существующие «цепные» (на основании теории электрических цепей) принципы такого анализа.

2. Потоки электромагнитной энергии поступают от тяговой подстанции до электроподвижного состава, по воздуху между контактным проводом и рельсом, входя в высоковольтную камеру и далее в тяговые двигатели через части крыши и лобовые части кузова.

3. Электромагнитные волны падают из диэлектрика (воздуха) на поверхность проводящей (металлической) среды, поэтому в диэлектрике образуются стоячие волны, обуславливающие реактивную мощность, т.к. последняя является характеристикой стоячих волн. Поэтому для компенсации реактивной мощности необходимо гашение указанных волн путем образования перед электроподвижным составом слоя определенной среды с необходимыми параметрами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гольдштейн, Л. Д. Электромагнитные поля и волны / Л. Д. Гольдштейн. – М. : Советское радио, 1971. – 664 с.
2. Костін, М. О. Теоретичні основи електротехніки. Т. 3, ч. 2. / М. О. Костін, О. Г. Шейкіна. – Д. : ДНУЗТ, 2011. – 352 с.
3. Костин, Н. А. Реактивная мощность в устройствах систем электрической тяги / Н. А. Костин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2010. – Вип. 34. – С.73–76.
4. Кузнецов, В. Г. Аналіз динаміки зміни «умовних» втрат електричної енергії в тяговій мережі / В. Г. Кузнецов, Т. І. Кирилюк, Ю. М. Сергачий // Електрифікація трансп. – Д., 2011. – Вип. 1. – С. 42–45.
5. Лавров, В. М. Теория электромагнитного поля и основы распространения радиоволн / В. М. Лавров. – М. : Связь, 1964. – 368 с.
6. Маквардт, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог / К. Г. Марквардт. – М. : Транспорт, 1982. – 528 с.
7. Петров, А. В. Непродуктивні втрати електроенергії в тяговому електропостачанні системи постійного струму / А. В. Петров, М. О. Костін // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2010. – Вип. 31. – С. 106–110.
8. Саблин, О. И. Дополнительные пульсационные потери мощности в силовых тяговых цепях ЭПС постоянного тока / О. И. Саблин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2007. – Вип. 18. – С. 38–41.
9. Туровский, Я. Техническая электродинамика / Я. Туровский. – М. : Энергия, 1974. – 488 с.
10. Kozlowski, M. Stray Losses and Local Overheating Hazard in Transformers / M. Kozlowski, J. Turowski // Transformers: Analysis, Design and Measurement (28.08.–06.09.1972) : Proc. of Intern. Conf. on Large High Tension Electric System. – Paris : CIGRE, 1972. – Rep. 12-10.
11. Turowski, J. Pole elektromagnetyczne i straty w obudowie transformatora / J. Turowski // Zesz.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

- Nauk, Politechniki Łódzkiej, "Elektryka". – 1957. – № 3. – P. 47–65.
12. Turowski, J. Obliczanie strat I temperatur w ekranie rurowym szyny / J. Turowski // Archiwum Elektrot. – 1963. – № 1. – P. 1–79.
13. Turowski, J. Wybór optymalnej grubości blachy elektrotechnicznej z punktu widzenia własności rdzenia. / J. Turowski // Przegląd Elektrot. – 1964. – № 8. – P. 361–366.

М. О. КОСТИН^{1*}

^{1*}Каф. «Електротехніка та електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 37

ЕЛЕКТРОДИНАМІКА ПЕРЕДАЧІ ТА ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ПРИСТРОЯХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ

Мета. Теоретичне обґрунтування «польового» (на основі електромагнітного поля) підходу до передачі й утворення втрат електроенергії в пристроях систем тягового електропостачання та електрорухомого складу. **Методика.** Використано методи теорії електромагнітного поля та, зокрема, теорія й практика передачі електромагнітної енергії на основі поняття вектора Пойнтінга та елементів теорії розповсюдження, віддзеркалення й заломлення плоских електромагнітних хвиль. **Результати.** Виконано теоретичні дослідження передачі електромагнітної енергії від тягової підстанції до електрорухомого складу діелектриком (повітрям), що оточує тягову мережу (між контактним проводом і рейкою). Запропоновано стратегічно конструювати «приземисті» (невисокі) типи електрорухомого складу. Оцінено складові потоку електроенергії крізь дах електрорухомого складу та його лобову частину кузова, що дозволило достовірно оцінити активні втрати потужності в системі електротяги. Для компенсації реактивної потужності, споживаної електрорухомим складом й обумовленою стоячими хвилями, запропоновано (для гасіння останніх) створювати та розмішувати перед електрорухомим складом шар певного середовища з необхідними параметрами. **Наукова новизна.** Уперше запропоновано «польовий» принцип аналізу передачі електроенергії й виникнення її втрат у системах електричної тяги. Встановлено закономірності руху потоків електромагнітної енергії через дах і лобову частину кузова електрорухомого складу. **Практична значимість.** Отримано вираз абсолютної величини вектора Пойнтінга в точках діелектрика (повітря) між контактним проводом і рейкою, що дозволяє оцінити найбільшу густину енергії, передавану в одиницю часу, та спрогнозувати основні габаритні розміри одиниці електрорухомого складу. Чисельно оцінено енергетичні показники даху кузова електрорухомого складу, через який проникають електромагнітні хвилі при перенесенні електроенергії.

Ключові слова: електроенергія; передача; втрати; вектор Пойнтінга; контактні дроти; рейки; електрорухомий склад; електромагнітні хвилі

М. О. KOSTIN^{1*}

^{1*}Dep. «Electrical Technology and Electrical Engineering», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 37

ELECTRODYNAMICS OF TRANSMISSION AND LOSSES OF POWER IN THE DEVICES OF ELECTRIC TRACTION SYSTEMS

Purpose. Theoretical justification of the "field" approach (based on electromagnetic field) to the transmission and losses of power in the devices of traction power supply systems and electric rolling stock. **Methodology.** The methods of electromagnetic field theory and, in particular, the theory and practice of electromagnetic energy transmission based on the concept of the Poynting vector and elements of the theory of propagation, reflection and refraction of plane electromagnetic waves were used. **Findings.** Theoretical studies of electromagnetic energy transmission from the traction substation to the electric rolling stock through dielectric (air) surrounding traction network: between the contact wire and the rail were carried out. It is proposed strategic designing "squat" (low) types of electric rolling stock. The components of electric energy flow through the roof of electric rolling stock and its frontal part of the body were estimated. This allows reliable estimating active power losses in electric traction system. To compensate the reactive power consumed by electric rolling stock, which is conditioned by standing waves, it is proposed (for extinction of the the

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

last) to develop and put in front of electric rolling stock the layer of particular environment with the necessary parameters. **Originality.** The "field" principle of the power transmission analysis and its losses arising in electric traction system was first proposed. The laws of motion of electromagnetic energy flows through the roof and the frontal part of the body of electric rolling stock were established. **Practical value.** An expression of the absolute value of the Poynting vector in the points of dielectric (air) between the contact wire and the rail was obtained. This allows assessing the highest density of energy, which is transferred to the time unit and predicting the main dimensions of the unit of electric rolling stock. The energy indices of the roof of electric rolling stock, through which penetrate the electromagnetic waves during energy transferring were numerically evaluated.

Keywords: electric energy; transmission; losses; Poynting vector; contact wires; rails; electric rolling stock; electromagnetic waves

REFERENCES

1. Goldshteyn L.D. *Elektromagnitnyye polya i volny* [Electromagnetic fields and waves]. Moscow, Sovetskoye radio Publ., 1971. 664 p.
2. Kostin M.O., Sheikina O.H. *Teoretychni osnovy elektrotekhniki. T.3, ch. 2.* [Theoretical foundations of electric engineering]. Dnipropetrovsk, DNUZT Publ., 2011. 352 p.
3. Kostin N.A. Reaktivnaya moshchnost v ustroystvakh sistem elektricheskoy tyagi [Reactive power in the devices of electric traction systems]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2010, issue 34, pp. 73-76.
4. Kuznetsov V.H., Kyryliuk T.I., Serhatyi Yu.M. Analiz dynamiky zminy «umovnykh» vtrat elektrychnoi enerhii v tiahovii merezhi [Dynamics analysis of the change of "conventional" losses of electric energy in traction network]. *Elektryfikatsiia transportu – Transport Electrification*, 2011, issue 1, pp. 42-45.
5. Lavrov V.M. *Teoriya elektromagnitnogo polya i osnovy rasprostraneniya radiovoln* [Electromagnetic field theory and the foundations of radio wave distribution]. Moscow, Svyaz Publ., 1964. 368 p.
6. Makvardt K.G. *Elektrosnabzheniye elektrifitsirovannykh zheleznnykh dorog* [Electric power supply of the electrified railways]. Moscow, Transport Publ., 1982. 528 p.
7. Petrov A.V., Kostin M.O. Neproduktyvni vtraty elektroenerhii v tiahovomu elektropostachanni systemy postinoho strumu [Unproductive power losses in traction power supply of DC]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2010, issue 31, pp. 106-110.
8. Sablin O.I. Dopolnitelnyye pulsatsionnyye poteri moshchnosti v silovykh tyagovykh tsepyakh EPS postoyannogo toka [Additional fluctuating power losses in power traction circuits of electric rolling stock of DC]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2007, issue 18, pp. 38-41.
9. Turovskiy Ya. *Tekhnicheskaya elektrodinamika* [Technical electrodynamics]. Moscow, Energiya Publ., 1974. 488 p.
10. Kozlowski M., Turowski J. Stray Losses and Local Overheating Hazard in Transformers. Proc. of Int. Conf. on Large High Tension Electric System «Transformers: Analysis, Design and Measurement». Paris, 1972. Rep. 12-10.
11. Turowski J. Pole elektromagnetyczne i straty w obudowie transformatora. *Zesz. Nauk, Politechniki Łódzkiej, "Elektryka"*, 1957, no. 3, p. 47-65.
12. Turowski J. Obliczanie strat i temperatur w ekranie rurowym szyny. *Archiwum Elektrot*, 1963, no. 1, pp. 1-79.
13. Turowski J. Wybór optymalnej grubości blachy elektrotechnicznej z punktu widzenia własności rdzenia. *Przegląd Elektrot*, 1964, no. 8, pp. 361-366.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Ф. П. Шкрабцом (Украина); д.т.н., проф. Л. В. Дубинцом (Украина)

Поступила в редколлегию 28.11.2013

Принята к печати 09.01.2014

MATEPIA3HABCTBO

UDC 669.141.24:539.431.015

I. A. VAKULENKO^{1*}, S. V. PROYDAK¹

^{1*}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 dnyzt_texmat@ukr.net

¹Dep. «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 dnyzt_texmat@ukr.net

THE INFLUENCE MECHANISM OF FERRITE GRAIN SIZE ON STRENGTH STRESS AT THE FATIGUE OF LOW-CARBON STEEL

Purpose. Explanation of the influence mechanism of ferrite grain size on the fatigue strength of low-carbon steel. **Methodology.** Material for research is the low-carbon steel with 0.1% of carbon content. The different size of ferrite grain was obtained due to varying the degree of cold plastic deformation and temperature of annealing. The estimation of grain size was conducted using methodologies of quantitative metallography. The microstructure of metal was investigated under a light microscope with increase up to 1 500 times. As a fatigue response the fatigue strength of metal – a maximal value of load amplitude with endless endurance limit of specimen was used. Fatigue tests were carried out using the test machine «Saturn-10», at the symmetric cycle of alternating bend loading. **Findings.** On the basis of research the dependence for fatigue strength of low-carbon steel, which is based on an additive contribution from hardening of solid solution by the atoms of carbon, boundary of the ferrite grain and amount of mobile dislocations was obtained. It was established that as the grainy structure of low-carbon steel enlarges, the influence of grain size on the fatigue strength level is reduced. For the sizes of grains more than 100 mcm, basic influence on fatigue strength begins to pass to the solid solution hardening, which is determined by the state of solid solution of introduction. **Originality.** From the analysis of the obtained dependences it ensues that with the increase of ferrite grain size the required amount of mobile dislocations for maintenance of conditions for spreading plastic deformation becomes less dependent from the scheme of metal loading. **Practical value.** The obtained results present certain practical interest when developing of recommendations, directed on the increase of resource of products work from low-carbon steels in the conditions of cyclic loading. Estimation of separate contribution of the studied processes of structural changes with fatigue load allows one to choose a rational solution – to use the hardening effect from the ferrite alloying or to change the grain size of ferrite.

Keywords: ferrite; grain size; fatigue strength; solid solution; carbon

Introduction

In the process of loading the ferrite grain size determines most of the properties of single-phase alloys and carbon steels [1]. Gradual accumulation of defects in crystalline structure and their localization during cyclic loading can lead (in certain microvolumes of metallic material) to the forming of the breakdown sites, as in the case of unidirectional static deformation.

Taking into account the heterogeneity of strain distribution, especially in the initial stages of plastic flow of unidirectional loading in the metal volumes near to the grain boundaries will increasingly occur the processes of accumulation of crystal structure defects.

Under cyclic loading the magnitude of cycle deformation, the temperature [2] and the dislocations ability to nonconservative movement [3] will to some extent determine the processes, which cause

МАТЕМАСНАВСТВО

the metal hardening. In this case, the rate of dislocations accumulation and the beginning of formation of substructure units, such as fragment walls and dislocation cellular structure in some ferrites, which are favorably oriented with respect to the actual stresses, can be considered as the beginning of the incubation period of the metal destruction process.

One of the known mechanisms explaining the process of microcrack initiation [10] is based on the initiation of breakdown site resulting from the step forming in the place of slip band emergence on the sample surface under the cyclic loading. Subsequent recombination of dislocations leads to the irreversible deformations in the specified place on the metal surface. Therefore, it is safe to assume that the gradual accumulation to the maximum permissible concentration of structural defects near the steps, is one of the main reasons leading to the microcracks initiation and the subsequent loading conditions determine the rate of its growth.

There is a sufficient quantity of the experimental results, which indicate the dependence of fatigue processes development in the metal materials from the grain size. This situation is often caused by the lack of accounting of structural change processes in the metal internal structure under cyclic loading, as compared to the conditions of static unidirectional deformation.

Purpose

The work purpose is to explain the influence mechanism of ferrite grain size on the fatigue strength of low-carbon steel.

Methodology

Material for research was the low-carbon steel with 0.1% of carbon content. The different size of ferrite grain was obtained due to varying the degree of cold plastic deformation and temperature of annealing. The estimation of grain size was conducted using methodologies of quantitative metallography [4]. The microstructure of metal was investigated under a light microscope with increase up to 1500 times. As a fatigue response the maximum value of load amplitude (σ_{-1}) when reaching the conditions of unlimited specimen endurance was used. Fatigue tests were carried out using the test machine «Saturn-10», at the symmetric cycle of alternating bend loading.

Findings

Behavior analysis of the single-phase alloys under loading showed that only in some cases the polycrystalline strength according to absolute values is approaching to the quarter of the theoretical strength of a perfect crystal [1, 10]. On the other hand, the strength property level of metal in the grain boundaries reaches the values of the same order with the metal within grains [14]. On the basis of above mentioned, the origin and distribution of dislocations according to crystallographic slip systems, could be the determining factor during metal loading in the region of small plastic deformations. Moreover, the internal structure of the grain boundary itself and the inevitable presence of impurity atoms of implementation can make a definite contribution to the changing nature of the grain size influence.

Conditions of unidirectional static loading the reduction of the grain size of the low-carbon steel is accompanied by the increase in resistance value of microplastic deformation (σ_0), which is the part of the deformation curve equation [15]:

$$\sigma = \sigma_0 + K\varepsilon^m, \quad (1)$$

where K – is the constant value, ε – is true strain, m – is power index. As the yield stress (σ_T) the value σ_0 obeys to the Hall-Petch dependence [5] (Fig. 1):

$$\sigma_0 = \sigma_i + k_y d^{-\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

σ_0 , MPa

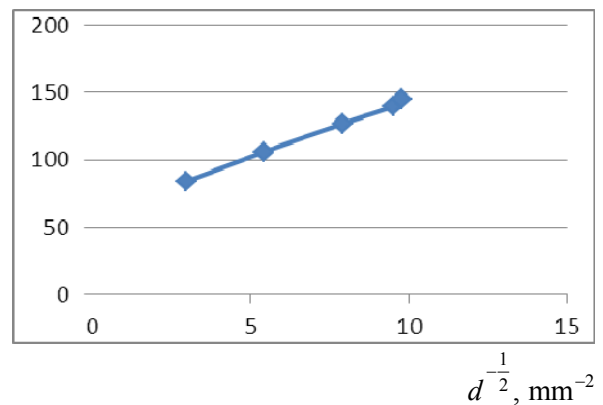


Fig. 1. Execution of the relation (2) for the value σ_0 of low-carbon steel

МАТЕМАЗНАВСТВО

where σ_i – is the friction stress of ferrite crystalline lattice, value k_y – determines the influence of grain boundaries, d – is the ferrite grain size.

Taking into account that in the initial stages of cyclic loading of dislocation displacement one is limited by the volume of ferrite grain of low-carbon steel, the state of solid solution should have some influence (if not the main one) on the process of microcracks initiation. On the other hand, the end of the incubation stage of microcrack growth is most often associated with the intersection of the first angular grain boundary [3, 10]. On the basis of the above mentioned, starting from the specified moment (the accelerated growth stage) the process of fatigue crack propagation becomes dependent on the presence of the ferrite grain boundaries [17].

As a result of cyclic loading of the investigated steel with different ferrite grain size the fatigue strength values (σ_{-1}) were obtained. Dependence

$\sigma_{-1} = f(d^{-1/2})$ is shown in Fig. 2.

According to external characters the change σ_{-1} from ferrite grain size (Fig. 2) is subject to a similar dependence (2):

$$\sigma_{-1} = \sigma'_i + k'_y d^{-1/2}, \quad (3)$$

where σ'_i and k'_y are the constants, similar to the corresponding characteristics of equation (2).

σ_{-1} , MPa

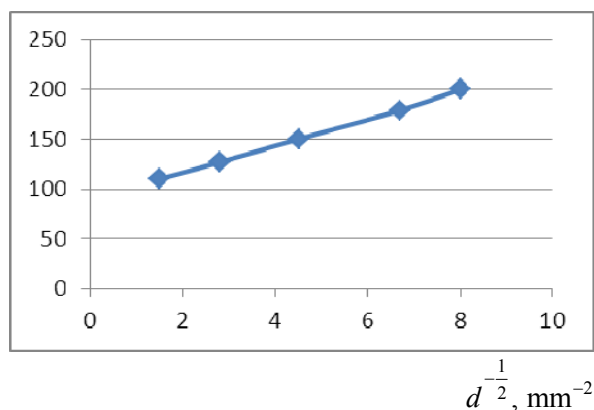


Fig. 2. Dependence σ_{-1} on the ferrite grain size of low-carbon steel

As a result, the graphical solution of the equation $\sigma_{-1} = f(d^{-1/2})$ the values σ'_i and k'_y were ob-

tained, which are respectively equal to 90MPa and 12.5N/mm^{3/2}. Taking into account that the stress σ'_i naturally should characterize the resistance to dislocation displacement within the ferrite grain (friction stress of the crystalline lattice), the level 90MPa is much higher than the known values of the specified characteristics. Indeed, according to numerous studies [1, 10, 12, 16], the friction stress of the iron crystalline lattice is 8–17MPa, and taking into account that the ferrite is a solid interstitial solution the body-centered cubic lattice of the iron contains about 12MPa of carbon atoms [5].

For the conditions of unidirectional loading of investigated steel values of the equation constants (2) were determined. They are correspondingly

equaled: $\sigma_i = 50$ MPa and $k_y = 10$ N/mm^{3/2} (Fig. 1).

Comparative analysis of the obtained characteristics shows that for σ_i the difference is 38MPa, which is explained by the hardening effects because of the presence of a certain concentration of carbon atoms in the ferrite lattice [1, 2].

Under cyclic loading, the specified difference is equaled to 78MPa (90MPa–12MPa). Thus, the observed increase of the magnitude σ'_i during fatigue can be first of all associated with more efficient blocking of reciprocating dislocations by carbon atoms. Confirmation of this phenomenon may be possibility increase of multiple dislocation slip on different crystallographic systems. For the crystalline lattice of body-centered cubic type the dislocation displacement is possible according to three crystallographic slip systems {110}, {112} and {123}, at $\langle 111 \rangle$ [9]. On the basis of the above mentioned it is safe to assume that under cyclic loading of low carbon steel, the reversible dislocation displacement is accompanied not only by annihilation, but also by the transition into the other slip systems [1, 13]. In this case, the possibility of dislocations blocking by carbon atoms should increase. Consequently, the value σ'_i can be written as:

$$\sigma'_i = \sigma_i + \Delta, \quad (4)$$

where Δ – is the value of solid-solution ferrite strengthening in reverse loading.

Another characteristic – k'_y to a lesser extent differs from the value k_y , which once again points to the role of influence of the ferrite grain bounda-

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

ries on the development of fatigue fracture of low-carbon steel.

After conversion of ratio (3) similar to that performed for (2) [2], it becomes possible to evaluate the stress (σ_1) required for dislocation displacement from their source to the grain boundaries:

$$\sigma_1 = \frac{k_y'}{2\sqrt{l}}, \quad (5)$$

where l – is the distance of dislocations source from the ferrite grain boundaries. Considering that l in general can take values from 0 (the source of dislocations are the angular ferrite grain boundaries [1, 2]) to $l = d$ (intragranular source location), we take the average value $l = \frac{d}{2}$.

Then the ratio (5) should be rewritten:

$$\sigma_1 = \frac{k_y'}{\sqrt{2d}} \quad (6)$$

During the formal application of the values σ_1 calculated according to (6), for the same values d against the corresponding values σ_{-1} it is found out an unambiguous relationship with a sufficiently high correlation coefficient (Fig. 3).

Analysis of absolute values shows that the value σ_1 several times less than σ_{-1} . At the same time, the rougher grain structure of the metal, the greater the difference between these characteristics.

Considering the total contribution to the value σ_{-1} from σ_i , Δ and σ_1 , the difference should be attributed to the metal hardening from the

σ_1 , MPa

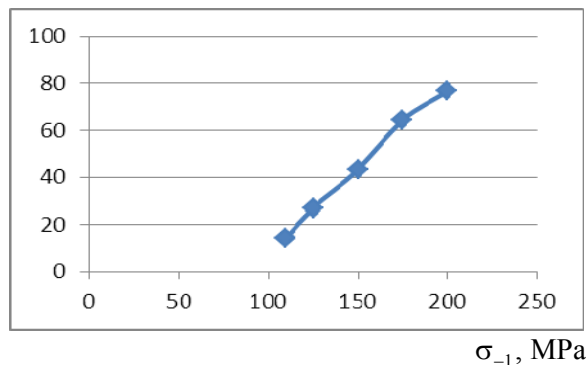


Fig. 3. Mutual change of σ_1 and σ_{-1}

interaction of mobile dislocations with the blocked by carbon atoms dislocations (σ_2). Changing σ_2 from the ferrite grain size is represented in Fig. 4.

Based on this dependence (Fig. 4), one can estimate the value σ_2 using the well-known relation [13]:

$$\sigma_2 = \alpha \mu b \sqrt{\rho}, \quad (7)$$

where α – is a coefficient, which takes the values from 0.1 to 1.0, μ – is the shear modulus, b – is the Burgers vector and ρ – is the density of mobile dislocations.

σ_2 , MPa

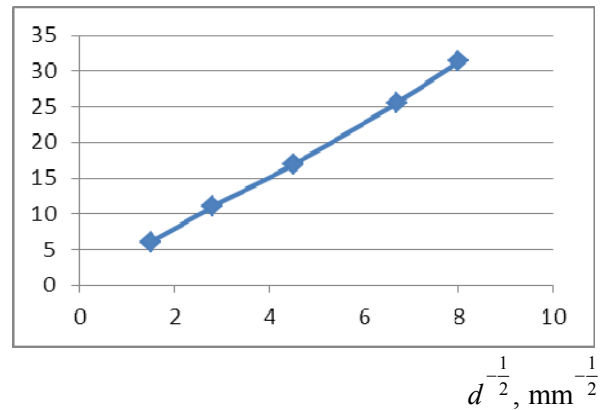


Fig. 4. Influence of ferrite grain size on the value σ_2

Considering the observed components in general terms the value of the fatigue strength of low-carbon steel may be written as:

$$\sigma_{-1} = \sigma_i + \Delta + \frac{k_y'}{\sqrt{2d}} + \alpha \mu b \sqrt{\rho} \quad (8)$$

After substitution into (8) of $\alpha = 0.6$ (the average value of interval 0.1–1.0), $\mu = 8.2 \cdot 10^4$ MPa (for carbon steel), $b = 2.48 \cdot 10^{-7}$ mm (for ferrite), the experimental values σ_{-1} , σ_i and Δ the values ρ were calculated.

The obtained values ρ represent the density of mobile dislocations, which is necessary for maintaining the conditions of plastic deformation propagation for a loading cycle. Fig. 5 shows the dependence of this characteristic (ρ) from the ferrite grain size of low-carbon steel under cyclic loading.

МАТЕМАЗНАВСТВО

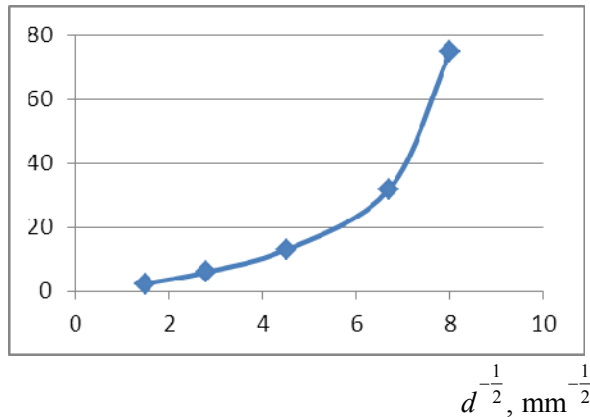
 $\rho, \times 10^5 \text{ mm}^{-2}$ 

Fig. 5. Influence of ferrite grain size on ρ of low-carbon steel

Comparative analysis of ρ with similar characteristics of investigated steel (Fig. 6) for the conditions of static strain (ρ_1) showed that as the size of ferrite grain increases the difference between them decreases. Thus, for the ferrite grain size $d = 15.6\text{--}16\text{mm}$: $\rho = 7.5 \cdot 10^6 \text{ mm}^{-2}$, $\rho_1 = 10^7 \text{ mm}^{-2}$; for $d = 22\text{--}24\text{mm}$: $\rho = 2.9 \cdot 10^6 \text{ mm}^{-2}$, $\rho_1 = 4 \cdot 10^6 \text{ mm}^{-2}$ and for $d = 115\text{--}120\text{mm}$: $\rho = 4.4 \cdot 10^5 \text{ mm}^{-2}$, $\rho_1 = 4.2 \cdot 10^5 \text{ mm}^{-2}$.

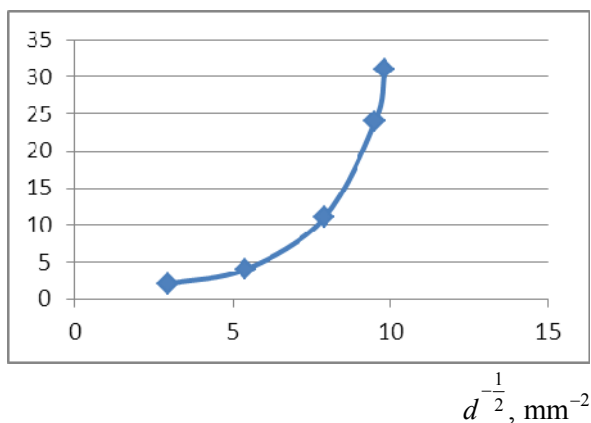
 $\rho_1, \times 10^6 \text{ mm}^{-2}$ 

Fig. 6. Influence of ferrite grain size on ρ_1 of low-carbon steel

The obtained results show that with increase of ferrite grain size the required amount of mobile dislocations, to maintain the conditions of propagation of plastic deformation becomes less dependent

on metal loading scheme. Analysis of the equation is the confirmation of the above mentioned (8). Thus, as the grain structure of the low carbon steel coarsens the influence of grain size on the level of the fatigue strength decreases. For the grain sizes greater than 100 mcm, the main influence on the values σ_{-1} transits to the solid solution hardening, that is determined by the concentration of carbon atoms in the ferrite, i.e. by the value σ'_i from the ratio (4).

Originality and practical value

The analysis of obtained dependencies shows that as the ferrite grain size increases the required amount of mobile dislocations to maintain the conditions of plastic deformation propagation becomes less dependent on the metal loading scheme. The obtained results are of particular interest in the development of practical recommendations aimed at improving the operation life of the products of low-carbon steels under cyclic loading. Evaluation of separate contribution of structural components at certain stages of fatigue loading development, allows one to choose a rational solution – to use the hardening effect of changes in the state of solid solution of low-carbon steel or vary ferrite grain size.

Conclusions

1. The analysis shows that the level of fatigue strength of low-carbon steel is determined by the additive contribution from the condition of solid solution, ferrite grain size and hardening, caused by the interaction of blocked and mobile dislocations.
2. As the ferrite grain size increases the required amount of mobile dislocations to maintain the conditions of plastic deformation propagation becomes less dependent on the metal loading scheme.
3. Coarsening of the ferrite structure is accompanied by decrease in the contribution of grain boundaries and increase of the role of solid solution hardening in improving fatigue strength.

МАТЕРІАЛНАВСТВО

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Бабич, В. К. Деформационное старение стали / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М. : Металлургия, 1972. – 320 с.
2. Вакуленко, И. А. Морфология структуры и деформационное упрочнение стали / И. А. Вакуленко, В. И. Большаков. – Д. : Маковецкий, 2008. – 196 с.
3. Вакуленко, И. А. Структура и свойства углеродистой стали при знакопеременном деформировании / И. А. Вакуленко. – Д. : Gaudeamus, 2003. – 94 с.
4. Вакуленко, И. О. Структурный анализ в материаловедении / И. О. Вакуленко. – Д. : Маковецкий, 2010. – 124 с.
5. Вакуленко, И. А. О связи величины σ_0 кривой деформации с параметрами уравнения Холла – Петча / И. А. Вакуленко, В. А. Пирогов, В. К. Бабич // Металлофизика. – 1986. – Т. 8, № 6. – С. 61–64.
6. Вакуленко, И. О. Про взаємозв'язок структурних перетворень при втомі вуглецевої сталі з особливостями будови поверхонь руйнування / І. О. Вакуленко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2010. – Вип. 32. – С. 242–245.
7. Вакуленко, И. О. Анализ диаграм циклического нагружения металлических материалов / И. О. Вакуленко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2009. – Вип. 26. – С. 163–165.
8. Вакуленко, И. О. Дослідження етапів зародження та зростання тріщин при натурному випробуванні на втомленість / І. О. Вакуленко, М. А. Грищенко, О. М. Перков // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2008. – Вип. 21. – С. 266–268.
9. Коттрелл, А. Х. Дислокации и пластическое течение в кристаллах / А. Х. Коттрелл. – М. : Металлургиздат, 1958. – 255 с.
10. Нотт, Дж. Ф. Основы механики разрушения / Дж. Ф. Нотт. – М. : Металлургия, 1978. – 256 с.
11. Atkinson, J. D. The Work – hardening of Copper – Silica: IV. The Bauschinger Effect and Plastic Relaxation / J. D. Atkinson, L. M. Brown, W. B. Stobs // Philosophical Magazine. – 1974. – Vol. 30, № 6. – P. 1247–1280.
12. Crist, B. W. Comparison of the Hall – Petch parameters of Zone – refined Iron Determined by the Grain Size and Extrapolation Methods / B. W. Crist, C. V. Smith // Acta Metallurgica. – 1967. – Vol. 15, № 5. – P. 809–816.
13. Garofalo, F. Factors Affecting the Propagation of a Luders Band and the Lower Yield and Flow Stressers / F. Garofalo // Metallurgical Transactions. – 1971. – Vol. 2, № 8. – P. 2315–2317.
14. Gleiter, H. High – Grain Boundaries / H. Gleiter, B. Chalmers // Progress in Materials Science. – 1972. – Vol. 16. – 375 p.
15. Hollomon, John H. Tensile Deformation / John H. Hollomon // AIME. – 1945. – Vol. 162. – P. 268–290.
16. Holzman, M. Determination of Friction stress in BCC polycrystals / M. Holzman, J. Man // J. of the Iron and Steel Inst. – 1966. – Vol. 204, № 3. – P. 230–234.
17. Vakulenko, I. A Mechanism of the Effect of the Ferrite Grain Size on the Fatigue Strength of a Low – Carbon Steel / I. A. Vakulenko, O. N. Perkov, V. G. Razdobreev // Russian Metallurgy. – 2008. – № 3. – P. 225–228.

И. А. ВАКУЛЕНКО^{1*}, С. В. ПРОЙДАК¹

^{1*}Каф. «Технология материалов», Днепрпетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепрпетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, эл. почта dnyzt_texmat@ukr.net

¹Каф. «Технология материалов», Днепрпетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепрпетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, эл. почта dnyzt_texmat@ukr.net

МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРА ЗЕРНА ФЕРРИТА НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Цель. Объяснение механизма влияния размера зерна феррита на усталостную прочность низкоуглеродистой стали. **Методика.** Материалом для исследования служила низкоуглеродистая сталь с содержанием углерода 0,1 %. Различный размер зерна феррита получали за счет варьирования степенью холодной пластической деформации и температурой отжига. Оценку величины зерна проводили, используя методики количественной металлографии. Микроструктуру металла исследовали под световым микроскопом при увеличениях до 1 500 раз. В качестве характеристики усталости использовали усталостную прочность металла –

МАТЕРІАЛНАВСТВО

максимальное значение амплитуды нагружения при бесконечной выносливости образца. Испытания на усталость осуществляли на испытательной машине «Сатурн-10» при симметричном цикле знакопеременного нагружения изгибом. **Результаты.** На основе проведенных исследований получена зависимость для усталостной прочности низкоуглеродистой стали, которая основана на аддитивном вкладе от упрочнения твердого раствора атомами углерода, границ зерна феррита и количества подвижных дислокаций. В работе установлено, что по мере укрупнения зернистой структуры низкоуглеродистой стали влияние размера зерна на уровень усталостной прочности снижается. При размерах зерен более 100 мкм основное влияние на усталостную прочность начинает переходить к твердо растворному упрочнению, определяемому состоянием твердого раствора внедрения. **Научная новизна.** Из анализа полученных зависимостей следует, что с ростом размера зерна феррита требуемое количество подвижных дислокаций для поддержания условий распространения пластической деформации становится в меньшей степени зависимым от схемы нагружения металла. **Практическая значимость.** Полученные результаты представляют практический интерес при разработке рекомендаций, направленных на повышение ресурса работы изделий с низкоуглеродистой стали в условиях циклического нагружения. Оценка раздельного вклада от рассмотренных процессов структурных изменений на определенных этапах развития усталостного нагружения позволит выбрать оптимальное решение – использовать эффект упрочнения от легирования феррита либо уменьшить размер его зерна.

Ключевые слова: феррит; размер зерна; усталостная прочность; твердый раствор; углерод

І. О. ВАКУЛЕНКО^{1*}, С. В. ПРОЙДАК¹

^{1*}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 dnyzt_texmat@ukr.net

¹Каф. «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 dnyzt_texmat@ukr.net

МЕХАНІЗМ ВПЛИВУ РОЗМІРУ ЗЕРНА ФЕРИТУ НА МІЦНІСТЬ ПРИ ВТОМІ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Мета. Пояснення механізму впливу розміру зерна фериту на міцність при втомі низьковуглецевої сталі. **Методика.** Матеріалом для дослідження слугувала низьковуглецева сталь із вмістом вуглецю 0,1 %. Різний розмір зерна фериту отримували за рахунок варіювання ступенем холодної пластичної деформації й температурою відпалу. Оцінку величини зерна проводили, використовуючи методики кількісної металографії. Мікроструктуру металу досліджували під світловим мікроскопом при збільшеннях до 1 500 разів. В якості характеристики втоми використовували межу міцності при втомі металу – максимальне значення амплітуди навантаження при необмеженій витривалості зразку. Випробування на втому здійснювали на випробувальній машині «Сатурн-10» при симетричному циклі знакозмінного навантаження вигином. **Результати.** На основі проведених досліджень отримана залежність для межі міцності при втомі низьковуглецевої сталі, яка заснована на адитивному вкладі від зміцнення твердого розчину атомами вуглецю, меж зерна фериту й кількості рухливих дислокацій. У роботі встановлено, що в міру укрупнення зернистої структури низьковуглецевої сталі вплив розміру зерна на рівень межі міцності при втомі знижується. При розмірі зерен більше 100 мкм основний вплив на міцність при втомі починає переходити до твердо розчинного зміцнення, що визначається станом твердого розчину впровадження. **Наукова новизна.** З аналізу отриманих залежностей випливає, що зі збільшенням розміру зерна фериту необхідна кількість рухливих дислокацій для підтримки умов поширення пластичної деформації стає меншою мірою залежною від схеми навантаження металу. **Практична значимість.** Отримані результати становлять певний практичний інтерес при розробці рекомендацій, які спрямовані на підвищення ресурсу роботи виробів із низьковуглецевих сталей в умовах циклічного навантаження. Оцінка роздільного внеску від розглянутих процесів структурних змін на певних етапах розвитку втомного навантаження дозволить обрати оптимальне рішення – використовувати ефект зміцнення від легування фериту або зменшити розмір його зерна.

Ключові слова: ферит; розмір зерна; міцність при втомі; твердий розчин; вуглець

REFERENCES

1. Babich V.K., Gul Yu.P., Dolzhenkov I.Ye. *Deformatsionnoye stareniye stali* [Strain aging of the steel]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1972. 320 p.
2. Vakulenko I.A., Bolshakov V.I. *Morfologiya struktury i deformatsionnoye uprochneniye stali* [Structure morphology and strain hardening steel]. Dnipropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2008. 196 p.
3. Vakulenko I.A. *Struktura i svoystva ughlerodistoy stali pri znakoperemennom deformirovanii* [Structure and properties of the carbon steel during the alternating deformation]. Dnipropetrovsk, Gaudeamus Publ., 2003. 94 p.
4. Vakulenko I.O. *Strukturnyi analiz v materialoznavstvi* [Structural analysis in the material science]. Dnipropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2010. 124 p.
5. Vakulenko I.A., Pirogov V.A., Babich V.K. O svyazi velichiny σ_0 krivoy deformatsii s parametrami uravneniya Kholla – Petcha [On the relationship between the value σ_0 of the deformation curve with the parameters of the Hall – Petch equation]. *Metallofizika – Metallophysics*, 1986, vol. 8, no. 6, pp. 61-64.
6. Vakulenko I.O. Pro vzaiemovv'язok strukturnykh peretvoren pry vtomi vuhletsevoi stali z osoblyvostyamy budovy poverkhon ruynuvannya [On the relationship of structural changes at fatigue of carbon steel with structural features of the fracture surfaces]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2010, issue 32, pp. 242-245.
7. Vakulenko I.O. Analiz diahram tsyklichnoho navantazhennia metalevykh materialiv [Analysis of diagrams of cyclic loading for metallic materials]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2009, issue 26, 163-165 pp.
8. Vakulenko I.O., Hryshchenko M.A., Perkov O.M. Doslidzhennia etapiv zarodzhennia ta zrostannia trishchyn pry naturnomu vyprobuванні na vtomlenist [Research of the stages of nucleation and growth of cracks in full-scale tests on fatigue]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2008, issue 21, pp. 266-268.
9. Kottrell A.Kh. *Dislokatsii i plasticheskoye techeniye v kristallakh* [Dislocations and plastic flow in crystals]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1958. 255 p.
10. Nott Dzh. *Osnovy mekhaniki razrusheniya* [Foundations of the fracture mechanics]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1978. 256 p.
11. Atkinson J.D. The Work – hardening of Copper – Silica: IV. The Bauschinger Effect and Plastic Relaxation. *Philosophical Magazine*, 1974, vol. 30, no. 6, pp. 1247-1280.
12. Crist B.W. Comparison of the Hall – Petch parameters of Zone – refined Iron Determined by the Grain Size and Extrapolation Methods. *Acta Metallurgica*, 1967, vol. 15, no. 5, pp. 809-816.
13. Garofalo F. Factors Affecting the Propagation of a Luders Band and the Lower Yield and Flow Stressers. *Metallurgical Transactions*, 1971, vol. 2, no. 8, pp. 2315-2317.
14. Gleiter H., Chalmers B. High – Grain Boundaries. *Progress in Materials Science*, 1972, vol. 16, 375 p.
15. Hollomon John H. Tensile Deformation. *AIME*, 1945, vol. 162, pp. 268-290.
16. Holzman M., Man J. Determination of Friction stress in BCC polycrystals. *Journal of the Iron and Steel Institute*, 1966, vol. 204, no. 3, pp. 230-234.
17. Vakulenko I.A., Perkov O.N., Razdobreyev V.G. Mechanism of the Effect of the Ferrite Grain Size on the Fatigue Strength of a Low – Carbon Steel. *Russian Metallurgy*, 2008, vol. 2008, no. 3, pp. 225-228.

Associate Professor L. I. Kotova, Ph.D. (Tech); Associate Professor O. A. Chaykovskiy, Ph.D. (Tech)
recommended this article to be published

Received: Nov. 11, 2013

Accepted: Jan. 14, 2014

УДК 621.771.28-233.3:539.538

Т. М. КАДИЛЬНИКОВА^{1*}, Л. Ф. СУШКО¹^{1*}Каф. «Управление проектами», Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, Днепропетровск, Украина, 49005, тел. +38 (0562) 47 43 83, эл. почта Kadilnikovatm@ukr.net¹Каф. «Высшая математика», Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, Днепропетровск, Украина, 49005, тел. +38 (067) 830 23 46, эл. почта Sushko_LF@mail.ru**ОБОСНОВАНИЕ ОЦЕНКИ И ВЫБОРА КИНЕМАТИЧЕСКИХ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ «ШЕСТЕРНЯ-ЗУБЧАТАЯ РЕЙКА» СТАНОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ**

Цель. В процессе работы станов холодной прокатки труб (ХПТ) вращение валков осуществляется с помощью ведущих шестерен, находящихся в зацеплении с неподвижными зубчатыми рейками, что сопровождается различными трибологическими дефектами. Избежать дефектов возможно при детальном исследовании и обосновании выбора, а также оценке кинематических и трибологических характеристик системы «шестерня – зубчатая рейка». **Методика.** Износ происходит как следствие повышенного трения и зависит от твердости материала, из которого изготовлены шестерни и зубчатые рейки, их термической обработки, правильности подбора смазки, недостаточной чистоты масла и несвоевременной его смены, перегрузки передачи и других факторов. Для оценки износа зубцов трибологической пары «шестерня – зубчатая рейка» стана ХПТ воспользуемся системой дифференциальных уравнений первого порядка, решая которую при заданных условиях, можно получить соотношения для кинематических и трибологических параметров. **Результаты.** Получены соотношения для долговечности, износа, скорости скольжения, длины линии контакта трибологической пары «шестерня – зубчатая рейка». Они обеспечивают высокие показатели износостойкости, долговечности системы при минимальном весе и габаритных размерах конструкции, что является важным фактором для повышения продуктивности станов ХПТ. **Научная новизна.** Анализ полученных соотношений для долговечности, износа, скорости скольжения, длины линии контакта трибологической пары «шестерня – зубчатая рейка» позволяет выбирать для станов ХПТ шестерни с конструктивными параметрами, оптимально удовлетворяющими технологические условия прокатки. **Практическая значимость.** Аналитическое определение скорости скольжения для трибологической пары делает возможным корректирование технологического процесса станов ХПТ и внесение конструктивных изменений в систему «шестерня – зубчатая рейка» с целью увеличения ее износостойкости.

Ключевые слова: шестерня; зубчатые рейки; износ; холодная прокатка; контакт

Введение

Одним из основных способов изготовления тонкостенных безшовных труб малых и средних размеров является холодная прокатка, осуществляемая на специальных станах. Стан холодной прокатки труб (ХПТ) состоит из рабочей клетки, главного привода, механизмов подачи и поворота труб, системы смазки и управления. Для станов ХПТ характерны возвратно-поступательные движения рабочей клетки при неподвижном состоянии заготовки. При этом осуществляется минимально возможное давление металла на валки, равномерный износ инструмента по длине ручья, а также постоянство упругой деформации рабочей системы по длине ручья. Вращение валков осуществляется с помощью ведущих шестерен, находящихся в зацеплении с неподвижными зубчатыми рейками.

В процессе работы в системе «шестерня – зубчатая рейка» образуются различные дефекты. Чаще всего ими оказывается износ и поломка зубьев, реже – трещины в ободе шестерни, рейке и ступице [12; 7]. Износ может происходить равномерно (линейный) и резко (интенсивный).

Предельно допустимый износ зубьев по толщине (считая по дуге начальной окружности) составляет 10–30 % от толщины зуба [11]. По достижении указанного предельного допустимого износа рейки и шестерни необходимо заменять.

Независимо от степени износа зубьев рейки или шестерни должны быть немедленно заменены (или отремонтированы), если [13]:

а) у основания одного из зубьев обнаруживается одна или несколько трещин;

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

б) площадь рабочей поверхности зубьев, поврежденная усталостным раскрашиванием, превышает 30 % рабочей поверхности зуба, а глубина ямок раскрашивания превосходит 10 % толщины зуба.

Вопросы оценки технического состояния зубчатых передач подробно рассматривались в работах [2; 3; 8]. Однако авторы свои исследования проводили без учета трибологических особенностей взаимодействия зубьев пар.

Цель

Цель работы – обоснование выбора конструктивных параметров системы «шестерня – зубчатая рейка» и оценка ее кинематических и трибологических характеристик.

Методика

Линейный износ происходит как следствие повышенного трения и зависит от твердости материала, из которого изготовлены шестерни, их термической обработки, правильности подбора смазки, недостаточной чистоты масла и несвоевременной смены его, перегрузки передачи [4–6]. Линейный износ является результатом плохого монтажа и при правильной сборке (строгом соблюдении радиального зазора) обычно отсутствует. Однако радиальный зазор в зубьях может измениться также вследствие износа подшипников. И при этом возможно как увеличение радиального зазора, так и его уменьшение.

Интенсивный износ зубьев могут вызвать следующие причины [1]:

а) недостаточная или неправильная подача масла, когда оно не поступает в зацепление и не захватывается зубьями;

б) наличие в масле большого количества (более 0,5 %) механических примесей;

в) применение масла недостаточной вязкости;

г) уменьшение бокового зазора между зубьями сопряжений, вследствие чего увеличивается трение между ними;

д) наличие на головках зубьев острой кромки, способствующей разрушению и удалению с рабочих поверхностей масляной пленки;

е) недостаточная поверхность касания между зацепляющимися зубьями вследствие перекоса валов и неправильного изготовления шестерен;

ж) недостаточная твердость поверхности зубьев.

Для оценки износа зубцов трибологической пары «шестерня-зубчатая рейка» стана ХПТ воспользуемся системой линейных дифференциальных уравнений [9]:

$$\frac{1}{v} \frac{dh_k}{dt} \Phi_k(\tau) = 1, k = 1, 2, \quad (1)$$

где h_k – линейный износ материала; t – продолжительность процесса изнашивания; v – скорость скольжения; τ – удельная сила трения; $\Phi_k(\tau)$ – интегральная функция износостойкости материалов в принятой паре трения при заданных условиях трения; k – нумерация элементов трибосистемы.

Удельная сила трения определяется по закону Кулона:

$$\tau = f \cdot p, \quad (2)$$

где p – контактное давление; f – коэффициент трения скольжения.

Так как для изготовления шестерен рассматриваемой системы ХПТ используются материалы с высокой прочностью, то для аппроксимации исследуемых значений функции износостойкости используется соотношение [11]:

$$\Phi_k(\tau) = C_k \left(\frac{\tau_s}{\tau} \right)^{m_k}, \quad (3)$$

где C_k , m_k – параметры износостойкости материалов; τ_s – предел прочности материала на срез.

Согласно гипотезе Треска-Сен-Венана [9]:

$$\tau_s = \frac{\sigma_{0,2}}{2}, \quad (4)$$

где $\sigma_{0,2}$ – условный предел упругости исследуемого материала при растяжении.

Согласно [10]:

$$\sigma_{0,2} = 0,7 \sigma_B,$$

где σ_B – предел прочности материала при растяжении.

Экспериментальные значения функции $\Phi_k(\tau)$ для различных уровней нагрузки j ($j = 1, 2, 3 \dots$) определяются по формуле:

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

$$\Phi_{kj}(\tau_j) = \frac{L}{h_j}, \quad (5)$$

где L – путь трения; h_j – линейный износ трибологической пары, определяемый их микрометрированием или по установленному массовому износу.

Разделяя переменные в (1), с учетом (3), получаем:

$$t = \frac{C_k \tau_s^{m_k}}{\nu} \int_0^{h_k^*} \tau^{m_k} dh_k, \quad (6)$$

где h_k^* – заданный допустимый износ.

Результаты

Для трибологической системы «шестерня – зубчатая рейка» принимаем, что удельная сила трения τ и контактное давление p остаются постоянными при изнашивании. Тогда уравнение (6) принимает вид:

$$t_k = \frac{C_k}{\nu} \left(\frac{\tau_s}{\tau} \right)^{m_k}. \quad (7)$$

Выражение (7) определяет функцию долговечности трибологической пары «шестерня – зубчатая рейка». Из (7) получаем выражение для функции износа трибологической пары:

$$h_k = \frac{\nu t_k}{C_k} \left(\frac{\tau}{\tau_s} \right)^{m_k}. \quad (8)$$

Для определения максимального контактного давления в j -й точке зацепления используется формула Герца:

$$p_{j \min} = 0,48 \sqrt{\frac{N E}{l_{\min} p_j}}, \quad (9)$$

где E – модуль упругости материала; l_{\min} – минимальная длина контактных линий в зацеплении; p_j – приведенный радиус кривизны профилей зубцов в нормальном сечении; N – нормальная приложенная нагрузка.

Согласно [10]:

$$p_j = \frac{2 p_{1j} p_{2j}}{p_{1j} + p_{2j}}, \quad (10)$$

где p_{1j} , p_{2j} – кривизна профиля зубцов, соответственно, шестерни и рейки.

Кривизны профилей зубцов вычисляются по формулам:

$$p_{1j} = r_{1j} \operatorname{tg}(\alpha_{1j} + \omega \Delta t);$$

$$p_{2j} = r_{2j} \operatorname{tg} \alpha_{2j},$$

где r_{1j} , r_{2j} – расстояния от центра основания зубца до рассматриваемой j -й точки контакта шестерни и рейки соответственно; α_{1j} , α_{2j} – углы наклона зубцов к горизонтальной оси в j -й точке шестерни и рейки соответственно; ω – угловая скорость шестерни; Δt – время перемещения профиля зубца из точки начального контакта в j -ю рассматриваемую точку.

Для r_{1j} , r_{2j} имеют место следующие соотношения:

$$r_{1j} = r \cos \alpha;$$

$$r_{2j} = \sqrt{a_w^2 + r_{1j}^2 - 2 a_w r_{1j} \cos(\alpha - \alpha_{1j})},$$

где r – радиус шестерни; α – угол зацепления; a_w – приведенное передаточное число.

Для a_w имеет место соотношение:

$$a_w = \frac{z_1 + z_2}{m},$$

где z_1 , z_2 – число зубцов шестерни и рейки соответственно; m – модуль зацепления.

Скорость скольжения в j -й точке контакта вычисляется по формуле:

$$v_j = \left| -\omega \frac{r_{1j}}{r_{2j}} (r_{1j} - r_{2j}) \operatorname{tg}(\alpha_{1j} + \omega \Delta t - \alpha) \right|.$$

При этом длина линии контакта находится по формуле:

$$l = b_w (\varepsilon_\alpha - 1 + n_\alpha), \quad (11)$$

где b_w – ширина шестерни; ε_α , n_α – коэффициенты торцевого и пошагового перекрытия шестерни соответственно.

Приведенные в (11) коэффициенты вычисляются по формулам:

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

$$\varepsilon_{\alpha} = \frac{t_1 + t_2}{t_3}; \quad t_1 = \frac{e_1}{\omega r}; \quad t_2 = e_2; \quad t_3 = \frac{2\pi}{z_1 \omega}$$

$$e_1 = \sqrt{r^2 - r_1^2} - r \sin \alpha; \quad e_2 = \sqrt{r^2 - r_2^2}, \quad (12)$$

где r_1, r_2 – максимальное расстояние от центра основания зубца до возможной точки контакта шестерни и рейки соответственно.

С учетом (12), (11) принимает вид:

$$l = b_w \left(\frac{\sqrt{r^2 - r_1^2} - r \sin \alpha + \omega r \sqrt{r^2 - r_2^2}}{2\pi r / z_1} - 1 + n_{\alpha} \right). \quad (13)$$

Функция (13) будет принимать наименьшее значение при $r_1 \rightarrow r, r_2 \rightarrow r$, что позволяет выбирать шестерни с учетом этих условий.

Научная новизна и практическая значимость

Анализ полученных соотношений для долговечности, износа, скорости скольжения, длины линии контакта трибологической пары «шестерня – зубчатая рейка» позволяют выбирать для станков ХПТ шестерни с конструктивными параметрами, оптимально удовлетворяющими технологические условия прокатки. При этом обеспечиваются износостойкость, долговечность системы при минимальном весе и габаритных размерах конструкции, что является важным фактором для повышения продуктивности станков ХПТ. Аналитическое определение скорости скольжения для трибологической пары делает возможным корректировать технологический процесс станков ХПТ и вносить конструктивные изменения в систему «шестерня – зубчатая рейка» с целью увеличения ее износостойкости.

Выводы

1. Впервые построена математическая модель трибологической системы «шестерня – зубчатая рейка» контакта зубьев с системой.
2. Проведен анализ параметров системы «шестерня – зубчатая рейка» и получены аналитические зависимости для долговечности, износа, скорости скольжения, длины линии контакта трибологической пары.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андрейкив, А. Е. Оценка контактного взаимодействия трущихся деталей машин / А. Е. Андрейкив, М. В. Чернец. – К. : Наук. думка, 1991. – 160 с.
2. Кадильникова, Т. М. Об особенностях выявления дефектов при оценке технического состояния зубчатых передач / Т. М. Кадильникова, Л. Ф. Сушко, Н. В. Ладугубец // Actes des Conferences dans le forum international pour le developpement de l'education et des science en 2009. – France : Paris, 2009. – P. 155–161.
3. Кадильникова, Т. М. Програмно-апаратна реалізація системи оцінки технічного стану зубчатих передач / Т. М. Кадильникова, Л. Ф. Сушко, П. Л. Носко // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – № 4 (146). – Ч. 2. – Луганськ, 2010. – С. 103–106.
4. Кузін, М. О. Математичне моделювання параметрів втомної міцності структурно-неоднорідних металевих систем / М. О. Кузін, Т. М. Мещерякова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – Д., 2011. – Вип. 38. – С. 213–219.
5. Куліченко, А. Я. Оптимізація параметрів точності при виготовленні та ремонті деталей засобів транспорту / А. Я. Куліченко // Заліз. трансп. України. – 2008. – № 1. – С. 38–39.
6. Куліченко, А. Я. Оцінка якісних показників контактування поверхневих шарів трибологічної системи «колесо-рейка» / А. Я. Куліченко, М. О. Кузін, І. О. Вакуленко // Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – № 3 (45). – С. 44–52.
7. Нотт, Дж. Основы механики разрушения / Дж. Нотт. – М. : Металлургия, 1978. – 256 с.
8. Пат. 58238 Україна, МПК (2011.01), G 01 M 7/00, G 01 M 13/00. Спосіб визначення технічного стану зубчатого зацеплення редуктора мостового електричного крана / Кадильникова Т. М., Сушко Л. Ф., Колісник Е. О. (Україна); заявник та патентовласник Національна металургійна академія України. – № у 2010 10189; заявл. 18.08.2010; опубл. 11.04.2011, Бюл. № 7. – 4 с.
9. Чернец, М. В. Оцінка довговічності, зношування та контактної міцності зубчастих передач / М. В. Чернец, Ю. Келбінські, Ю. Скварок. – Дрогобич : Вимір, 2002. – 132 с.
10. Чернец, М. В. Вплив нахилу зубів косозубих циліндричних передач на триботехнічні, силові та кінематичні характеристики / М. В. Чернец, Ю. Келбінські // Пробл. трибології. – 2006. – № 4. – С. 3–7.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

11. Boving, Kn. G. NDT handbook, NDT examination methods for condition monitoring. Technish Forland A. S. / Kn. G. Boving. – Danish Technical Press, 1987–1989. – 418 p.
12. Czerniec, M. Prognozowanie trwałości tribologicznej kol zebatych walcowych ewolwentowych / M. Czerniec, J. Kielbiński. – Lublin : Wyd. Politechniki Lubelskiej, 2003. – 160 p.
13. Popov, V. Contact Mechanics and Friction / V. Popov. – Springer : Berlin, Heidelberg, 2010. – 368 p.

Т. М. КАДИЛЬНИКОВА^{1*}, Л. Ф. СУШКО¹

^{1*}Каф. «Управління проектами», Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, Дніпропетровськ, Україна, 49005, тел. +38 (0562) 47 43 83, ел. пошта Kadilnikovatm@ukr.net

¹Каф. «Вища математика», Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, Дніпропетровськ, Україна, 49005, тел. +38 (067) 830 23 46, ел. пошта Sushko_LF@mail.ru

ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ ТА ВИБОРУ КІНЕМАТИЧНИХ І ТРИБОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ «ШЕСТИРНЯ-ЗУБЧАСТА РЕЙКА» СТАНІВ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ ТРУБ

Мета. У процесі роботи станів холодної прокатки труб (ХПТ) обертання валків здійснюється за допомогою ведучих шестірень, які знаходяться в зацепленні з нерухомими зубчастими рейками, що супроводжується різними трибологічними дефектами. Уникнути дефектів можливо під час детального дослідження та обґрунтування вибору й оцінки кінематичних і трибологічних характеристик системи «шестірня – зубчаста рейка». **Методика.** Спрацювання виникає як наслідок підвищеного тертя й залежить від міцності матеріалу, з якого виготовлені шестірні та зубчасті рейки, їх термічної обробки, правильного вибору мастила, його недостатньої чистоти або несвоєчасної заміни, перенавантаження передачі та інших факторів. Для оцінки спрацювання зубців трибологічної пари «шестірня – зубчаста рейка» стана ХПТ розглянемо систему диференціальних рівнянь першого порядку, розв'язуючи яку за заданими умовами можливо одержати співвідношення для кінематичних і трибологічних параметрів. **Результати.** Отримано співвідношення для довговічності, спрацювання, швидкості ковзання, довжини лінії контакту трибологічної пари «шестірня – зубчаста рейка». Вони забезпечують високі показники зносостійкості, довговічності системи при мінімальній вазі та габаритних розмірах конструкції, що є важливим фактором для зростання продуктивності станів ХПТ. **Наукова новизна.** Аналіз отриманих співвідношень для довговічності, спрацювання, швидкості ковзання, довжини лінії контакту трибологічної пари «шестірня – зубчаста рейка» дозволяє обирати для станів ХПТ шестірні з конструктивними параметрами, які оптимально задовольняють технологічні умови прокатки. **Практична значимість.** Аналітичне визначення швидкості ковзання трибологічної пари дає можливість корегувати технологічний процес станів ХПТ і вносити конструктивні зміни в систему «шестірня – зубчаста рейка» з метою збільшення її зносостійкості.

Ключові слова: шестірня; зубчаста рейка; спрацювання; холодна прокатка; контакт

Т. М. KADILNIKOVA^{1*}, L. F. SUSHKO¹

^{1*}Dep. «Management of Projects», National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Av., 4, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49005, tel. +38 (0562) 47 43 83, e-mail Kadilnikovatm@ukr.net

¹Dep. «Higher Mathematics», National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Av., 4, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49005, tel. +38 (067) 830 23 46, e-mail Sushko_LF@mail.ru

RATIONALE OF THE EVALUATION AND SELECTION OF KINEMATIC AND TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE SYSTEM «PINION – GEAR RACK» OF COLD-PILGERING MILLS

Purpose. During operation of cold-pilgering mills rotation of the shafts is carried out by means of pinion gears being in meshing with stationary gear racks, which is accompanied by various tribological defects, that can be avoided during the detailed investigation and justification of selection and evaluation of kinematic and tribological

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

characteristics of the system "pinion - gear rack". **Methodology.** Runout occurs as a consequence of increased friction and depends on the material hardness of which pinions and toothed racks are manufactured, their thermal treatment, selection of correct lubrication, insufficient oil purity and its untimely change, gears overload and other factors. To assess the runout of tribological pair cogs "pinion - gear rack" of the cold-pilgering mills we will use a system of differential equations of the first order. Using the solution of this system under the given conditions, it is possible to obtain relations for kinematic and tribological parameters. **Findings.** Relations for the durability, runout, sliding speed, and length of the line of the tribological pair "pinion - gear rack" contact are obtained. They provide high indicators of runout and durability of the system with minimum weight and overall dimensions of the design, which is an important factor to increase efficiency of cold-pilgering mills. **Originality.** The analysis of the relations, which was obtained to identify durability, wear, sliding speed, and the length of the line of the tribological pair "pinion - gear rack" contact allows you to choose for cold-pilgering mills special pinions with the design parameters, which optimally satisfy the technological conditions of rolling. **Practical value.** Analytical determination of the slip velocity for tribological pair makes it possible to adjust the technical process of cold-pilgering mills and to make constructive changes in the system of "pinion - gear rack" in order to increase its wear resistance.

Keywords: pinion; gear rack; runout; cold rolling; contact

REFERENCES

1. Andreykiv A.Ye., Chernets M.V. *Otsenka kontaktynogo vzaimodeystviya trushchikhsya detaley mashin* [Evaluation of contact interaction of the machine's rubbing details]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1991. 160 p.
2. Kadilnikova T.M., Sushko L.F., Ladogubets N.V. *Ob osobennostyakh vyyavleniya defektov pri otsenke tekhnicheskogo sostoyaniya zubchatykh peredach* [About the peculiarities of the detection of defects when assessment of the technical state of gearings]. Actes des Conferences dans le forum international pour le developpement de l'education et des science en 2009. Paris, France, 2009, pp. 155-161.
3. Kadilnikova T.M., Sushko L.F., Nosko P.L. *Prohramno-aparatna realizatsiia systemy otsinky tekhnichnoho stanu zubchatykh peredach* [Hardware and software realization of system for assessing the technical state of gearings]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni V. Dalia* [Bulletin of East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl], 2010, no. 4 (146), pp. 103-106.
4. Kuzin M.O., Mescheriakova T.M. *Matematychnye modelyuvannya parametriv vtomnoi mitsnosti strukturno-neodnorodnykh metalevykh system* [Mathematical modeling of fatigue strength parameters of the structurally inhomogeneous metal systems]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2011, issue 38, pp. 213-219.
5. Kulichenko A.Ya. *Optymizatsiia parametriv tochnosti pry vyhotovlenni ta remontu detalei zasobiv transportu* [Optimization of the parameters of accuracy when manufacture and repair the details of the transport's means]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Ukraine's Railway Transport*, 2008, no. 1, pp. 38-39.
6. Kulichenko A.Ya., Kuzin M.O., Vakulenko I.O. *Otsinka yakysnykh pokaznykiv kontaktuvannya poverkhnevyykh shariv trybolohichnoi systemy «koleso-reika»* [Evaluation of quality indicators of contacting of the surface layers of tribological system "wheel-rail"]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 3 (45), pp. 213-219.
7. Nott Dzh. *Osnovy mekhaniki razrusheniya* [Foundations on the fracture mechanics]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1978. 256 p.
8. Kadilnikova T.M., Sushko L.F., Kolisnyk E.O. *Sposib vyznachennia tekhnichnoho stanu zubchatoho zacheplennia reduktora mostovoho elektrychnoho krana* [A method for determining the technical state of the gearing of the gear unit of bridge electric crane.]. Patent UA, no. u 2010 10189, 2011.
9. Chernets M.V., Kelbinski Yu., Skvarok Yu. *Otsinka dohovichnosti, znoshuvannya ta kontaktnoi mitsnosti zubchastykh peredach* [Estimation of durability, wear and contact strength of gearings.]. Drohobych, Vymir Publ., 2002. 132 p.
10. Chernets M.V., Kelbinski Yu., Vplyv nakhyly zubiv kosozubykh tsylindrychnykh peredach na trybotekhnichni, sylovi ta kinematychni kharakterystyky [Effect of inclination gear teeth of helical cylindrical transmissions on the tribological, force and kinematic characteristics.]. *Problemy trybolohii – Problems of tribology*, 2006, issue 4, pp. 3-7.
11. Boving Kn.G. *NDT handbook, NDT examination methods for condition monitoring*. Technish For-land A.S. Danish Technical Press, 1987-1989. 418 p.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

12. Czerniec M., Kielbiński J. Prognozowanie trwałości tribologicznej kol zebatych walcowych ewolwentowych. Lublin: Wyd. Politechniki Lubelskiej, 2003. 160 p.
13. Popov V. Contact Mechanics and Friction. Springer Publ., 2010. 368 p.

Стаття рекомендована к публікації д.т.н., проф. В. У. Григоренко (Україна); д.т.н., проф. И. А. Вакуленко (Україна)

Поступила в редколлегию 05.11.2013

Принята к печати 04.02.2014

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

УДК 656.21-047.36

Д. О. ПОЛІЩУК^{1*}

^{1*}Відокремлений підрозділ «Інформаційно-обчислювальний центр», Державне територіально-галузеве об'єднання «Львівська залізниця», вул. Гоголя, 1, Львів, Україна, 79000, +38 (063) 879 96 11, ел. пошта d_pole@mail.ru

КОМПЛЕКСНЕ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ТА ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ

Мета. Розробка нових та удосконалення існуючих методів оцінювання стану й якості функціонування залізничних станцій для підвищення ефективності їхньої роботи. **Методика.** У процесі дослідження використовувалися засоби локального, прогностичного, агрегованого та інтерактивного аналізів стану, а також якості функціонування елементів станційної інфраструктури й обробки поїздів на станціях. Локальні оцінки одержуються на основі результатів планових і позапланових оглядів. На основі набору локальних оцінок будуються агреговані оцінки різного ступеня загальності. Метод інтерактивного оцінювання ґрунтується на аналізі дотримання графіка руху поїздів. Метод прогностичного аналізу використовує передісторію оцінок, одержаних під час попередніх оглядів. **Результати.** Внаслідок проведених досліджень запропоновано комплексний детерміністичний підхід до оцінювання станційного господарства Укрзалізниці. Цей підхід дозволяє встановити достатньо повну й об'єктивну картину стану, якості функціонування та взаємодії об'єктів станційного господарства. **Наукова новизна.** Удосконалено існуючий метод оцінювання елементів станційної інфраструктури. Запропонований метод інтерактивного оцінювання дозволяє здійснювати безперервний моніторинг якості функціонування станцій між плановими оглядами. **Практична значимість.** Запропоновану методику комплексного оцінювання можна застосовувати до структурних одиниць станційного господарства різного рівня ієрархії. Розроблене програмне забезпечення дозволяє оперативно орієнтуватися в результатах оцінювання та локалізувати виявлені недоліки.

Ключові слова: станційне господарство; якість функціонування; оцінювання; прогнозування; агрегація; безперервний моніторинг

Вступ

Залізнична транспортна система (ЗТС) України забезпечує близько 50 % усіх вантажних та пасажирських перевезень територією країни [10]. У той же час майже половина відправлень прибуває у пункти призначення із затримкою. Тому актуальним є проведення досліджень, спрямованих на підвищення ефективності функціонування ЗТС. Основними напрямками таких досліджень є розробка та удосконалення технологічних процесів залізничних станцій [1, 3, 7], оптимізація графіка руху

поїздів [1, 10], ефективна організація вагонопотоків [2] тощо. Наведені напрямки досліджень спрямовані на покращення основних кількісних (навантаження і вивантаження вагонів, вантажообіг, пасажирообіг [6, 14]) та якісних (пробіг вагонів, поїздів, локомотивів [16]) експлуатаційних показників ЗТС.

Незадовільний стан залізничної колії, станційної інфраструктури або поїзда, неякісна робота працівників залізниці в кращому випадку можуть спричинити відхилення від графіка руху поїздів. У гіршому випадку наведені вище

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

обставини, якщо не кожна зокрема, то у сукупності, можуть стати причиною залізничної аварії. Тому значна увага приділяється оцінюванню стану та якості функціонування основних об'єктів залізниці, а також неперервному моніторингу процесів, які відбуваються у ЗТС, з метою запобігання аварійних ситуацій та покращення ефективності її роботи [3, 12, 13, 16, 17, 19].

Мета

На сьогодні для контролю стану об'єктів станційного господарства (СГ) використовуються візуальні огляди та спеціалізована техніка [5]. Відхилення від графіка руху поїздів фіксуються в інформаційних системах УЗ, які здійснюють відбір, обробку та візуалізацію інформації про функціонування об'єктів ЗТС. Проте через відсутність автоматизованих засобів аналізу цієї інформації, оцінювання результатів роботи станції загалом є суб'єктивним.

У цій статті пропонується комплексний детерміністичний підхід до оцінювання СГ УЗ, який полягає у поєднанні процедур локального, прогностичного, агрегованого та інтерактивного оцінювання основних його структурних одиниць на всіх рівнях ієрархії. Цей підхід дозволяє встановити достатньо повну та об'єктивну картину стану, якості функціонування та взаємодії об'єктів СГ з метою подальшого підвищення ефективності їхньої роботи.

Методика

Організація руху поїздів на залізниці перш за все залежить від злагодженого функціонування станційного господарства (СГ) загалом та роботи кожної окремої станції. До складу станційного господарства Укрзалізниці входять 1 498 станцій та 129 вокзалів [10]. Залізничні станції за своїм призначенням поділяються на пасажирські, вантажні, сортувальні, дільничні і проміжні та, залежно від обсягу і складності виконання пасажирських, вантажних і технічних операцій, можуть бути позакласними або мати 1–5 клас [9]. Великі станції, частка яких у загальній структурі залізниці не перевищує 10 %, є складними системами (СС), складовими яких можуть бути станції всіх перерахованих вище видів, а набір реалізованих функцій – різномірним та численним. Загалом кожна велика

станція потребує самостійного дослідження. З погляду аналізу якості функціонування системи загалом стосовно таких об'єктів ЗТС доцільно будувати окремі методики комплексного оцінювання. Ми ж зосередимося на станціях 2–5 класу, які є проміжними на залізничних лініях та складають понад 90 % СГ УЗ. Основною функцією станції 2–5 класу є забезпечення надійного, безперебійного руху та обробки поїздів, які проходять через неї згідно з встановленим графіком. Реалізація цієї функції визначається станом інфраструктури станції та організацією технологічного процесу її роботи, яка прямо чи опосередковано від цього стану залежить.

Станція є відкритою системою, на яку впливають внутрішні (стан об'єктів інфраструктури, організація технологічного процесу) та зовнішні (робота інших станцій, стан міжстанційних перегонів, чутливість графіка руху поїздів до малих затримок тощо) чинники. Частина з них має випадковий характер, інші можуть бути регулярними. Мета цього дослідження полягає у виявленні регулярних факторів, які негативно впливають на роботу станції.

Оцінювання станції виконується за результатами планових оглядів та неперервного моніторингу її роботи. Під час планового огляду насамперед здійснюється локальне оцінювання стану всіх об'єктів інфраструктури станції, потім – процесу її функціонування, тобто якості обробки поїздів, які через цю станцію проходять. Оцінка інфраструктури є першочерговою, оскільки незадовільний стан окремих її елементів може не дозволити якісно виконувати операції з поїздами.

Одержання унаслідок останнього планового дослідження відмінних від негативних оцінок стану та якості роботи станції зовсім не означає, що вони збережуться такими ж до наступного огляду. Тому для відстеження можливості переходу стану інфраструктури через «поріг безпеки» [17] та попередження негативних тенденцій у роботі станції в процедуру оцінювання необхідно включати принаймні короткостроковий прогностичний аналіз поведінки її оцінок.

Кількість локальних та прогностичних оцінок стану та процесу функціонування станції може сягати тисяч одиниць. Для оперативного опрацювання висновків оцінювання ми використовуємо процедури агрегації та засоби низхід-

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

ного аналізу для локалізації об'єктів, які одержали негативні чи близькі до них оцінки.

Неперервний моніторинг роботи станції виконується шляхом постійного аналізу дотримання графіка руху поїздів, які обробляються на ній. Це дає можливість здійснювати опосередкований, але достатньо інформативний та оперативний контроль за роботою станції. У поєднанні методи локального, прогностичного, агрегованого та інтерактивного оцінювання утворюють методику системного комплексного аналізу стану, якості функціонування станції та її взаємодії з іншими об'єктами ЗТС.

Оцінювання стану станційної інфраструктури. Як приклад, розглянемо інфраструктуру проміжної станції Сихів 4-го класу Львівської залізниці. Схема цієї станції зображена на рис. 1. Вона включає такі об'єкти, як колійний розвиток (1–10), навантажувально-розвантажувальні пристрої (12), пасажирські приміщення (11) та платформи (13–14) тощо. Визначальною складовою інфраструктури, яка забезпечує реалізацію основної функції станції є її колійний розвиток. Для його оцінювання використовуємо методику, запропоновану в роботі [12].

Колійний розвиток станції D є сукупністю колій різного призначення: $D = \{D_i\}_{i=1}^N$. На станції Сихів до множини D належать головна колія (D_1), навантажувально-вивантажувальна колія (D_2), приймально-відправочні колії ($D_3 - D_7$), під'їзна колія (D_8) та вловлюючі типи (D_9, D_{10}). Кожну з колій D_i розбиваємо на елементарні ділянки $D_{i,j}$, $j = \overline{1, N_i}$, $i = \overline{1, N}$, які відрізняються своїми просторовими, конструктивними та іншими особливостями і розділені стрілочними переводами, переходами, переїздами тощо. За цими ознаками головна колія станції Сихів поділяється на три ділянки (див. рис. 1): крива ($D_{1,1}$), пряма ($D_{1,2}$) та крива ($D_{1,3}$). Загалом колійний розвиток цієї станції складається із 34 елементарних ділянок, які мають різне призначення, категорії і відрізняються встановленими нормативами своєї будови та максимально допустимими відхиленнями від них [9, 15].

Кожна із елементарних ділянок складається із визначеного набору компонент, таких як рей-

ки, шпали, баласт, земляне полотно тощо. Для кожної із цих компонент формується набір характеристик, які описують їхній стан. Позначимо $\{f_{i,j}^k(x)\}_{k=1}^{K_{i,j}}$, $x \in [0, X_{i,j}]$ – набір характеристик елементарної ділянки $D_{i,j}$; $X_{i,j}$ – довжина ділянки; $F_{i,j}^k[0, X_{i,j}]$ – область допустимих значень характеристики $f_{i,j}^k(x)$, яка визначається стандартами будови колії, $k = \overline{1, K_{i,j}}$, $j = \overline{1, N_i}$, $i = \overline{1, N}$. У процесі дослідження нами було виділено понад 40 характеристик стану колії і визначено 4 основні типи їхньої поведінки та вигляду області допустимих значень [12].

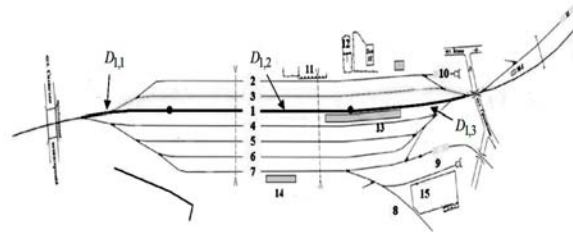


Рис. 1. Схема станції Сихів

Принцип побудови алгоритмів локального оцінювання проілюструємо на прикладі аналізу поведінки характеристики $f(x)$, яка описує взаємне вертикальне розміщення рейок на ділянці $D_{1,2}$ під час руху поїзда з максимальними для цієї ділянки швидкістю і вагою. Для цієї характеристики область допустимих значень має вигляд $G = \{f(x) : f_{\text{norm}} \leq f(x) \leq f_{\text{max}}, x \in [0, X_{1,2}]\}$, де $f_{\text{max}} = 5$ мм – максимально допустиме відхилення характеристики $f(x)$ від її нормативного значення $f_{\text{norm}} = 0$ мм. Значення $f(x)$ визначають під час огляду колії вагоном-дефектоскопом.

Вважаємо (див. рис. 2), що поведінка характеристики є «відмінною», якщо $f(x) = f_{\text{norm}}$, $x \in [0, X_{1,2}]$. Підобласть $(f_{\text{norm}}, \gamma]$, де значення $\gamma = 2$ мм обране згідно з висновками експертів, відповідає поведінці «добре», підобласть $(\gamma, f_{\text{max}}]$ – поведінці «задовільно». Якщо значення $f(x)$ перевищують величину f_{max} , то поведінка характеристики вважається «незадо-

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

вільною». Зрозуміло, що поведінка $f(x)$ на ділянці колії визначається за її найбільшим відхиленням від нормативу. На рис. 2 також зображено (лінії 1–3) три варіанти поведінки характеристики на елементарній ділянці.

Для оцінювання досліджуваної характеристики будемо використовувати два підходи. Перший із них формує уточнену бальну оцінку $e_{C_0}(f)$ на підставі аналізу величини максимальних збурень $f(x)$, $x \in [0, X]$ на елементарній ділянці, а саме: вважаємо, що значення $e_{C_0}(f)$ дорівнює:

$$5, \text{ якщо } \|f(x)\|_{C_0[0, X]} \equiv f_{\text{norm}};$$

$$4 + (\gamma - \|f(x)\|_{C_0[0, X]})/\gamma,$$

$$\text{якщо } f_{\text{max}} < \|f(x)\|_{C_0[0, X]} \leq \gamma;$$

$$3 + (f_{\text{max}} - \|f(x)\|_{C_0[0, X]})/(f_{\text{max}} - \gamma),$$

$$\text{якщо } \gamma < \|f(x)\|_{C_0[0, X]} \leq f_{\text{max}};$$

$$2, \text{ якщо } f_{\text{max}} < \|f(x)\|_{C_0[0, X]}.$$

Другий підхід формує уточнену бальну оцінку $e_{L_0}(f)$ на підставі аналізу масовості збурень $f(x)$ на елементарній ділянці, а саме: вважаємо, що значення $e_{L_0}(f)$ дорівнює:

$$5, \text{ якщо } \|f(x)\|_{C_0[0, X]} \equiv f_{\text{norm}};$$

$$4 + (\gamma\sqrt{X} - \|f(x)\|_{L_2[0, X]})/\gamma\sqrt{X},$$

$$\text{якщо } f_{\text{norm}} < \|f(x)\|_{C_0[0, X]} \leq \gamma;$$

$$3 + ((f_{\text{max}} - \gamma)\sqrt{X} - \|f(x) - \gamma\|_{L_2[0, X]})/(f_{\text{max}} - \gamma)\sqrt{X},$$

$$\text{якщо } \gamma < \|f(x)\|_{C_0[0, X]} \leq f_{\text{max}};$$

$$2, \text{ якщо } f_{\text{max}} < \|f(x)\|_{C_0[0, X]}.$$

Пара оцінок $e_{C_0}(f) = 3,05$, $e_{L_0}(f) = 3,94$ означає, що вздовж обраної елементарної ділянки є лише точкові місця, де значення $f(x)$ є близькими до допустимих меж. Такі недоліки можна усунути за допомогою незначного локального ремонту (див. рис. 2, лінія 1). У той же час пара оцінок $e_{C_0}(f) = 3,01$, $e_{L_0}(f) = 3,02$ свідчить, що стан ділянки з огляду на досліджувану характеристику є близьким до критичного і вона потребує серйозного ремонту

(див. рис. 2, лінія 2). Пара оцінок $e_{C_0}(f) = 3,95$, $e_{L_0}(f) = 3,90$ означає, що стан ділянки з огляду на досліджувану характеристику є близьким до «доброго» (див. рис. 2, лінія 3). Тобто, побудовані нами оцінки дають достатньо конкретну, обґрунтовану та зрозумілу пересічному користувачу інформацію при дослідженні стану колії.

Розглянутий вище принцип побудови уточнених оцінок можна легко адаптувати до оцінювання всіх характеристик елементів колійного розвитку та інших об'єктів інфраструктури станції [11].

Аналогічно будуються уточнені оцінки $e_{C_1}(f)$, $e_{L_1}(f)$ для першої похідної характеристики $f(x)$, які дають змогу проаналізувати динаміку зміни стану колії вздовж елементарної ділянки. Осцилююча динаміка зазвичай свідчить про зниження комфортності та безпеки руху поїздів, особливо під час збільшення їхньої швидкості.

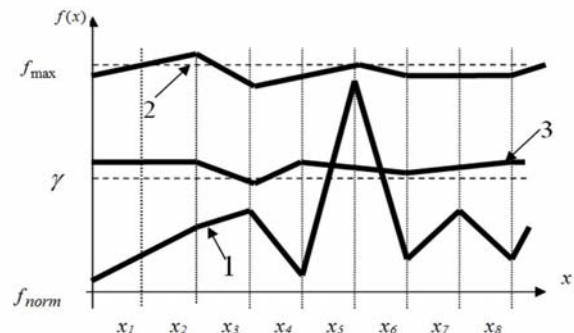


Рис. 2. Приклади поведінки характеристик елементарної ділянки колії (відрізки x_i , $i = \overline{1, 8}$, відповідають рейкам ділянки)

Короткострокове прогнозування сформованих вище оцінок характеристик елементарної ділянки здійснюємо за допомогою такого екстраполяційного алгоритму. Нехай $\{e_l\}_{l=1}^L$, $L \geq 2$, – передісторія оцінок, одержаних під час проведення попередніх планових досліджень в моменти часу $t_l \in [0, T]$, $l = \overline{1, L}$. Позначимо $\{\phi_l(t)\}_{l=1}^L$ систему лінійно-незалежних функцій, визначених на проміжку $[0, T]$. Побудуємо функцію $e(t) = \sum_{l=1}^L a_l \phi_l(t)$, де $\{a_l\}_{l=1}^L$ – вектор коефіцієнтів, які визначаються з умови

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

$\sum_{l=1}^L a_l \varphi_l(t_m) = e_m, \quad m = \overline{1, L}$. Тоді прогнозоване значення оцінки характеристики в момент t_{L+1} , наприклад, наступного планового огляду отримуємо із співвідношення $e(t_{L+1}) = \sum_{l=1}^L a_l \varphi_l(t_{L+1})$.

Як і при одержанні незадовільного висновку за результатами огляду, так і при негативному прогнозі поведінки характеристики, слід визначити дії, які дадуть можливість запобігти його реальному втіленню.

Якщо хоча б одна із оцінок $e_{C_0}(f)$, $e_{L_0}(f)$, $e_{C_1}(f)$, $e_{L_1}(f) \in$ «незадовільною», то узагальнену оцінку заданої характеристики теж вважаємо «незадовільною». В іншому випадку узагальнена оцінка поведінки характеристики $f(x)$ визначається за формулою

$$E(f) = (\rho_{C_0} e_{C_0}(f) + \rho_{C_1} e_{C_1}(f) + \rho_{L_0} e_{L_0}(f) + \rho_{L_1} e_{L_1}(f)) / (\rho_{C_0} + \rho_{C_1} + \rho_{L_0} + \rho_{L_1}), \quad (1)$$

де ρ_{C_0} , ρ_{C_1} , ρ_{L_0} , ρ_{L_1} – вагові коефіцієнти, які визначають пріоритетність параметрів оцінки характеристики.

Під час програмної реалізації результати оцінювання характеристик елементарної ділянки відображаються на діаграмі, зображеній на рис. 3. Тут k – загальна кількість характеристик ділянки, заштрихований стовпець діаграми відповідає кількості характеристик, які не оцінювались, а інші стовпці – характеристикам, цілочислова частина уточнених бальних оцінок яких дорівнює відповідному значенню осі абсцис.

Клацання курсором на стовпці діаграми супроводжується відображенням таблиці характеристик, цілочислова частина оцінки яких має відповідне значення (див. табл. 1). Якщо оцінка набуває значення більше, ніж 2, то в таблиці наводиться її конкретне значення.

Клікання курсором на назві характеристики у таблиці супроводжується відображенням графіка її поведінки на фоні області допустимих значень на елементарній ділянці, схематичне зображення якого наведено на рис. 2.

При формуванні узагальненої оцінки $E_{i,j}$ елементарної ділянки $D_{i,j}$ слід враховувати

реальну кількість оцінених характеристик. Тому значення $E_{i,j}$ обчислюємо за формулою

$$E_{i,j} = \sum_{k=1}^{K_{i,j}} \delta_{i,j}^k \rho_{i,j}^k E(f_{i,j}^k) / \sum_{k=1}^{K_{i,j}} \delta_{i,j}^k \rho_{i,j}^k, \quad (2)$$

де $E(f_{i,j}^k)$ – оцінка характеристики $f_{i,j}^k(x)$, одержана за співвідношенням вигляду (1), $\rho_{i,j}^k$ – вагові коефіцієнти, які визначають пріоритетність характеристик ділянки $D_{i,j}$,

$$\delta_{i,j}^k = \begin{cases} 0, & \text{якщо } f_{i,j}^k \text{ не оцінювалась,} \\ 1, & \text{якщо } f_{i,j}^k \text{ оцінювалась,} \end{cases}$$

$$\sum_{k=1}^{K_{i,j}} \delta_{i,j}^k > 0, \quad k = \overline{1, K_{i,j}}, \quad j = \overline{1, N_i}, \quad i = \overline{1, N}.$$

Таблиця 1

Перелік характеристик ділянки головної колії станції із задовільними оцінками

| № | Характеристика | Оцінка |
|----|--|--------|
| 7 | Дефект рейки з лівої сторони | 3,44 |
| 16 | Відстань між стиковими шпалами | 3,89 |
| 21 | Засмічення баласту фракціями більше 1 мм | 3,27 |
| 23 | Відхилення висотних позначок осі земляного полотна | 3,59 |

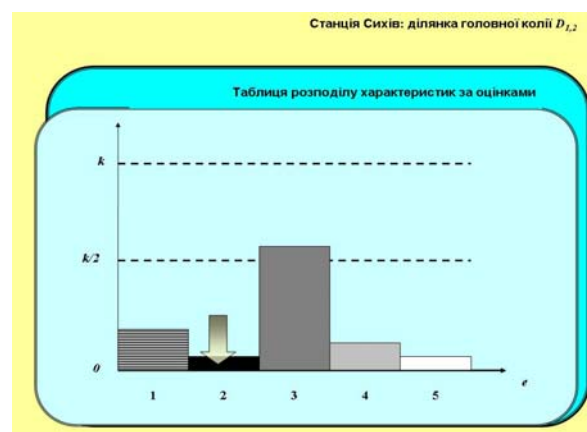


Рис. 3. Діаграма розподілу характеристик ділянки головної колії станції за значеннями оцінок

Рівень $C_{i,j}$ покриття оцінками елементарної ділянки $D_{i,j}$, який враховує не лише кількість

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

оцінених характеристик, а і їх пріоритетність, визначаємо за співвідношенням

$$C_{i,j} = 100 \% \times \sum_{k=1}^{K_{i,j}} \delta_{i,j}^k \rho_{i,j}^k / \sum_{k=1}^{K_{i,j}} \rho_{i,j}^k, \quad (3)$$

тобто при однаковій кількості оцінених характеристик, рівень покриття оцінками буде вищим для набору характеристик з вищим сумарним пріоритетом. Одержавши таким чином набір оцінок елементарних ділянок, визначаємо агреговану оцінку колії D_i та рівень її покриття оцінками:

$$E_i = \sum_{j=1}^{N_i} \rho_{i,j} E_{i,j} / \sum_{j=1}^{N_i} \rho_{i,j}, \quad (4)$$

$$C_i = \sum_{j=1}^{N_i} \rho_{i,j} C_{i,j} / \sum_{j=1}^{N_i} \rho_{i,j}, \quad (5)$$

де $\rho_{i,j}$ – вагові коефіцієнти, які визначають пріоритетність ділянок $D_{i,j}$, $j = \overline{1, N_i}$, колії D_i , $i = \overline{1, N}$.

На підставі набору оцінок усіх колій визначаємо агреговану оцінку колійного розвитку станції та рівень її покриття оцінками загалом:

$$E = \sum_{i=1}^N \rho_i E_i / \sum_{i=1}^N \rho_i, \quad (6)$$

$$C = \sum_{i=1}^N \rho_i C_i / \sum_{i=1}^N \rho_i, \quad (7)$$

де ρ_i – вагові коефіцієнти, які визначають пріоритетність колій D_i , $i = \overline{1, N}$, станції.

Короткострокове прогнозування стану окремих об'єктів інфраструктури станції здійснюємо методом екстраполяції, використовуючи передісторію оцінок характеристик її елементів, отриманих за співвідношеннями (1)–(5). Довгострокове прогнозування виконуємо, використовуючи апарат часових рядів [11]. Результати прогнозування дозволяють передбачати потенційні ризики, матеріальні та фінансові витрати, необхідні для їх усунення або вчасної профілактики.

Оцінювання якості функціонування станції. Очевидно, що відмінний стан інфраструктури

загалом не гарантує високої ефективності роботи станції. Забезпечення станцією надійного та безпечного руху поїздів згідно з визначеним графіком залежить від ефективності виконання операцій, передбачених технологічним процесом роботи станції.

Затримка поїзда, яка виникла внаслідок незадовільної роботи однієї станції, на іншій станції може спричинити відхилення від графіка руху вже кількох поїздів. З подальшим рухом цих поїздів відхилення від графіка можуть зрости настільки, що це призведе до серйозних збоїв у роботі окремих ліній. Затримка поїзда на станції може бути спричинена такими обставинами, як незадовільний стан інфраструктури станції, неефективна організація її роботи, незадовільний стан поїзда, неможливість відправлення поїзда у зв'язку з тим, що наступний у напрямку руху міжстанційний перегін займають інші поїзди тощо. Серед перерахованих вище обставин лише перша та друга стосуються безпосередньо організації роботи станції.

Оцінювання якості функціонування станції здійснюється на основі порівняння реального часу операцій, що виконуються з поїздом, із нормативним часом, встановленим технологічним процесом її роботи. Основною метою такого оцінювання є визначення чинників, які призводять до відхилень від графіка руху. Оскільки частина операцій із поїздами виконується паралельно, то затримка однієї з них може не вплинути на графік руху поїзда. Проте постійні затримки у виконанні окремих операцій свідчать про недоліки у роботі станції.

Позначимо t_n^c – час прибуття поїзда P на станцію C згідно з графіком; t_n^p – реальний час його прибуття; t_s^c – час відправлення поїзда P зі станції C згідно з графіком; t_s^p – реальний час його відправлення. Нехай $\mathbf{O} = \{O_n\}_{n=1}^N$ – множина операцій, які необхідно виконати над поїздом P на станції C згідно з технологічним процесом її роботи, $\mathbf{O}_{N_i} = \{O_{n_1}, O_{n_2}, \dots, O_{n_{N_i}}\}$ – підмножини операцій, які необхідно виконувати послідовно, наприклад відцеплення-прицеплення вагонів, $\mathbf{O}_{N_i} \subset \mathbf{O}$, $\sum_{i=1}^I N_i = N$.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Підмножину операцій \mathbf{O}_{N_i} , які повинні виконуватися послідовно, надалі називатимемо послідовністю операцій. Операції з різних підмножин \mathbf{O}_{N_i} , $i = \overline{1, I}$, які містять принаймні по одному елементу, можуть виконуватися паралельно, наприклад висадка-посадка пасажирів та видача-прийом пошти. Операції прибуття поїзда P на станцію C та його відправлення зі станції включатимемо в послідовність \mathbf{O}_{N_i} , яку вважатимемо основною. Наприклад, для поїзда, який проходить через станцію без зупинки, послідовність \mathbf{O}_{N_i} включатиме в себе операції прибуття, проходження через станцію та відправлення. Отже, множина \mathbf{O} не може бути порожньою. Природно, що сукупності операцій, які виконуються з поїздами різних типів (вантажними, пасажирськими, приміськими тощо) на станціях різних категорій можуть суттєво відрізнятися. Позначимо $\tau^c = \{\tau^c(O_n)\}_{n=0}^{N+1}$, де $\tau^c(O_n)$ – час виконання операції O_n згідно з графіком; $\tau^{\min} = \{\tau^{\min}(O_n)\}_{n=0}^{N+1}$, $\tau^{\min}(O_n)$ – мінімально допустимий час виконання операції O_n ; $\tau^p = \{\tau^p(O_n)\}_{n=0}^{N+1}$, $\tau^p(O_n)$ – реальний час виконання операції O_n . Позначимо $T_{PC}^c = t_g^c - t_n^c$ – час обробки поїзда P на станції C згідно з графіком; T_{PC}^{\min} – мінімально допустимий час обробки поїзда P на станції C , який передбачає виконання всіх необхідних операцій; $T_{PC}^p = t_g^p - t_n^p$ – реальний час обробки поїзда P на станції C . Природним є обмеження

$$T_{PC}^{\min} \leq \sum_{n_1, n_2, \dots, N_i} \tau^p(O_n) \leq T_{PC}^c, \quad i = \overline{1, I}.$$

Оцінювання якості роботи станції повинно виконуватися без врахування попередніх затримок поїзда, які сталися за незалежних від цієї станції причин.

Позначимо $\tau^{\min}(\mathbf{O}_{N_i}) = \sum_{n_1, n_2, \dots, N_i} \tau^{\min}(O_n)$, $\tau^c(\mathbf{O}_{N_i}) = \sum_{n_1, n_2, \dots, N_i} \tau^c(O_n)$, $\tau^p(\mathbf{O}_{N_i}) = \sum_{n_1, n_2, \dots, N_i} \tau^p(O_n)$. Вважаємо, що оцінка $e_{PC}(\mathbf{O}_{N_i})$ якості виконання послідовності операцій \mathbf{O}_{N_i} реальної обробки поїзда P на станції C дорівнює:

5, якщо $\tau^p(\mathbf{O}_{N_i}) = \tau^{\min}(\mathbf{O}_{N_i})$;
 $4 + (\tau^p(\mathbf{O}_{N_i}) - \tau^c(\mathbf{O}_{N_i})) / (\tau^{\min}(\mathbf{O}_{N_i}) - \tau^c(\mathbf{O}_{N_i}))$,
 якщо $\tau^{\min}(\mathbf{O}_{N_i}) < \tau^p(\mathbf{O}_{N_i}) \leq \tau^c(\mathbf{O}_{N_i})$;
 $3 + (\tau^p(\mathbf{O}_{N_i}) - T_{PC}^c) / (\tau^c(\mathbf{O}_{N_i}) - T_{PC}^c)$, якщо
 $\tau^c(\mathbf{O}_{N_i}) < \tau^p(\mathbf{O}_{N_i}) \leq T_{PC}^c$;
 2, якщо $\tau^p(\mathbf{O}_{N_i}) > T_{PC}^c$, $i = \overline{1, I}$.

Для знаходження оцінки $e_{PC}(O_n)$ якості виконання окремої операції з послідовності \mathbf{O}_{N_i} використовуємо аналогічний підхід. Вважаємо, що $e_{PC}(O_n)$ дорівнює:

5, якщо $\tau^p(O_n) = \tau^{\min}(O_n)$;
 $4 + (\tau^p(O_n) - \tau^c(O_n)) / (\tau^{\min}(O_n) - \tau^c(O_n))$,
 якщо $\tau^{\min}(O_n) < \tau^p(O_n) \leq \tau^c(O_n)$;
 $3 + (\tau^p(O_n) - T_{PC}^c) / (\tau^c(O_n) - T_{PC}^c)$, якщо
 $\tau^c(O_n) < \tau^p(O_n) \leq T_{PC}^c$, $O_n \in \mathbf{O}_{N_i}$;
 2, якщо $\tau^p(O_n) > T_{PC}^c$, $O_n \in \mathbf{O}_{N_i}$,
 $n = \overline{1, N_i}$, $i = \overline{1, I}$.

Останні дві оцінки означають, що тривалість операції $O_n \in \mathbf{O}_{N_i}$ є такою, що час виконання послідовності \mathbf{O}_{N_i} може наблизитися до часу T_{PC}^c або перевищити його.

Загалом перерозподіл часу виконання окремих операцій в межах послідовності \mathbf{O}_{N_i} може змінюватись та залежати від реальної тривалості кожної з них. Так, кількість пасажирів приміських поїздів під час посадки-висадки може змінюватись залежно від сезону, дня тижня (робочий або вихідний), часу та напрямку руху поїзда, що прибуває, тощо. Однак, якщо на станції C при обробці певного типу поїздів виконання окремої операції регулярно оцінюється «незадовільно», то слід провести ретельний аналіз причин формування такого висновку. Наприклад, причинами низької оцінки виконання операцій відчеплення-причеплення можуть бути недостатність чи поганий технічний стан маневрових засобів або низька кваліфікація персоналу, а для операцій посадки-висадки пасажирів – незадовільний стан або довжина посадкових платформ.

Якість обробки поїзда P на станції C визначаємо за співвідношенням

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

$$E_{PC} = \sum_{i=1}^I \rho_i e_{PC}(\mathbf{O}_{N_i}) / \sum_{i=1}^I \rho_i, \quad (8)$$

де ρ_i – вагові коефіцієнти, які визначають пріоритетність послідовності операцій \mathbf{O}_{N_i} , $i = \overline{1, I}$. Результати такого оцінювання допоможуть удосконалити графік руху поїзда та процес його обробки, скоротивши чи подовживши час його перебування на станції.

Звичайно, якість обробки поїзда P не може визначати якість роботи станції загалом, оскільки його затримка може бути викликана незалежними від станції обставинами. Більш обґрунтований висновок ми можемо сформулювати на підставі аналізу процесу обслуговування поїздів під час K тестових досліджень, які виконувались протягом періоду планового огляду роботи станції. Нехай T_0 – мінімальний період часу, який враховує циклічність руху поїзда P через станцію C . Оцінимо якість його обробки протягом K періодів T_0 за співвідношенням

$$E_{PC}^K = \sum_{k=1}^K E_{PC}^k / K, \quad (9)$$

де E_{PC}^k – оцінка якості обробки поїзда P під час k -го періоду T_0 , $k = \overline{1, K}$, обчислена за співвідношенням (8). Зазначимо, що екстраполяція на підставі знання передісторії значень послідовності оцінок E_{PC}^k , одержаних під час попередніх планових досліджень, дозволяє прогнозувати якість обробки окремого поїзда на короткострокову перспективу, а застосування апарату часових рядів – на довгострокову. Якщо внаслідок цього спостерігається зниження оцінок, то це може свідчити не лише про погіршення якості роботи станції, але й про погіршення стану складу поїзда, що нерідко трапляється у випадку приміських пасажирських поїздів.

Нехай $\mathbf{P}^k = \{P_j^k\}_{j=1}^M$ – сукупність поїздів, які проходять за k -й період T_0 через станцію C , $E_{P_j^k C}$ – оцінка якості обробки поїзда P_j^k , $j = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, K}$. Оцінка якості обробки сукупності поїздів \mathbf{P}^k обчислюється за співвідношенням

$$E_{\mathbf{P}^k C} = \sum_{j=1}^M \rho_j E_{P_j^k C} / \sum_{j=1}^M \rho_j,$$

де ρ_j – вагові коефіцієнти, які визначають пріоритетність поїзда P_j , $j = \overline{1, M}$. Аналогічні узагальнені висновки можна одержати для послідовності операцій над поїздами окремих типів із сукупності \mathbf{P}^k , а також, у разі потреби, для конкретних операцій над поїздами. Якість функціонування станції протягом K періодів T_0 , під час яких тривало планове дослідження, визначаємо за співвідношенням

$$E_{PC}^K = \sum_{k=1}^K E_{\mathbf{P}^k C} / K. \quad (10)$$

Значення E_{PC}^K дозволяє зробити достатньо обґрунтований висновок про ефективність роботи станції. Оцінку вигляду (8) можна формувати для окремих категорій поїздів. Екстраполяція на підставі знання передісторії значень послідовності E_{PC}^k , одержаних під час попередніх планових досліджень, дозволяє здійснювати прогностичний аналіз якості роботи станції на короткострокову перспективу загалом та локалізувати проблемні місця в обробці певних категорій поїздів.

Інтерактивне оцінювання роботи станції. Зазвичай планові огляди станції та відповідний аналіз результатів її роботи рознесені в часі. Тому задовільні висновки, одержані під час останнього дослідження можуть змінитися до наступного огляду, а стан або якість функціонування станції можуть перетнути «поріг безпеки». Отже, через низку причин цей спосіб не дозволяє вчасно виявляти недоліки, які виникають «поза планом». Способом, який дає можливість здійснювати опосередкований, але достатньо інформативний та оперативний контроль, мінімізуючи при цьому вплив суб'єктивного фактора, є неперервний моніторинг дотримання графіка руху поїздів, які проходять через станцію. Ми будемо здійснювати його шляхом аналізу взаємодії таких об'єктів ЗТС, як поїзд і станція. Сам метод оцінювання називатимемо інтерактивним (від англ. «interaction» – взаємодія).

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Нехай через станцію C за період T^0 проходить сукупність поїздів $\mathbf{P} = \{P_j\}_{j=1}^M$. Позначимо через $t_j^{c,e}$ час обслуговування поїзда P_j на станції C згідно з графіком; $t_j^{c,\min}$ – мінімально допустимий час його обслуговування на цій станції, який не створює ризиків для подальшого руху; $t_j^{c,p}$ – реальний час обслуговування поїзда; $t_j^{n,e}$ – час, за який поїзд P_j проходить наступний по шляху слідування міжстанційний перегін згідно з графіком; $t_j^{n,\min}$ – мінімально допустимий час його проходження (час проходження з максимальною встановленою швидкістю) цим перегonom, $j = \overline{1, M}$. Нехай T_k – період тривалістю T^0 з порядковим номером k , $k = \overline{1, K}$, $T^K = KT^0$. Будемо вважати, що оцінка $e(P_j, T_k)$ якості обслуговування поїзда P_j на станції C за період T_k дорівнює:

5, якщо $t_j^{c,p} = t_j^{c,\min}$, тобто час стоянки максимально компенсує попередні затримки руху; тут і надалі компенсація затримок доцільна і виправдана лише в тому випадку, коли вона не створює незручностей, не знижує якості обслуговування та не спричиняє загроз для пасажирів або вантажів;

$4 + (t_j^{c,p} - t_j^{c,e}) / (t_j^{c,\min} - t_j^{c,e})$, якщо $t_j^{c,p} \in (t_j^{c,\min}, t_j^{c,e}]$, тобто час стоянки частково компенсує попередні затримки руху;

$3 + (t_j^{c,e} + t_j^{n,e} - t_j^{n,\min} - t_j^{c,p}) / (t_j^{n,e} - t_j^{n,\min})$, якщо $t_j^{c,p} \in (t_j^{c,e}, t_j^{c,e} + (t_j^{n,e} - t_j^{n,\min}))$, тобто затримку поїзда на станції можна компенсувати на наступному перегоні завдяки безпечному збільшенню швидкості;

2, якщо $t_j^{c,p} < t_j^{c,e} + (t_j^{n,e} - t_j^{n,\min})$, тобто затримку на станції неможливо компенсувати на наступному перегоні, $j = \overline{1, M}$.

Зрозуміло, що оцінка затримки окремого поїзда на станції не може бути визначальним показником її стану або якості функціонування. Більш обґрунтований висновок можна зробити, оцінюючи затримки одного чи сукупності поїздів, які проходять через станцію протягом за-

даного періоду часу T^K (тиждень, місяць, квартал, рік тощо). Такі оцінки дають можливість принаймні частково локалізувати причини недоліків у її функціонуванні.

Оцінку станції за результатами проходження сукупності поїздів $\{P_j\}_{j=1}^M$ протягом періоду T_k визначаємо за співвідношенням

$$E_{\mathbf{P}}(T_k) = \sum_{j=1}^M \rho_{P_j} e(P_j, T_k) / \sum_{j=1}^M \rho_{P_j},$$

де $\{\rho_{P_j}\}_{j=1}^M$ – вектор вагових коефіцієнтів, які визначають пріоритетність поїздів із сукупності $\{P_j\}_{j=1}^M$. Обчисливши $E_{\mathbf{P}}(T_k)$ для кожного із k періодів, одержимо послідовність оцінок. Аналіз цієї послідовності дозволяє виявляти циклічні зміни якості обслуговування поїздів на станції.

Оцінку роботи станції за результатами проходження сукупності поїздів \mathbf{P} протягом часового інтервалу T^K визначаємо за співвідношенням

$$E_{\mathbf{P}}(T^K) = \sum_{k=1}^K E_{\mathbf{P}}(T_k) / K.$$

Із послідовним збільшенням T^K значення цих оцінок дозволяють відстежувати тренд та динаміку зміни якості обслуговування поїздів на станції. Якщо оцінка $e(P_j, T^K)$ обслуговування поїзда P_j на станції C за період T^K значно менша від $E_{\mathbf{P}}(T^K)$, то можна зробити висновки про наявність недоліків у графіку руху цього поїзда.

Відстежуючи динаміку поведінки агрегованих оцінок усіх рівнів, із послідовним збільшенням значення T^K ми можемо визначати тренди зміни стану та якості функціонування станції. При цьому короткострокове прогнозування, одержане внаслідок екстраполяції оцінок на підставі відомої передісторії їхніх значень, дає можливість завчасно виявити можливість переходу у найближчій перспективі через «пиріг безпеки», а, отже, організація роботи станції потребує позапланового дослідження та відповідних дій. Довгострокове прогнозування, здійснене за допомогою апарату часових рядів, до-

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

звояє відстежувати сезонні зміни у функціонуванні станції та запобігати негативним тенденціям у її роботі.

З проходженням поїзда по лінії його затримки можуть послідовно накопичуватись і компенсуватись. Оцінка роботи станції залежить, зокрема, від її здатності компенсувати попередні відхилення від графіку руху поїзда. Чисельно кількість компенсацій та зусилля станції для їх реалізації відображаються дробовими частинами оцінок $e(P_j, T_k)$, які перевищують значення 4. Так, оцінка $e(P_j, T_k) = 4,68$ означає, що робота по обслуговуванню поїзда P_j під час періоду T_k була проведена достатньо ефективно, оскільки на станції не лише у визначені терміни виконали всі операції над ним, але й компенсували попередні затримки. Однак, величина компенсації (0,68) означає, що ці затримки були достатньо суттєвими. Якщо ж значення $e(P_j, T_k) < 4$, то компенсація затримки також визначається дробовою частиною оцінки і може здійснюватися на наступному по шляху слідування міжстанційному перегоні завдяки збільшенню швидкості поїзда, що не завжди є можливим із-за стану поїзда або колії на перегоні. Якщо для сукупності поїздів, які проходять по лінії протягом часового інтервалу T^K затримки загалом компенсуються на станціях, то це є опосередкованим, хоча й достатньо показовим свідченням стану поїзда або стану колії на міжстанційних перегонах. З іншого боку, якщо затримки загалом компенсуються на перегонах, то це є свідченням стану інфраструктури або ефективності роботи станцій. Якщо ж узагальнена оцінка компенсацій, яка є свідченням їх масовості, є нижчою, ніж агрегована оцінка об'єктів ЗТС, які утворюють лінію, то можна зробити обґрунтований висновок про те, що встановлений на ній графік руху поїздів є неоптимальним або чутливим до малих відхилень від графіка.

Результати

Здійснивши комплексне оцінювання кожної із станцій, які розташовані на лінії регулярного руху поїздів, ми можемо визначити ті об'єкти СГ, які потребують першочергової модернізації свого стану, організації технологічного процесу

або удосконалення встановленого графіка руху поїздів. Послідовно провівши агреговане оцінювання станційного господарства відділків, дистанцій, дирекцій, регіональних залізниць та ЗТС загалом, ми можемо визначити потенційні ризики і необхідні для їх попередження матеріальні та фінансові ресурси.

Наукова новизна та практична значимість

У роботі запропоновано удосконалення існуючого методу оцінювання елементів станційної інфраструктури. Виконане внаслідок планових і позапланових оглядів оцінювання стану та якості функціонування станції дозволяє визначити недоліки у її роботі та надати рекомендації з удосконалення технологічного процесу або доукомплектування станційного господарства необхідними технічними засобами та персоналом. Між плановими оглядами неперервний моніторинг якості функціонування станції здійснюється за допомогою методу інтерактивного оцінювання.

Запропоновану методику комплексного оцінювання можна застосовувати до структурних одиниць станційного господарства різного рівня ієрархії. Розроблене програмне забезпечення дозволяє оперативно орієнтуватися у результатах оцінювання та локалізувати виявлені недоліки.

Висновки

У роботі запропоновано методику комплексного оцінювання залізничних станцій. Під час планових оглядів використовуються методи локального та агрегованого оцінювання стану станційної інфраструктури і якості функціонування станції. Запропонований метод інтерактивного оцінювання ґрунтується на аналізі дотримання графіка руху поїздів і дозволяє здійснювати неперервний моніторинг якості функціонування станції між плановими оглядами. Для запобігання можливих ризиків на підставі послідовності оцінок, одержаних під час попередніх оглядів, використовується метод прогностичного аналізу.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Бубнова, Г. В. Ситуационный анализ работы железнодорожной технической станции / Г. В. Бубнова // Российское предпринимательство. – 2010. – № 12-2. – С. 114–119.
- Буянова, В. К. Система организации вагонопотоков / В. К. Буянова, А. И. Сметанин, Е. В. Архангельский. – М. : Транспорт, 1988. – 223 с.
- Замышляев, А. М. Повышение безопасности движения на основе комплексной оценки состояния инфраструктуры железнодорожной станции : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Замышляев Алексей Михайлович ; Московский гос. ун-т путей сообщ. – М., 2005. – 23 с.
- Зартдинов, Д. Р. Эксплуатационная надежность железнодорожной станции и ее определяющие факторы / Д. Р. Зартдинов, Е. Н. Тимухина // Трансп. : наука, техника, управл. – 2013. – № 1. – С. 76–79.
- Железнодорожный транспорт / под ред. Н. С. Конарева. – М. : Большая Российская энцикл., 2003. – Том 4. – 1038 с.
- Ковалев, В. И. Основы эксплуатационной работы железных дорог / В. И. Ковалев, В. А. Кудрявцев, А. П. Кузнецов. – М. : Академия, 2005. – 350 с.
- Козаченко, Д. М. Об'єктно-орієнтована модель функціонування залізничних станцій / Д. М. Козаченко // Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 4 (46). – С. 47–55.
- Кужель, А. Л. Развитие теории и практики разработки графика движения поездов / А. Л. Кужель, А. Т. Осьминин, Л. А. Осьминин // Ж-д трансп. – 2012. – № 3. – С. 6–13.
- Общий курс железных дорог : учеб. пособие / под ред. Ю. И. Ефименко. – М. : Академия, 2005. – 256 с.
- Офіційний сайт Укрзалізниці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uz.gov.ua>. – Назва з екрана.
- Поліщук, Д. О. Використання часових рядів для прогнозування оцінки якості функціонування складних систем / Д. О. Поліщук, М. С. Яджак // 36. праць міжн. наук. конф. «Сучасні проблеми механіки і математики» (25-29 травня 2008). – Л., 2008. – Т. 3. – С. 38–40.
- Поліщук, Д. О. Оцінювання стану колійного господарства Укрзалізниці / Д. О. Поліщук // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2012. – Вип. 41. – С. 203–212.
- Сокол, Э. Н. Модель механизма железнодорожно-транспортного происшествия как совокупность связей взаимодействия его элементов / Э. Н. Сокол // Залізн. трансп. України. – 2011. – № 1. – С. 15–17.
- Сотников, Е. А. Эксплуатационная работа железных дорог (состояние, проблемы, перспективы) / Е. А. Сотников. – М. : Транспорт, 1986. – 256 с.
- Уманов, М. І. Покращення оцінки стану колії з використанням середньоквадратичних відхилень геометричних параметрів / М. І. Уманов, А. М. Патласов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2012. – Вип. 40. – С. 109–114.
- Шенфельд, К. П. О показателях качества организации перевозочного процесса / К. П. Шенфельд // Ж-д трансп. – 2011. – № 3. – С. 64–67.
- Lichtberger, B. W. Kostensenkung durch Qualitätsvorrat in der Fahrweginstandhaltung / B. W. Lichtberger // Eisenbahningenieur. – 1999. – № 1. – P. 39–42.
- Polishchuk, D. About Evaluation of Complex Dynamical Systems [Електронний ресурс] / D. Polishchuk, O. Polishchuk // J. of Complex Systems. – Режим доступу: <http://www.hindawi.com/journals/jcs/2013/204304>. – Назва з екрана.
- Weart, W. Track Inspection Technology Update / W. Weart // Progressive Railroading. – 2009. – № 3. – P. 47–53.

Д. А. ПОЛИЩУК^{1*}

^{1*}Обособленное подразделение «Информационно-вычислительный центр», Государственное территориально-отраслевое объединение «Львовская железная дорога», ул. Гоголя, 1, Украина, 79000, +38 (063) 879 96 11, эл. почта d_pole@mail.ru

КОМПЛЕКСНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ СОСТОЯНИЯ И КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

Цель. Разработка новых и совершенствование существующих методов оценки состояния и качества функционирования железнодорожных станций для повышения эффективности их работы. **Методика.** В процессе исследования использовались средства локального, прогностического, агрегированного и интерактивно-

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

го анализів состояния, а також якості функціонування елементів станційної інфраструктури і обробки поїздів на станціях. Локальні оцінки отримуються на основі результатів планових і внепланових оглядів. На основі набору локальних оцінок будуються агреговані оцінки різної ступені общності. Метод інтерактивного оцінювання ґрунтується на аналізі дотримання графіка руху поїздів. Метод прогностичного аналізу використовує передісторію оцінок, отриманих в час попередніх оглядів. **Результати.** Внаслідок проведених досліджень запропоновано комплексний детерміністичний підхід до оцінки станційного господарства Укрзалізниці. Цей підхід дозволяє встановити достатньо повну і об'єктивну картину состояния, якості функціонування і взаємодії об'єктів станційного господарства. **Наукова новизна.** Удосконалено існуючий метод оцінки елементів станційної інфраструктури. Запропонований метод інтерактивного оцінювання дозволяє здійснювати безперервний моніторинг якості функціонування станції між плановими оглядами. **Практична значимість.** Запропоновану методіку комплексної оцінки можна застосовувати до структурним одиницям станційного господарства різного рівня ієрархії. Розроблене програмне забезпечення дозволяє оперативно орієнтуватися в результатах оцінки і локалізувати виявлені недоліки.

Ключові слова: станційне господарство; якість функціонування; оцінювання; прогнозування; агрегація; безперервний моніторинг

D. O. POLISHCHUK^{1*}

^{1*}Separated Department «Information and Computer Center», State Territorial-Sectoral Association «Lviv Railway», Hoholia St, 1, Lviv, Ukraine, 79000, +38 (063) 879 96 11, e-mail d_pole@mail.ru

COMPLEX EVALUATION OF THE STATE AND QUALITY OF RAILWAY STATION OPERATING

Purpose. Improvement of existing methods for evaluation of condition and functioning quality of railway stations and development of the new ones in order to improve operation of railway stations. **Methodology.** During research the local, prognostic, aggregated and interactive analyses of condition and functioning quality of station infrastructure elements and train processing at the stations were applied. Local evaluations are obtained as the result of scheduled and off-schedule surveys. On the basis of local evaluations, aggregated evaluations of different generalization level are applied. Method for interactive evaluation is based on the analysis of compliance with train tables. Method of prognostic analysis applies the prehistory of evaluations obtained during previous surveys. **Findings.** Resulting from researches held, the complex determinative approach was proposed for evaluation of station sector of Ukrainian Railways. This approach allows determining comprehensive and objective notion about station, functioning quality and interaction between objects of station sector. **Originality.** Existing method for station infrastructure elements evaluation was improved. Proposed method for interactive evaluation allows performing continuous observation of station functioning quality between scheduled surveys. **Practical value.** Proposed methodology for complex evaluation may be applied to structural units of station sector of different hierarchy levels. Software developed allows navigating promptly over evaluation results and localizing drawbacks discovered.

Keywords: station sector; functioning quality; evaluation; prognostication; aggregation; continuous monitoring

REFERENCES

1. Bubnova G.V. Situatsionnyy analiz raboty zheleznodorozhnoy tekhnicheskoy stantsii [Situational analysis of railway train station]. *Rossiyskoye predprinimatelstvo – Russian Entrepreneurship*, 2010, no. 12-2, pp. 114-119.
2. Buyanova V.K., Smetanin A.I., Arkhangelskiy E.V. *Sistema organizatsii vagonopotokov* [System of car traffic organization]. Moscow, Transport Publ., 1988. 223 p.
3. Zamyshlyayev A. M. *Povysheniye bezopasnosti dvizheniya na osnove kompleksnoy otsenki sostoyaniya infrazhukturny zheleznodorozhnoy stantsii*. Avtoreferat Diss. [Improving traffic safety on the basis of complex evaluation of condition of railway station infrastructure. Author's abstract]. Moscow, 2005. 23 p.
4. Zartdinov D.R., Timukhina E.N. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost zheleznodorozhnoy stantsii i yeye opredelyayushchiye faktory* [The operational reliability of the railway station and its determining factors]. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye – Transport: science, technology, management*, 2013, no. 1, pp. 76-79.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

5. Konarev N.S. *Zheleznodorozhnyy transport* [Railway transport]. Moscow, Bolshaya Rossiyskaya entsiklopediya Publ., 2003. 1038 p.
6. Kovalev V.I., Kudryavtsev V.A., Kuznetsov A.P. *Osnovy ekspluatatsionnoy raboty zheleznykh dorog* [Fundamentals of operational performance of railways]. Moscow, Akademiya Publ., 2005. 350 p.
7. Kozachenko D.M. Obiektno-orientovana model funktsionuvannya zaliznychnykh stantsii [Object-oriented model for railway stations operations]. *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. 47-55.
8. Kuzhel A.L., Osminin A.T., Osminin L.A. Razvitiye teorii i praktiki razrabotki grafika dvizheniya poyezdov [Development of theory and practice of train schedule elaboration]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway transport*, 2012, no. 3, pp. 6-13.
9. Yefimenko Yu. I., Uzdin M. M., Kovalev V. I. *Obshchiy kurs zheleznykh dorog* [General course of railways]. Moscow, Akademiya Publ., 2005. 256 p.
10. *Ofitsiyni sait Ukrzaliznytsi* (Official website of Ukrainian Railway). Available at: <http://www.uz.gov.ua> (Accessed 20 November 2013).
11. Polishchuk D.O. Otsiniuvannya stanu koliinoho hospodarstva Ukrzaliznytsi [Evaluation of Ukrainian Railway equipment condition]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2012, issue 41, pp. 203-212.
12. Polishchuk D.O., Yadzhak M.S. Vykorystannya chasovykh riadiv dlia prohnouvan'nya otsinky yakosti funktsionuvannya skladnykh system [Usage of time series for forecasting of evaluation of operation quality of complex systems]. *Zbirnyk prats mizhnarodnoi naukovoï konferentsii «Suchasni problemy mekhaniky i matematyky»* [Proc. of the Int. Sci. Conf. «Modern Problems of Mathematics and Mechanics»]. Lviv, 2008, issue 3, pp. 38-40.
13. Sokol E.N. Model mekhanizma zheleznodorozhno-transportnogo proisshestiya kak sovokupnost svyazey vzaimodeystviya yego elementov [Model of railroad accident in the form of set of interaction connections between its elements]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2011, no. 1, pp. 15-17.
14. Sotnikov E.A. *Ekspluatatsionnaya rabota zheleznykh dorog (sostoyaniye, problemy, perspektivy)* [Operational performance of railways (condition, problems and prospects)]. Moscow, Transport Publ., 1986. 256 p.
15. Umanov M.I., Patlasov A.M. Pokrashchennia otsinky stanu kolii z vykorystanniam serednokvadratnykh vidkhylen heometrychnykh parametriv [Improvement of track condition with usage of mean-square deviations of geometric parameters]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2012, issue 40, pp. 109-114.
16. Shenfeld K.P. O pokazatelyakh kachestva organizatsii perevozhnogo protsessa [About quality indicators of traffic organization]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 2011, no. 3, pp. 64-67.
17. Lichtberger B.W. Kostensenkung durch Qualitätsvorrat in der Fahrweginstandhaltung. *Eisenbahningenieur*, 1999, no. 1, pp. 39-42.
18. Polishchuk D., Polishchuk O. About Evaluation of Complex Dynamical Systems. *Journal of Complex Systems*. Available at: <http://www.hindawi.com/journals/jcs/2013/204304/> (Accessed 20 November 2013).
19. Weart W. Track Inspection Technology Update. *Progressive Railroading*, 2009, no. 3, pp. 47-53.

Стаття рекомендована до друку д.т.н., проф. В. І. Шинкаренком (Україна); д.фіз.-мат.н. М. С. Яджак-ком (Україна)

Надійшла до редколегії 06.11.2013

Прийнята до друку 08.02.2014

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

УДК 625.57:621.311

С. В. РАКША¹, А. С. КУРОПЯТНИК^{2*}, А. А. КУРКА²

¹Каф. «Прикладная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, эл. почта raksha@ukr.net

^{2*}Каф. «Прикладная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, эл. почта kuropyatnick@gmail.com

²Каф. «Прикладная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПОДВЕСНЫХ КАНАТНЫХ ДОРОГ

Цель. Формирование рекомендаций по рациональному профилированию подвесных канатных дорог с учетом энергосбережения. **Методика.** В качестве критерия энергопотребления принята удельная мощность привода как отношение потребляемой мощности к пропускной способности дороги. Цикл перемещения вагонов был условно разделен на три этапа, характерными особенностями каждого из которых являлись кинематические параметры дороги. Удельная мощность для всего цикла определялась как сумма соответствующих величин по этапам движения. **Результаты.** Проведенные исследования показали, что удельная мощность привода не зависит от кинематических параметров дороги. Предельное значение удельной мощности привода не зависит от длины дороги. С увеличением вместимости вагонов влияние длины пролета на удельную мощность снижается. Для дорог большой длины рекомендуется выполнять подбор высот опор в соответствии с особенностями рельефа для обеспечения минимально возможных уклонов пролетов. Целесообразным является использование вагонов большой вместимости при сооружении дороги на местности, рельеф которой характеризуется существенными перепадами высот. Длинные пролеты следует выполнять как можно более пологими, преодолевая перепады высот за счет пролетов малой длины. **Научная новизна.** Сформулирован новый критерий оценки энергопотребления подвесных канатных дорог. **Практическая значимость.** Использование полученных результатов и сформулированных рекомендаций позволит разрабатывать проекты подвесных канатных дорог с пониженным энергопотреблением.

Ключевые слова: подвесные канатные дороги; энергопотребление; энергосбережение; приводы; параметры профиля

Введение

С каждым годом уменьшаются запасы природного газа и нефти. Соответственно, цена на эти ресурсы растет, что сопровождается повышением стоимости перевозок пассажиров и грузов. Поэтому сейчас в поисках более дешевого вида топлива строят новые установки, перерабатывающие растения на биотопливо, ищут альтернативные источники энергии. Та-

кими источниками являются вода, ветер, солнце, энергию которых преобразуют в электрическую.

Электроэнергию широко применяют в быту, на предприятиях различных отраслей, ею питается электротранспорт (трамваи, троллейбусы, локомотивы), приводы подъемно-транспортных и других машин, в частности приводы подвесных канатных дорог (ПКД).

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

Развитие и внедрение ресурсосберегающих технологий всегда считалось одной из наиболее приоритетных задач, решаемых как на этапе проектирования, так и в процессе эксплуатации техники. Из приведенного выше видно, что на сегодняшний день энергия является критическим ресурсом, поэтому разработка способов снижения энергопотребления является весьма актуальной задачей.

Исследованиям способов улучшения ПКД за счет изменения их конструкций посвящен целый ряд работ [1–4, 12]. Результаты таких исследований реализованы в проектах дорог, эксплуатируемых в качестве средств пассажирского (как курортного, так и городского) транспорта [6, 7, 8]. В других работах рассматриваются возможности повышения точности расчетов ПКД за счет увеличения количества факторов, которые тем или иным образом влияют на надежность и безопасность эксплуатации [5, 9, 10, 11, 13–18]. Однако в них не затрагиваются вопросы снижения энергопотребления ПКД за счет улучшения их технико-экономических характеристик.

Цель

Цель работы – формирование рекомендаций по рациональному профилированию подвесных канатных дорог с учетом энергосбережения. Для достижения поставленной цели необходимо решить такие задачи:

- 1) выбор и обоснование критерия оценки энергопотребления;
- 2) оценка влияния различных параметров дороги на ее энергопотребление;
- 3) обоснование способов снижения энергопотребления ПКД.

Методика

Энергопотребление канатной дороги может быть оценено по величине удельной мощности привода

$$k = \frac{P_n}{\Pi} = \frac{P_n t}{N}, \quad (1)$$

где P_n – потребляемая мощность привода; Π – пропускная способность дороги; t – продолжительность цикла транспортировки; N – вместимость вагона.

Величина P_n характеризует реальное потребление электроэнергии и определяется по формуле

$$P_n = \frac{W v}{\eta}, \quad (2)$$

где W – окружное усилие привода; v – скорость движения вагона; η – коэффициент полезного действия привода.

Цикл транспортировки состоит из нескольких этапов: движение вагона в пределах станции, разгон/торможение вагона возле станций и опор, движение вагона в пролете. Рассмотрим особенности энергопотребления ПКД на каждом из этапов отдельно.

1. Движение вагона в пределах станции. В пределах станции вагон движется равномерно со скоростью v_0 , преодолевая путь s_0 (длина станционных путей), поэтому продолжительность движения на данном этапе

$$t_c = \frac{s_0}{v_0}. \quad (3)$$

Потребляемая мощность согласно формуле (2)

$$P_{n0} = \frac{W_0 v_0}{\eta}, \quad (4)$$

где W_0 – окружное усилие привода при движении вагона в пределах станции.

Тогда удельная мощность привода при движении вагона в пределах станции

$$k_c = \frac{P_{n0} t_c}{N} = \frac{W_0 s_0}{\eta N}. \quad (5)$$

Как видим, данная величина не зависит от скорости движения вагона.

2. Разгон/торможение вагона возле станций и опор. После выхода со станции вагон разгоняется, изменяя свою скорость от v_0 до v – скорости установившегося движения в пролете. Поэтому продолжительность разгона/торможения вагона

$$t_{p/t} = \frac{v - v_0}{a}, \quad (6)$$

где a – ускорение разгона/торможения.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

Потребляемая мощность согласно формуле (2)

$$P_{\text{пр/т}} = \frac{W_{\text{п/т}} v_{\text{ср}}}{\eta} = \frac{W_{\text{п/т}} (v + v_0)}{2\eta}, \quad (7)$$

где $W_{\text{п/т}}$ – окружное усилие привода в период разгона/торможения вагона; $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость движения вагона.

Тогда удельная мощность привода в период разгона/торможения вагона

$$k_{\text{п/т}} = \frac{P_{\text{пр/т}} t_{\text{п/т}}}{N} = \frac{W_{\text{п/т}} s_{\text{п/т}}}{\eta N}, \quad (8)$$

где $s_{\text{п/т}} = (v^2 - v_0^2)/2a$ – путь разгона/торможения вагона.

Отметим, что удельная мощность привода на данном этапе зависит от скорости движения вагона лишь косвенно.

3. *Движение вагона в пролете.* Движение вагона в пролете происходит с постоянной (установившейся) скоростью v ; при этом преодолевается путь s , равный суммарной длине каната в пролете L . Таким образом, продолжительность движения

$$t_y = \frac{s}{v}. \quad (9)$$

Потребляемая мощность согласно формуле (2)

$$P_{\text{пу}} = \frac{W_y v}{\eta}, \quad (10)$$

где W_y – окружное усилие привода при движении вагона в пролете.

Тогда удельная мощность привода при движении вагона в пролете

$$k_y = \frac{P_{\text{пу}} t_y}{N} = \frac{W_y s}{\eta N}. \quad (11)$$

Как видим, данная величина не зависит от скорости движения вагона.

Суммируя значения удельной мощности привода по этапам движения вагона, получим:

$$k = k_c + k_{\text{п/т}} + k_y + k_{\text{п/т}} + k_c = \frac{1}{\eta N} (W_0 s_0 + W_{\text{п/т}} s_{\text{п/т}} + W_y s_y + W_{\text{п/т}} s_{\text{п/т}} + W_0 s_0) =$$

$$= \frac{1}{\eta N} \int_0^L W ds. \quad (12)$$

Из выражения (12) следует, что удельная мощность может быть определена как площадь фигуры, ограниченной диаграммой окружных усилий привода как функции перемещения вагона и осью абсцисс с учетом вместимости вагонов и коэффициента полезного действия привода. Также видим, что удельная мощность привода не зависит от его кинематических параметров (скорости, ускорения).

Результаты

Рассмотрим влияние различных параметров дороги на удельную мощность привода на примере пассажирской ПКД (рис. 1) с такими базовыми характеристиками:

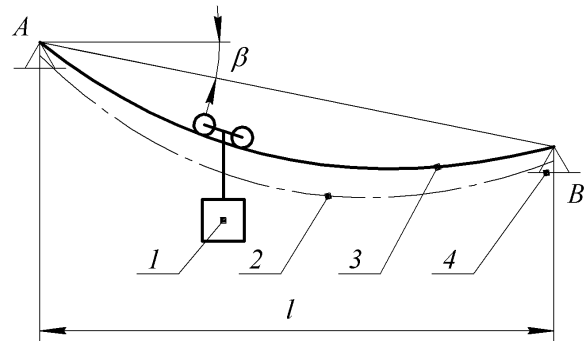


Рис. 1. Схема ПКД:

1 – вагон; 2 – тяговый канат; 3 – несущий канат; 4 – опора

- длина пролета $l = 200$ м;
- угол наклона хорды пролета $\beta = 15^\circ$;
- диаметры канатов: несущего – 47 мм; тягового – 21 мм;
- вес пустого вагона – 1,8 т;
- вместимость вагона – 40 чел.;
- коэффициент полезного действия привода $\eta = 0,8$.

В исследованиях, результаты которых представлены ниже, эти характеристики изменяются в определенных диапазонах с целью анализа их влияния на удельную мощность привода.

Зависимость удельной мощности привода от вместимости вагонов (рис. 2) имеет характер гиперболы, стремящейся к минимально достижимому значению

$$k_{\min} = \lim_{N \rightarrow \infty} k(N). \quad (13)$$

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

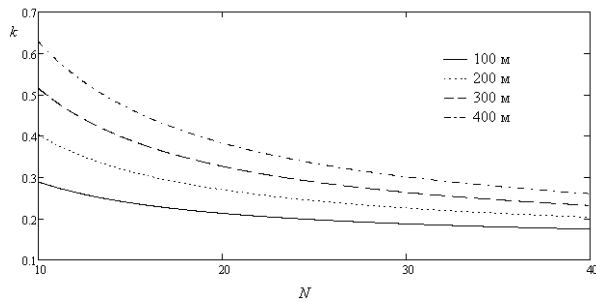


Рис. 2. Зависимость удельной мощности привода k (кВт·с/чел.) от вместимости вагонов N (чел.) при различных значениях длины пролета l (м)

Исследования показали, что величина k_{\min} не зависит от длины пролета, а при малых длинах пролета влияние вместимости вагонов на величину k снижается. Видим, что с увеличением вместимости вагонов влияние длины пролета на удельную мощность снижается.

Нижнюю границу N_{\min} диапазона вместимости вагона можно определить из условия снижения разности показателей k для смежных значений N , которые изменяются с определенным шагом (например, $\Delta N = 1$ пассажир). При увеличении количества пассажиров в вагоне от 0 до N_{\min} происходит стремительное снижение удельной мощности, а значит, и удельных энергозатрат. Выбрав условие ограничения вместимости вагона (например: дальнейшее увеличение количества пассажиров приводит к снижению показателя k менее, чем на 5 % от предельно достижимого значения k_{\min}), можно составить рекомендации к выбору вместимости вагонов в зависимости от длины пролета, исходя из условия снижения удельных энергозатрат.

Далее рассмотрим влияние угла наклона хорды пролета β (рис. 3).

В случае, когда $\beta = 0$, вместимость вагонов не влияет на удельную мощность привода. Таким образом, для дорог большой длины, рациональными следует считать горизонтальные пролеты, которые достигаются путем подбора высот опор в соответствии с перепадами высот рельефа в местах их установки.

Из рис. 3 следует, что с увеличением вместимости вагонов влияние угла наклона хорды пролета снижается. Следовательно, можно рекомендовать использование вагонов большой

вместимости при сооружении дороги на местности, рельеф которой характеризуется существенными перепадами высот.

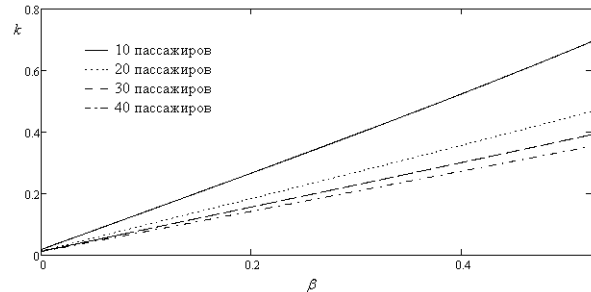


Рис. 3. Зависимость удельной мощности привода k (кВт·с/чел.) от угла наклона хорды пролета β (рад) при различных значениях вместимости вагонов N (чел.)

Зависимость удельной мощности от длины пролета (рис. 4) имеет линейный характер. При $\beta = 0$ длина пролета почти не влияет на величину k , следовательно, длинные пролеты следует выполнять как можно более пологими, преодолевая перепады высот за счет пролетов малой длины.

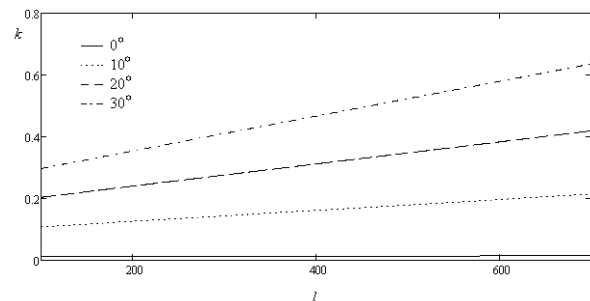


Рис. 4. Зависимость удельной мощности привода k (кВт·с/чел.) от длины пролета l (м) при различных значениях угла наклона хорды пролета β (град)

Научная новизна и практическая значимость

Сформулирован новый критерий оценки энергопотребления подвесных канатных дорог.

Использование полученных результатов и сформулированных рекомендаций позволит разрабатывать проекты подвесных канатных дорог с пониженным энергопотреблением.

Выводы

Рассмотрев все параметры, которые влияют на энергопотребление ПКД, можно сделать выводы:

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

– удельная мощность привода не зависит от кинематических параметров ПКД;
 – предельное значение удельной мощности не зависит от длины пролета;
 – с увеличением вместимости вагонов влияние длины пролета на удельную мощность снижается.

На основании полученных результатов можно сформулировать рекомендации по рациональному проектированию ПКД:

– для дорог большой длины рекомендуется выполнять подбор высот опор в соответствии с особенностями рельефа для обеспечения минимально возможных уклонов пролетов;
 – рекомендуется использование вагонов большой вместимости при сооружении дороги на местности, рельеф которой характеризуется существенными перепадами высот;
 – длинные пролеты следует выполнять как можно более пологими, преодолевая перепады высот за счет пролетов малой длины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Беркман, М. Б. Подвесные канатные дороги / М. Б. Беркман. – М. : Машиностроение, 1984. – 264 с.
- Горячев, Ю. К. Рациональное размещение опоры двухпролетной маятниковой подвесной дороги / Ю. К. Горячев, А. С. Куропятник // Подъемно-транспортная техника. – 2010. – № 2. – С. 87–93.
- Горячев, Ю. К. Улучшение профиля маятниковой подвесной канатной дороги / Ю. К. Горячев, А. С. Куропятник // 36. наук. пр. ДЕТУТ «Трансп. системи і технології». – 2011. – № 18. – С. 24–28.
- Дукельский, А. И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны / А. И. Дукельский. – М.-Л. : Машиностроение, 1966. – 484 с.
- Кинжибалов, А. В. Повышение безопасности пассажирских канатных дорог на основе оценки риска и резервирования привода : автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.05.04 / Кинжибалов Александр Владимирович ; Южно-Росс. госуниверситет. техн. ун-т, Новочеркасск, 2008. – 24 с.
- Лизанчук, С. Канатним дорогам – безпечний європейський підхід / С. Лизанчук // Підъемные сооружения. Специальная техника. – 2010. – № 8. – С. 7.
- Материалы интернет-сайтов производителей ПКД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.doppelmayr.com; www.skado.ru; www.poma.net; <http://en.leitner-opeways.com>. – Загл. с экрана.
- Международное обозрение по канатному транспорту. Русский спецвыпуск. – Вена : Bohmann Druck & Verlag GmbH & Co. KG, 2011. – 48 с.
- Патарая, Д. И. Расчет и проектирование канатных систем на примере подвесных дорог / Д. И. Патарая. – Тбилиси : Мецниереба, 1991. – 103 с.
- Ракша, С. В. Аналіз впливу пружних деформацій несучого каната на зусилля в тяговому канаті підвісної дороги / С. В. Ракша, Ю. К. Горячев, О. С. Куроп'ятник // Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 6 (48). – С. 110–119.
- Ракша, С. В. Моделювання навантаженості приводу канатної дороги з урахуванням зміщення несучого каната на опорах / С. В. Ракша, Ю. К. Горячев, О. С. Куроп'ятник // Вестн. Харьк. нац. автомобільно-дорожного ун-та. – 2012. – Вып. 57. – С. 75–84.
- Сванидзе, Л. Г. Размещение опор маятниковой канатной дороги / Л. Г. Сванидзе, В. Ф. Супрунов // Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2009. – № 4. – С. 46–48.
- Knawa, M. Effects of dynamic loads acting on carrying cable in operating ropeway / M. Knawa, D. Bryja // Proc. in Applied Mathematics and Mechanics. – 2008. – Vol. 8. – Iss. 1. – P. 10297–10298.
- Kopanakis, G. A. Oscillations in ropeways / G. A. Kopanakis // Part 1. Intern. Ropeway Review. – 2011. – № 6. – P. 48–50.
- Kopanakis, G. A. Oscillations in ropeways / G. A. Kopanakis // Part 2, 3. Intern. Ropeway Review, 2012. – № 1. – P. 46–49.
- Kopanakis, G. A. Oscillations in ropeways / G. A. Kopanakis // Part 4. Intern. Ropeway Review. – 2012. – № 3. – P. 63–66.
- Kowal, J. Static and dynamic analysis of the cableway / J. Kowal // The Arch. of Mechanical Engineering. – 2008. – Vol. LV, № 4. – P. 357–368.
- Nejez, J. Cableway oscillation problems / J. Nejez // Intern. Ropeway Review. – 2011. – № 6. – P. 47.

С. В. РАКША¹, О. С. КУРОПЯТНИК^{2*}, А. О. КУРКА²¹Каф. «Прикладна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, ел. пошта raksha@ukr.net^{2*}Каф. «Прикладна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, ел. пошта kuropyatnick@gmail.com²Каф. «Прикладна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18

ОБґРУНТУВАННЯ СПОСОБІВ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПІДВІСНИХ КАНАТНИХ ДОРІГ

Мета. Формування рекомендацій щодо раціонального профілювання підвісних канатних доріг із урахуванням енергозбереження. **Методика.** Як критерій енергоспоживання була прийнята питома потужність приводу, яка є відношенням споживаної потужності до пропускної здатності дороги. Цикл переміщення вагонів було умовно поділено на три етапи, кожному з яких властиві певні кінематичні характеристики дороги. Питома потужність для всього циклу визначалася як сума відповідних величин за етапами руху. **Результати.** Проведені дослідження показали, що питома потужність приводу не залежить від кінематичних параметрів дороги. Граничне значення питомої потужності приводу не залежить від довжини дороги. Зі збільшенням місткості вагонів вплив довжини прогону на питому потужність зменшується. Для доріг великої довжини рекомендується виконувати підбір висот опор відповідно до особливостей рельєфу для забезпечення мінімально можливих ухилів прогонів. Доцільним є використання вагонів великої місткості під час спорудження дороги на місцевості, рельєф якої характеризується значними перепадами висот. Довгі прогони слід виконувати якомога пологішими, долаючи перепади висот за рахунок прогонів малої довжини. **Наукова новизна.** Сформульовано новий критерій оцінки енергоспоживання підвісних канатних доріг. **Практична значимість.** Використання отриманих результатів та сформульованих рекомендацій дозволить розробляти проекти підвісних канатних доріг зі зниженим енергоспоживанням.

Ключові слова: підвісні канатні дороги; енергоспоживання; енергозбереження; приводи; параметри профілю

S. V. RAKSHA¹, A. S. KUROPYATNIK^{2*}, A. A. KURKA²¹Dep. «Applied Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 18, e-mail raksha@ukr.net^{2*}Dep. «Applied Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 18, e-mail kuropyatnick@gmail.com²Dep. «Applied Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 18

SUBSTANTIATION OF WAYS OF DECREASE IN POWER CONSUMPTION OF ROPEWAYS

Purpose. Formation of recommendations about rational profiling of ropeways taking into account energy saving. **Methodology.** As criterion of power consumption the specific power of the drive as the relation of power consumption to ropeway carrying capacity is accepted. The cycle of movement of cars was conditionally divided into three stages, characteristics of each one were kinematic parameters of the ropeway. Specific power for all cycle was determined as the sum of the corresponding values by movement stages. **Findings.** The conducted researches showed that the specific power of the drive doesn't depend on kinematic parameters of the ropeway. Limit value of specific power of the drive doesn't depend on road length. With increase in capacity of cars influence of length of flight on specific power are decreased. For big length ropeways it is recommended to carry out selection of heights of supports according to features of a relief for providing minimum possible gradient of spans. Use of high-capacity cars is expedient at a ropeway construction on the district which relief is characterized by essential height differences. Long spans should be carried out as much as possible acclivous, overcoming height differences via small length spans. **Originality.** The new criterion of estimation of power consumption of ropeways was formulated.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

Practical value. The use of the received results and the formulated recommendations will allow designing ropeways with the lowered power consumption.

Keywords: ropeways; power consumption; energy saving; drives; profile parameters

REFERENCES

1. Berkman M.B. *Podvesnyye kanatnyye dorogi* [Aerial cablways]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1984. 264 p.
2. Dukelskiy A.I. *Podvesnyye kanatnyye dorogi i kabelnyye krany* [Aerial cablways and cable cranes]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1966. 484 p.
3. Goryachev Yu.K., Kuropyatnik A.S. Ratsionalnoye razmeshcheniye opory dvukhproletnoy mayatnikovoy podvesnoy dorogi [Rational placement of a support of the ropeway with two spans]. *Podyemno-transportnaya tekhnika – Handling equipment*, 2010, no. 2, pp. 87-93.
4. Goryachev Yu.K., Kuropyatnik A.S. Uluchsheniye profilya mayatnikovoy podvesnoy kanatnoy dorogi [Improvement of a profile of a pendulum ropeway]. *Zbirnyk naukovykh prats DETUT «Transportni systemy i tekhnologii»* [Proc. of State Economical and Technological University of Transport «Transport systems and technologies»], 2011, no. 18, pp. 24-28.
5. Kinzhibalov A.V. *Povysheniye bezopasnosti passazhirskikh kanatnykh dorog na osnove otsenki riska i rezervirovaniya privoda*. Avtoreferat Diss. [Increase of safety of passenger ropeways on the basis of an assessment of risk and drive reservation. Author's abstract]. Novocherkassk, 2008. 24 p.
6. Lyzanchuk S. Kanatnym doroham – bezpechnyi yevropeyskiy pidkhid [The safe European approach to ropeways]. *Podyemnyye sooruzheniya. Spetsialnaya tekhnika – Lifting constructions. Special equipment*, 2010, no. 8, p. 7.
7. *Materialy internet-saytov proizvoditeley PKD* [Materials of Internet sites of producers of ropeways]. Available at: www.doppelmayer.com; www.skado.ru; www.poma.net; <http://en.leitner-ropeways.com> (Accessed 27 December 2013).
8. *Mezhdunarodnoye obozreniye po kanatnomu transportu. Russkiy spetsvypusk* [International Review of the cable transport. Russian special issue]. Vena, Bohmann Druck & Verlag GmbH & Co. KG Publ., 2011, 48 p.
9. Pataraya D.I. *Raschet i proyektirovaniye kanatnykh sistem na primere podvesnykh dorog* [Calculation and design of rope systems on an example of aerial ropeway]. Tbilisi, Metsniyerba Publ., 1991. 103 p.
10. Raksha S.V., Goryachev Yu.K., Kuropyatnik A.S. Analiz vplyvu pruzhnykh deformatsii nesuchoho kanata na zusyilia v tiahovomu kanati pidvisnoi dorohy [Analysis of influence of elastic deformations of the track cable on efforts in the hauling rope of aerial ropeway]. *Nauka ta progres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 6 (48), pp. 110-119.
11. Raksha S.V., Goryachev Yu.K., Kuropyatnik A.S. Modeliuvannia navantazhenosti pryvodu kanatnoi dorohy z urakhuvanniam zmishchennia nesuchoho kanata na oporakh [Modelling of loading of the ropeway drive with taking into account the displacement of a track cable on a tower]. *Vestnik Kharkovskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta* [Bulletin of the Kharkov National Automobile and Road University], 2012, issue 57, pp. 75–84.
12. Svanidze L.G., Suprunov V.F. Razmeshcheniye opor mayatnikovoy kanatnoy dorogi [Placement of support of a ropeway]. *Podyemnyye sooruzheniya. Spetsialnaya tekhnika – Lifting constructions. Special equipment*, 2009, no. 4, pp. 46-48.
13. Knawa M., Bryja D. Effects of dynamic loads acting on carrying cable in operating ropeway. Proc. in Applied Mathematics and Mechanics, 2008, vol. 8, issue 1, pp. 10297-10298.
14. Kopanakis G.A. Oscillations in ropeways. Part 1. *International Ropeway Review*, 2011, no. 6, pp. 48-50.
15. Kopanakis G.A. Oscillations in ropeways. Part 2, 3. *International Ropeway Review*, 2012, no. 1, pp. 46-49.
16. Kopanakis G.A. Oscillations in ropeways. Part 4. *International Ropeway Review*, 2012, no. 3, pp. 63-66.
17. Kowal J. Static and dynamic analysis of the cableway. *The Archive of Mechanical Engineering*, 2008, vol. LV, no. 4, pp. 357-368.
18. Nejez J. Cableway oscillation problems. *International Ropeway Review*, 2011, no. 6, p. 47.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Л. А. Хмарой (Украина); к.т.н., доц. А. М. Афанасовым (Украина)

Поступила в редакцию 27.12.2013

Принята к печати 06.02.2014

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.424.2.023.142–027.45

О. М. БОНДАРЄВ^{1*}, В. Л. ГОРОБЕЦЬ¹, Д. О. ЯГОДА¹, О. О. БОНДАРЄВ²

^{1*}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

¹Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 08

²Державна адміністрація залізничного транспорту України, вул. Тверська, 5, Київ, Україна, 49150, ел. пошта joker_bondarev@ukr.net

РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ІЗ ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ МІЦНОСТІ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ГОЛОВНИХ ВАГОНІВ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДІВ ДР1А НА ПІДСТАВІ ВИКОНАНИХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО- ТЕОРЕТИЧНИХ РОБІТ

Мета. Метою роботи є визначення напружено-деформованого стану несучих конструкцій кузова головного вагона та вузла передачі тягового зусилля, яке може створюватись у нештатних ситуаціях під час експлуатації. Необхідною є також розробка заходів, спрямованих на покращення напружено-деформованого стану вказаних елементів. **Методика.** Для досягнення поставленої мети при виконанні роботи було проведено експериментальне визначення зусиль і рівнів напружень у найбільш навантажених елементах несучих конструкцій, а також у вузлах передачі тяги. Розроблено розрахункові моделі для проведення теоретичного визначення рівнів напружень і зусиль. **Результати.** На підставі аналізу отриманих результатів розрахунків виявлено найкращі варіанти модернізації, які були закладені в основу пропозицій, спрямованих на покращення показників міцності. **Наукова новизна.** На підставі експериментальних та теоретичних досліджень виконано наукове супроводження робіт із розробки заходів модернізації з покращення показників міцності несучих конструкцій головних вагонів дизель-поїздів ДР1А. **Практична значимість.** Розроблено технічне рішення, що містить заходи, які мають виконуватись під час експлуатації дизель-поїздів вказаної серії. Технічне рішення надано спеціалістам Укрзалізниці для ознайомлення та впровадження запропонованих заходів із покращення показників міцності.

Ключові слова: кузови вагонів; головні вагони; розрахункові моделі; теоретичні розрахунки; дизель-поїзди ДР1А; моторні візки; показники міцності

Вступ

Під час експлуатації дизель-поїздів ДР1А на залізницях України виникла необхідність у науково-дослідних роботах, спрямованих на продовження терміну їх експлуатації, призначеного заводом-виробником [1, 2, 10]. Зміст цих робіт – визначення ресурсу несучих конструкцій рам візків, рам кузовів. І на підставі отриманих результатів виконаних робіт необхідно було

розробити заходи, які сприяли б продовженню терміну їх служби до 45 років. В звітах робіт відзначалося, що під час експлуатації були зафіксовані випадки: утворення тріщин в балках центрального підвішування в місцях приварювання опор стаканів пружинних комплектів; наявність залишкових деформацій в середній частині профілю дна цих балок, які є результатом надмірних деформацій від згинання; злам

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

пружин опор центрального підвішування; утворення тріщин навколо опори приєднання до кузова тягових повідків. Крім цього, протягом експлуатації дизель-поїздів зазначеної серії також були виявлені злами поздовжніх балок підлоги кузова головного вагона в зоні їх прилягання до тамбурів. Досвід експлуатації показав, що під час руху дизель-поїздів даної серії збуджуються коливання вагонів у вертикальній та горизонтальній поперечній площинах з високими амплітудами. Наслідком таких коливань є передчасний вихід з ладу амортизаторів (гасителів) поперечних коливань та коливань бічного відносу, які сприяють створенню високих рівнів напружень в вище зазначених елементах.

Мета

Метою роботи є визначення напружено-деформованого стану несучих конструкцій кузова головного вагона та вузла передачі тягового зусилля, яке може створюватись в нештатних ситуаціях під час експлуатації, а також розробка заходів, спрямованих на покращення напружено-деформованого стану вказаних елементів.

Методика

Для досягнення поставленої мети під час виконання роботи було експериментально визначено зусилля та рівні напружень у найбільш навантажених елементах несучих конструкцій, а також у вузлах передачі тяги; розроблено розрахункові моделі та проведені теоретичні розрахунки з визначення рівнів напружень та зусиль.

Результати

На рис.1 зображено загальний вигляд дизель-поїзда ДР1А.

Під час виконання цієї роботи були прийняті до уваги конструктивні особливості кузова головного вагона дизель-поїзда ДР1А [4, 6, 9, 10] та результати обстежень технічного стану його несучих конструкцій.

Під час побудови розрахункових моделей [8] та скінченно-елементних схем [3, 5] слід враховувати, що:

- кузова вагонів суцільнометалеві зварної несучої конструкції;
- рама кузова без хребтової балки складається з двох консольних частин, з'єднаних поздовжні-

ми балками, та набору поперечних елементів;

- консольні частини зібрано зі зварних балок замкнутого перерізу та гнутих профілів;
- поперечні елементи рами моторного вагона виконані зі швелера;
- поздовжні балки рами складаються з гнutoго швелера, кутника та діафрагми, обшитих зігнутими несучими листами;
- дах, бічні та торцеві стінки складаються з каркаса та листів обшивки.



Рис. 1. Дослідний дизель-поїзд ДР1А зав. № 272

Нижче на рис. 2–7 наведено види зруйнованих елементів та елементів з корозійними пошкодженнями несучих конструкцій головного вагона.



Рис. 2–5. Злам гнutoго швелера та поперечин в місці приєднання до бічних стінок, а також місця створення тріщин у листах обшивки

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

Із рис. 2–7 видно, що за термін експлуатації (33 роки) несучі конструкції кузова головного вагона отримали суттєві корозійні пошкодження. Внаслідок зменшення товщини елементів несучих конструкцій, та створення великих статичних, а також динамічних навантажень при коливаннях галопування та бічної хитавиці відбулося руйнування вказаних елементів.



Рис. 6–7. Види корозійних пошкоджень несучих конструкцій, обшивки кузова та місць закріплення вузла передачі тягового зусилля

Аналіз впливу амплітуд та частоти зміни напружень на втомні властивості стикових зварних вузлів, розвитку тріщин, відмов та профілактики руйнувань наведені у роботах [11–13].

Для виконання теоретичних досліджень з визначення напруженості несучих конструкцій кузова головного вагона та вузла передачі тягового зусилля необхідно було експериментально визначити навантаженість цих елементів [1]. Нижче на рис. 8 наведено види місць розташування пристроїв для вимірювання зусиль та моментів, що передаються до кузова головного вагона.

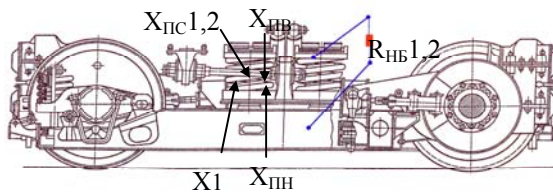


Рис. 8. Місця розташування вимірювальних пристроїв

Для набору статистичних даних динамічної навантаженості під час руху по стрілочних переходах, кривих різних радіусів, стикових нерівностях та інших факторів було здійснено поїздки за напрямком Полтава–Лозова–Полтава.

Під час проведення обробки результатів вимірювань діапазони швидкостей руху умовно поділялися на інтервали 0–15, 16–30, 31–45,

46–60, 61–75 і 76–90 км/год. При цьому для кожного процесу, що реєструвався, підсумкова тривалість реєстрації складала не менш 180 с. За вимірними деформаціями у тязі передачі тягового зусилля від моторного візка до кузова головного вагона були визначені поздовжні зусилля та згинальні моменти у вертикальній і горизонтальній поперечній площинах, а за вимірними переміщеннями – зусилля, що складали динамічні добавки вертикальних зусиль у центральному підвішуванні.

В результаті аналізу експериментальних досліджень отримано таке:

- найбільша величина згинального моменту M_B досягає 0,66 кНм під час руху в кривих ділянках колії. Від дії такої величини згинального моменту в нижніх та верхніх волокнах тяги передачі зусилля створюються напруження на рівні 38,3 МПа;

- згинальний момент, що діє в горизонтальній площині під час руху в кривих досягає 0,6 кНм, а по стрілочних переходах – 0,65 кНм. Такі значення моментів створюють у тязі передачі зусилля найбільші нормальні напруження 34,8 та 37,7 МПа відповідно;

- під час руху дизель-поїзда в прямих найбільші рівні зусиль в тязі, що передає тягове зусилля від візка до кузова F_T , досягають 25 кН при швидкості 80 км/год. При рухові в кривих найбільша величина цього зусилля складає 42 кН при швидкості руху 30 км/год.

Для визначення найбільших значень нормальних напружень в тязі передачі тягового зусилля було прийнято режим тяги в кривих зі швидкістю 50 км/год, коли згинальні моменти у вертикальній M_B та M_T горизонтальній площинах дорівнюють 0,6 кНм, а тягове зусилля F_T дорівнює 38 кН. Найбільше нормальне напруження в цьому випадку дорівнює

$$\sigma_{\max} = \frac{F_T}{A} + \frac{1}{W_z} \sqrt{M_B^2 + M_T^2} = 52,9 \text{ МПа}.$$

У центральному підвішуванні тенденція змінювання динамічних добавок найбільших вертикальних сил Q_u залежно від швидкості руху є приблизно такою ж, як і зусиль N та F_T . Найбільші значення зусиль (50 кН) зареєстровані при швидкості руху 50 км/год в кривих ділянках колії, а по стрілочних переходах – 52 кН при швидкості руху 40 км/год. При таких найбільших значеннях динамічних складових

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

зусиль коефіцієнт динаміки для центрального підвищення дорівнює

$$k_{0\text{ц}} = \frac{Q_0}{Q_{\text{см}}} = \frac{52}{147,2} = 0,353,$$

тобто перевищує нормативне значення [7]. Необхідно зазначити, що для головних вагонів дизель-поїздів ДР1А, з якими раніше виконували випробування спеціалісти ДНУЗТу за участю авторів, в окремих випадках коефіцієнти динаміки у центральному підвищенні досягали значень більше ніж 0,5.

Зареєстровані під час дослідних поїздок найбільші значення зусиль, що передаються до кузова в центральному підвищенні та у вузлі передачі тягового зусилля від повідка моторного візка, далі використовувались для виконання числових розрахунків з визначення напружено-деформованого стану несучих конструкцій кузова та вузла передачі до кузова тягового зусилля.

Для виконання числових розрахунків за методом скінченних елементів (МСКЕ) з визначення рівнів напружень в елементах несучих конструкцій кузова та вузла передачі тягового зусилля до кузова головного вагона від моторного візка були розроблені розрахункові скінченно-елементні схеми (моделі) [3, 5, 8].

Як результат розрахунків на рис. 9 наведено напружено-деформований стан елементів несучих конструкцій кузова головного вагона дизель-поїзда, що виникає внаслідок дії динамічних навантажень у вертикальній площині.

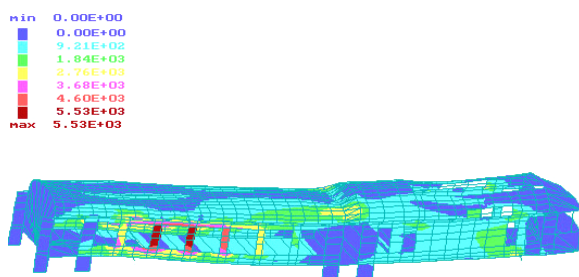


Рис. 9. Напружено-деформований стан кузова головного вагона

Найбільші рівні напружень створюються в несучих конструкціях міжвіконних перегородок та досягають 55,3 МПа.

На рис. 10 наведено епюру напружень, які утворюються в елементах рами кузова. Найбі-

льші рівні напружень утворюються у бічних елементах несучих конструкцій рами кузова. Тріщина та злами елементів конструкцій рами кузова, які наведено на рис. 1–4, утворилися у цих місцях.

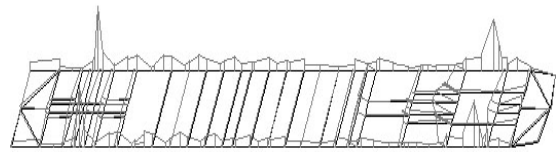


Рис. 10. Епюра розподілу напружень в елементах рами кузова

Для отримання більш детального аналізу напружено-деформованого стану бічної балки було розроблено розрахункову скінченно-елементну схему, яка складалася із збільшеної кількості скінченних елементів. Ця схема наведена на рис. 11, а результати розрахунків – на рис. 12.

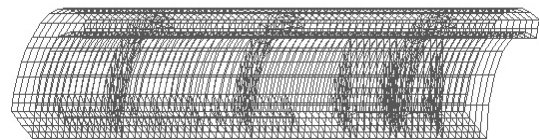


Рис. 11. Розрахункова схема бічної балки із збільшеною кількістю скінченних елементів

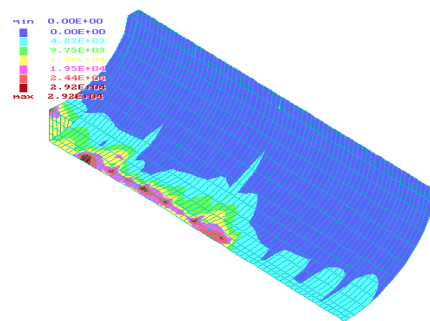


Рис. 12. Напружено-деформований стан бічної балки головного вагона в районі її спирання на візок

З аналізу наведених результатів (рис. 12) бачимо, що найбільші напруження у бічній стінці створюються в місцях передачі навантажень від вузлів спирання. Найбільші значення напружень досягають 29,2 МПа.

На рис. 13 зображено місця з найбільшими рівнями напружень, які утворюються у міжві-

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

конних перегородках та на даху над тамбуром в місці переходу від салону пасажирів до частини кузова, в якій розташовано дизель-генераторна установка.

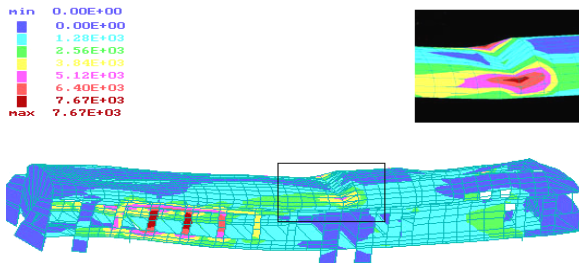


Рис. 13. Місця з найбільшими рівнями напружень у міжвіконних перегородках та на даху

З рис. 13 бачимо, що у випадках утворення критичних рівнів корозійних пошкоджень несучих конструкцій у міжвіконних перегородках та на даху найбільші напруження досягають 76,7 МПа. Корозійне пошкодження призвело до зростання найбільших напружень на 38,7 %.

Для зменшення рівнів напружень запропоновано виконати модернізацію, тобто провести зміцнення конструкції, яке буде сприяти зменшенню рівнів найбільших напружень. Під час посилення несучих конструкцій було розглянуто декілька варіантів. Один з варіантів модернізації наведено на рис. 14. На рис. 15 наведено результати розрахунків з врахуванням підсилення несучих конструкцій бічної стінки. Найбільші напруження в цьому випадку досягають 21,7 МПа.

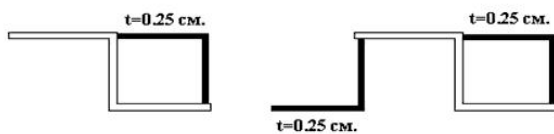


Рис. 14. Модернізація стійок бічної стіни кузова (зовнішня обшивка кузова знизу)

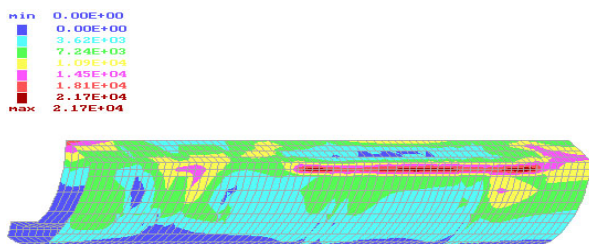


Рис. 15. Напружено-деформований стан бічної балки після виконання модернізації

Загальний вигляд моделі модернізованої бічної балки наведено на рис. 16. Розрахунки напружено-деформованого стану бічної балки головного вагона показали, що впровадження запропонованого варіанта модернізації приведе до зменшення найбільших напружень на 25,7 %.

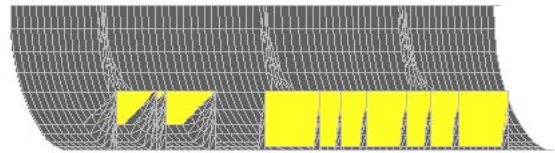


Рис. 16. Підсилення бічної балки (підсилюючі ребра виділено світлим кольором)

Користуючись методикою та програмним комплексом твердотілого моделювання, було створено моделі фрагментів конструкцій кузовної частини в зоні розташування вузла передачі тягового зусилля. Вигляд цієї моделі та скінченно-елементна розрахункова схема наведено на рис. 17.

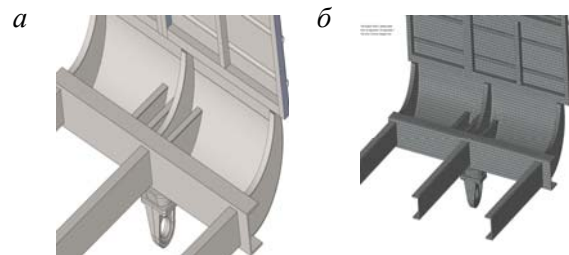


Рис. 17. Модель (а) та скінченно-елементна розрахункова схема (б) фрагмента конструкції кузова головного вагона в місці розташування вузла передачі тягового зусилля

Розрахункова скінченно-елементна схема для виділеного фрагмента конструкції у базовому варіанті складається з 229 117 скінченних елементів та має 436 179 вузлів.

Під час проведення розрахунків з визначення рівнів напружень в елементах несучих конструкцій кузова та у вузлі передачі тягового зусилля моделювався режим тяги. В цьому випадку до вузла передачі тягового зусилля від балки центрального підвішування моторного візка до кронштейну кузова головного вагона прикладалися згинальні моменти, що діють у горизонтальній та вертикальній площинах, а також поздовжнє тягове зусилля, які були зареєстровані у дослідній поїзді. Ці величини дорівню-

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

вали $M_T = 0,65$ кНм, $M_B = 0,66$ кНм, $F_T = 42$ кН.

На рис. 18 наведено поле розподілу напружень для аналізованого фрагмента конструкції у базовому варіанті, тобто у варіанті виготовлення підприємства виробника.

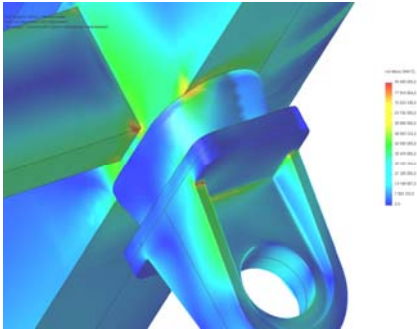


Рис. 18. Поле розподілу напружень в зоні передачі тягового зусилля у базовому варіанті конструкції

Виходячи з аналізу результатів (рис. 18) бачимо, що в місці примикання поперечного швелера до поздовжньої балки напруження дорівнюють 85 МПа. В місці приєднання опорної частини кронштейна до поздовжньої балки напруження дорівнюють 77 МПа, а в місці переходу нахиленої частини бічної поверхні кронштейну до його опорної частини напруження досягають 90 МПа (це місце є концентратором напружень).

З метою покращення напружено-деформованого стану було розглянуто декілька варіантів підсилення несучих конструкцій.

На рис. 19 наведено модель фрагмента конструкції з підсиленням її накладкою, яка встановлюється на верхній полиці поздовжньої балки з шириною в межах технології заварювання та ширини полицки швелера.

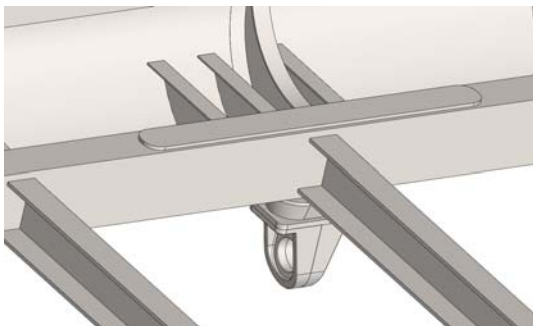


Рис. 19. Підсилення накладкою

В цьому випадку розрахункова скінченно-елементна схема складається з 231 382 скінченних елементів та має 439 704 вузлів.

На рис. 20 наведено поле розподілу напружень при варіанті підсилення накладкою фрагмента конструкції.

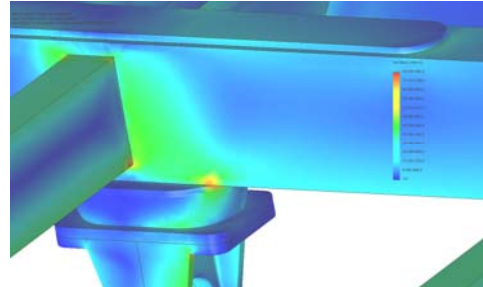


Рис. 20. Поле розподілу напружень у варіанті підсилення накладкою

Виходячи з аналізу результатів (рис. 20) при варіанті підсилення накладкою в місці примикання поперечного швелера до поздовжньої балки, напруження дорівнюють 66 МПа. В місці приєднання опорної частини кронштейна до поздовжньої балки напруження дорівнюють 66 МПа, а в місці переходу нахиленої частини бічної поверхні кронштейна до його опорної частини напруження досягають 80 МПа.

На рис. 21 наведено модель та її скінченно-елементна розрахункова схема фрагмента конструкції з варіантом підсилювання, в якому додатково до накладки на верхній полиці поздовжньої балки пропонується встановити дві пластини кутникової форми. Ця схема складається з 234 548 елементів та з 444 394 вузлів.

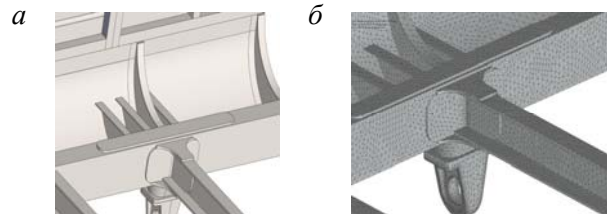


Рис. 21. Підсилення накладкою та пластинами кутникової форми:

a – модель, *б* – скінченно-елементна розрахункова схема

На рис. 22 наведено поле розподілу напружень, яке отримано під час числового моделювання навантаженості вказаного фрагмента конструкції при рухові дизель-поїзда в режимі тяги, в якій при підсилюванні додатково до накладки на верхній полиці поздовжньої балки пропонується встановити дві пластини кутникової форми та накладку на верхній полиці у вузлі приєднання поперечного швелера до поздовжньої балки.

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

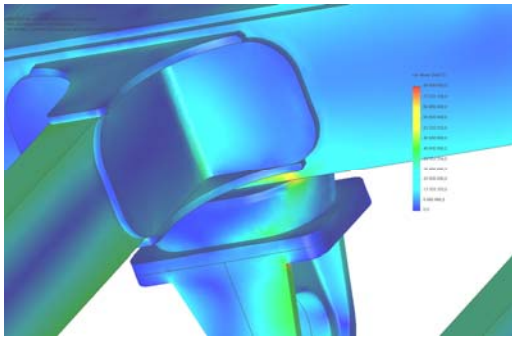


Рис. 22. Поле розподілу напружень при підсиленні накладкою поздовжньої балки та поперечного швелера у місці його приєднання до поздовжньої балки

В такому варіанті підсилення виявлено, що у місці приєднання поперечного швелера напруження зменшилися до 38 МПа, а нижче накладки швелера на поздовжній балці напруження дорівнюють 56–66 МПа.

У випадку додаткового підсилення цього варіанта модернізації шляхом установлювання накладок на бічній стінці поздовжньої балки у вище вказаних місцях напруження дорівнюють 33 МПа та 33–40 МПа відповідно.

Наукова новизна та практична значимість

Під час проведення досліджень:

- визначено за допомогою вимірювальних пристроїв та розробленої методики в умовах експлуатації дизель-поїздів ДР1А зусилля, які передаються до кузова головного вагона від вузлів спирання кузова на моторні візки, а також зусилля та моменти, що передаються до кузова вагона від надресорної балки моторного візка;

- з метою покращення показників міцності бічних стінок кузова головного вагона, в яких максимальне корозійне пошкодження призводить до зростання найбільших напружень на 38,7 %, запропоновано варіант модернізації шляхом установлення додаткового кутника, що надає можливість зменшити найбільші напруження на 25,7 %;

- отримано напружено-деформований стан базового варіанта конструкції та визначені найбільші напруження, що створюються у місці примикання поперечного швелера до поздовжньої балки та дорівнюють 73–75 МПа. В місці приєднання опорної частини кронштейна до поздовжньої балки напруження дорівнюють

73–75 МПа, а в місці переходу нахиленої частини бічної поверхні кронштейна до його опорної частини напруження досягають 104 МПа (це місце є концентратором напружень);

- виконані розрахунки варіанта підсилення несучих конструкцій кузова в місці передачі тягового зусилля від моторного візка, в якому встановлюються дві пластини кутникової форми і накладка на верхній полиці у вузлі приєднання поперечного швелера до поздовжньої балки, а також накладки на її бічну стінку. За цим варіантом підсилювання в результаті аналізу розрахунків виявлено, що у місці приєднання поперечного швелера напруження зменшилися до 38 МПа та до 33 МПа, а нижче накладки швелера на поздовжній балці напруження дорівнюють 56–66 МПа та 33–40 МПа відповідно.

Таким чином, запропоновані варіанти модернізації несучих конструкцій кузова головного вагона дизель-поїзда ДР1А сприяють суттєвому покращенню напруженого стану його несучих конструкцій.

Розроблені варіанти модернізації та технічне рішення щодо їх впровадження надано спеціалістам Укрзалізниці. Впровадження цих модернізацій буде сприяти подовженню терміну експлуатації та забезпеченню перевезень пасажирів на неелектрифікованих ділянках залізниць України до моменту заміни таких дизель-поїздів на нові одиниці моторвагонного рухомого складу.

Висновки

На підставі отриманих результатів досліджень можна зробити такі висновки:

- з метою забезпечення безпечної експлуатації несучих конструкцій головних вагонів дизель-поїздів ДР1А в межах подовженого терміну експлуатації необхідно під час проведення ПРЗ або КР виконувати підсилення бічних стінок за схемами, наведеними на рис. 14, 16 та вузлів передачі тягового зусилля за схемою (рис. 21);

- впровадження заходів модернізації основних несучих конструкцій кузова та вузлів передачі тягового зусилля під час виконання ремонтів у об'ємі ПРЗ або КР буде сприяти покращенню показників міцності та стану безпеки руху дизель-поїздів зазначеної серії.

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондарев, О. М. Экспериментально-теоретична оцінка показників міцності балок центрального підвішування дизель-поїздів ДР1А / О. М. Бондарев, Д. О. Ягода, В. М. Скобленко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2011. – Вип. 37. – С. 7–19.
2. Горобець, В. Л. Аналіз експлуатаційної наробки несучих конструкцій рухомого складу в задачах продовження терміну його експлуатації / В. Л. Горобець, О. М. Бондарев, В. М. Скобленко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2010. – Вип. 35. – С. 10–16.
3. Дашченко, А. Ф. ANSYS в задачах инженерной механики : монография / А. Ф. Дашченко, Д. В. Лазарева, Н. Г. Сурьянинов. – Одесса : «Астропринт», 2007. – 488 с.
4. Дизель-поезда. Устройство, ремонт, эксплуатация / Б. М. Лернер, Н. П. Ковалев, В. П. Лебедев, А. А. Курятников. – М. : Транспорт, 1982. – 279 с.
5. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М. : Мир, 1975. – 542 с.
6. Михайленко, А. А. Дизель-поезда типа ДР / А. А. Михайленко. – М. : Транспорт, 1990. – 337 с.
7. Нормы расчета и оценки прочности несущих элементов и динамических качеств экипажной части мотор-вагонного подвижного состава железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. – М. : ВНИИЖТ РФ, 1997. – 147 с.
8. Потемкин, А. Твердотельное моделирование в системе КОМПАС – 3D (+ CD – ROM) / А. Потемкин. – СПб. : БХВ Петербург, 2004. – 512 с.
9. Раков, В. А. Локомотивы и мотор-вагонный подвижной состав железных дорог Советского Союза (1976-1985 гг.) / В. А. Раков. – М. : Транспорт, 1990. – 238 с.
10. Розробка рекомендацій по підвищенню терміну експлуатації дизель-поїздів Д1, ДР1 на підставі проведення експериментально-аналітичних робіт», № ДР 0199U000049. – Дніпропетровськ, 1999. – 157 с.
11. 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.
12. Effect of size and frequency on fatigue properties of SM50B butt welded joint / S. Yoshida, N. Innagaki, M. Kanao et al. // J. Welding Soc., 1978. – № 9. – P. 5–10.
13. Fatigue crack growth behaviours at the toe of fillet welded joints under plane bending load / Y. Mitsui, Y. Kurobane, K. Harada et al. // J. Japan Welding Soc. – 1983. – № 3. – P. 58–65.

А. М. БОНДАРЕВ^{1*}, В. Л. ГОРОБЕЦ¹, Д. А. ЯГОДА¹, А. А. БОНДАРЕВ²

^{1*}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

¹Каф «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 08

²Государственная администрация железнодорожного транспорта Украины, ул. Тверская, 5, Киев, Украина, 49150, эл. почта joker_bondarev@ukr.net

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО УЛУЧШЕНИЮ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ГОЛОВНЫХ ВАГОНОВ ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДОВ ДР1А НА ОСНОВАНИИ ВЫПОЛНЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАБОТ

Цель. Целью работы является определение напряженно-деформированного состояния несущих конструкций кузова головного вагона и узла передачи тягового усилия, которые могут создаваться в нештатных ситуациях во время эксплуатации. Необходимой является также разработка мероприятий, направленных на улучшение напряженно-деформированного состояния указанных элементов. **Методика.** Для достижения поставленной цели при выполнении работы было проведено экспериментальное определение усилий и уровней напряжений в наиболее нагруженных элементах несущих конструкций, а также в узлах передачи тяги. Разработаны расчетные модели для проведения теоретического определения уровней напряжений и усилий. **Результаты.** На основании анализа полученных результатов расчетов выявлены наилучшие варианты модернизации, которые были заложены в основу предложений, направленных на улучшение показателей прочности.

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

Научная новизна. На основании экспериментальных и теоретических исследований выполнено научное сопровождение работ по разработке мероприятий модернизации и улучшению показателей прочности несущих конструкций головных вагонов дизель-поездов ДР1А. **Практическая значимость.** Разработано техническое решение с мероприятиями, которые должны выполняться во время эксплуатации дизель-поездов указанной серии. Техническое решение предоставлено специалистам Укрзализныци для ознакомления и внедрения предложенных мероприятий по улучшению показателей прочности.

Ключевые слова: кузова вагонов; головные вагоны; расчетные модели; теоретические расчеты; дизель-поезда ДР1А; моторные тележки; показатели прочности

O. M. BONDAREV^{1*}, V. L. GOROBETS¹, D. O. YAGODA¹, O. O. BONDAREV²

^{1*}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

¹Dep. «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

²The State Administration of Railway Transport of Ukraine, Tverska St., 5, Kyiv, Ukraine, 49150, e-mail joker_bondarev@ukr.net

DEVELOPING MEASURES TO IMPROVE STRENGTH INDICES OF SUPPORTING STRUCTURES FOR HEAD CARS OF DIESEL TRAINS DR1A ON THE BASIS OF EXPERIMENTAL-AND-THEORETICAL WORKS

Purpose. The objective is to determine the stress-strain state of supporting structures of the head car body and the traction transmission unit, which can be created in the operation of emergency situations, and to develop the measures aimed at improving the stress-strain state of these elements. **Methodology.** In order to achieve this objective, in performing the work an experimental determination of efforts and stress levels in the most loaded elements of supporting structures as well as the traction transmission units was conducted; design models for the theoretical determination of stress and effort levels were developed. **Findings.** Based on the analysis of the calculation results the best options for the upgrades, which have been put into the basis of proposals aimed at improving the strength indices, were revealed. **Originality.** Based on the experimental and theoretical studies, scientific monitoring of development works on modernization and improvement of strength indices of supporting structures of head cars of diesel trains DR1A was performed. **Practical value.** The technical solution to the measures, which are to be carried out beyond the limits of assigned operation lifetime for diesel train of the series specified was developed and transferred to the Ukrzaliznytsia experts to introduce the proposed measures on improving the strength indices.

Keywords: bodies of cars; head cars; calculation models; theoretical calculations; diesel trains DR1A; motor bogies; strength indices

REFERENCES

1. Bondarev O.M., Yagoda D.O., Skoblenko V.M. Eksperymentalno-teoretychna otsinka pokaznykiv mitsnosti balok tsentralnoho pidvishuvannya dyzel-poizdiv DR1A [Experimental-and-theoretical evaluation of strength indices of the central suspension beams of diesel trains]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2011, issue 37, pp. 7-19.
2. Gorobets V.L., Bondarev O.M., Skoblenko V.M. Analiz ekspluatatsiinoi narobky nesuchykh konstruktsii rukhomoho skladu v zadachakh prodovzhennia terminu yoho ekspluatatsii [Analysis of accrued operating time of supporting structures of rolling stock in problems of prolongation its operation life]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2010, issue 35, pp. 10-16.
3. 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.
4. Lerner B.M., Kovalev N.P., Lebedev V.P., Kuryatnikov A.A. *Dizel – poyezda. Ustroystvo, remont, ekspluatatsiya* [Diesel trains. Installation, repair, operation]. Moscow, Transport Publ., 1982. 279 p.
5. Zenkevich O.M. *Metod konechnykh elementov v tekhnike* [Finite elements method in engineering]. Moscow, Mir Publ., 1975. 542 p.

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

6. Mikhaylenko A.A. *Dizel-poyezda tipa DR A* [Diesel trains of type DR]. Moscow, Transport Publ., 1990. 337 p.
7. *Normy rashcheta i otsenki prochnosti nesushchikh elementov i dinamicheskikh kachestv ekipazhnoy chasti motorvagonnogo podvyzhnogo sostava zheleznykh dorog MPS RF kolei 1520 mm* [Norms for calculating and assessing the strength of bearing elements and dynamic qualities of the motor-car-wagon rolling stock of Railways of the MPS, Russian Federation of track gauge 1,520 mm]. Moscow, VNIIZhT Publ., 1997. 147 p.
8. Potemkin A. *Tverdotelnoye modelirovaniye v sisteme KOMPAS-3D (+CD-ROM)* [Solid modeling in KOMPAS-3D]. Saint Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2004. 512 p.
9. Rakov V.A. *Lokomotivy i motor-vagonnyy podvizhnoy sostav zheleznykh dorog Sovetskogo Soyuz (1976-1985 gg.)* [Locomotives and motor-car rolling stock of the Soviet Union railways (1976-1985)]. Moscow, Transport Publ., 1990. 238 p.
10. *Rozrobka rekomendatsii po pidvyshchenniu terminu ekspluatatsii dyzel-poizdiv D1, DR1 na pidstavi provedennia eksperymentalno-analitychnykh robot», № DR 0199U000049* [Development of recommendations to improve the operation life of diesel trains D1, DR1 on the basis of experimental and analytical work, No. DR 0199U000049]. Dnipropetrovsk, 1999. 157 p.
11. Boyer Howard E. *Metals Handbook*, 8th edition. Volume 10: Failure Analysis and Prevention. Fatigue Failures. American Society for Metals Publ., 1975. 604 p.
12. Yoshida S., Innagaki N., Kanao M. Effect of size and frequency on fatigue properties of SM50B butt welded joint. *Journal Welding Society*, 1978, no. 9, pp. 5-10.
13. Mitsui Y., Kurobane Y., Harada K., Konomi M. Fatigue crack growth behaviours at the toe of fillet welded joints under plane bending load. / *Journal of the Japan Welding Society*, 1983, no. 3, pp. 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 15.09.2012

Прийнята до друку 28.11.2013

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.463.027.35:629.018

Н. Б. МАНКЕВИЧ^{1*}

^{1*}ООО «ГСКБВ им. В. М. Бубнова», пл. Машиностроителей, 1, г. Мариуполь, Украина, 87535, тел. +38 (0629) 51 86 43,
эл. почта bubnov@azovmash.com

ДИНАМИКА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА ТЕЛЕЖКАХ МОДЕЛИ 18-1711 С РАЗНОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ КЛИНЬЕВ РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ

Цель. Провести анализ результатов исследования динамических показателей полувагона модели 12-1704-04 с осевой нагрузкой 23,5 тс на тележках модели 18-1750 и двух полувагонов модели 12-1905 с осевой нагрузкой 25 тс. Один из указанных полувагонов оборудован тележками модели 18-1711 с фрикционными клиньями рессорного подвешивания пространственной формы с увеличенным углом наклона к горизонтали линии пересечения контактных поверхностей между клином и надрессорной балкой. Другой полувагон модели 12-1905 оборудован тележками той же модели, на которых установлены фрикционные клинья с плоской формой контактной поверхности, имеющей угол наклона, как у клина тележки 18-100. На основании полученных результатов автор предполагает сделать выводы о целесообразности унификации конструкции надрессорной балки тележки модели 18-1711 с тележкой модели 18-100 по форме контактных поверхностей с элементами рессорного подвешивания. **Методика.** Исследование динамических показателей вагонов выполнялось при проведении ходовых динамических испытаний натурных образцов грузовых вагонов в опытном поезде в составе двух локомотивов, вагона-лаборатории и трех полувагонов указанных моделей. **Результаты.** Основные результаты динамических исследований представлены в виде графиков зависимости динамических показателей от скорости движения экспериментального поезда и свидетельствуют о том, что исследуемые полувагоны имеют удовлетворительные динамические показатели. При этом динамические показатели полувагона на тележках модели 18-1711, оборудованных клиньями плоской формы, в большинстве случаев лучше, чем у других полувагонов. **Научная новизна.** Получены результаты исследований вагонов на тележках модели 18-1711, позволяющие оценить зависимость динамических показателей вагона от параметров конструкции фрикционных клиньев рессорного подвешивания тележки. **Практическая значимость.** Литые детали тележки модели 18-1711 с осевой нагрузкой 25 тс могут быть использованы в качестве замены вышедших из строя деталей тележки модели 18-100 и ее аналогов.

Ключевые слова: динамика вагона; динамические испытания; вагон-эталон; осевая нагрузка; фрикционные клинья; унификация конструкции

Введение

Изучение мирового опыта создания ходовых частей грузовых вагонов имеет важное значение при создании отечественных разработок [2, 10, 13, 17–20].

В последнее время на сети железных дорог колеи 1520 мм начата эксплуатация грузовых

вагонов нового поколения с увеличенной осевой нагрузкой.

Вместе с тем одним из основных принципов проектирования является целесообразная унификация конструкции путем применения стандартных и типовых деталей [5].

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Разработка и широкое освоение серийного производства унифицированных деталей тележек с разной осевой нагрузкой дает возможность предприятиям-изготовителям меньше зависеть от конъюнктуры рынка. Одновременно удовлетворяют потребности вагоностроительных и вагоноремонтных предприятий в комплектующих для ходовых частей вагонов как новой конструкции (с осевой нагрузкой 25 тс), так и вагонов с осевой нагрузкой 23,5 тс, серийное производство которых продолжается, а следовательно, учитывая сроки их эксплуатации (32 года) потребность в запасных комплектующих для их ходовых частей может сохраниться в течение ближайших 40–50 лет. Так же появляется возможность сократить расходы на содержание производственного и ремонтного оборудования, обеспечить ремонтпригодность и взаимозаменяемость деталей и узлов, что в свою очередь может сократить время ремонта и простоя вагонов по причине отсутствия необходимых запасных частей.

Тележка модели 18-1711 с осевой нагрузкой 25 тс уже прошла необходимый комплекс испытаний и имеет сертификат на изготовление опытной партии [1, 14–16]. Данная тележка оборудована унифицированной с тележкой 18-100 боковой рамой и перед началом подконтрольной эксплуатации тележки нового поколения была поставлена задача определить возможность унификации ее наддресорной балки с тележками предыдущего поколения.

Результаты проведенных предварительных сравнительных испытаний по воздействию на путь двух полувагонов, оборудованных тележками модели 18-1711 с разной конструкцией клиновой системы, и вагона-эталона (полувагона модели 12-1704-04) на тележках с характеристиками, аналогичными тележки модели 18-100 [6, 9], и показали возможность такой унификации [1].

Так как динамические характеристики ходовых частей подвижного состава железных дорог напрямую влияют на безопасную эксплуатацию поездов в разных режимах загрузки вагонов и во всем диапазоне скоростей их движения, то при проведении контрольных испытаний по воздействию на путь указанных вагонов, дополнительно были проведены ходовые динамические испытания вагонов в груженом режиме.

Цель

Получение данных динамических показателей, подтверждающих возможность унификации конструкции поверхностей контакта наддресорной балки с деталями рессорного подвешивания тележки модели 18-100.

Методика

Исследование динамических показателей вагонов в груженом режиме выполнялись при проведении ходовых динамических испытаний натурных образцов грузовых вагонов в опытном поезде в составе двух локомотивов, вагона-лаборатории и трех полувагонов указанных моделей. Испытания проведены в соответствии с действующими нормативными документами [5, 11].

Результаты

В статье представлены результаты сравнительных ходовых динамических испытаний полувагона модели 12-1704-04 с осевой нагрузкой 23,5 на тележках 18-1750 тс и двух полувагонов модели 12-1905 с осевой нагрузкой 25 тс, один из которых оборудован тележками модели 18-1711 с фрикционными клиньями рессорного подвешивания пространственной формы с увеличенным углом наклона к горизонтали линии пересечения контактных поверхностей между клином и наддресорной балкой (рис. 1, а) [8], другой полувагон модели 12-1905 оборудован тележками той же модели, на которой установлены фрикционные клинья с плоской формой контактной поверхности, имеющей угол наклона как у клина тележки 18-100. Клин с плоской формой контактной поверхности и полимерной накладкой устанавливается в тележку модели 18-100 при ее модернизации по проекту С03.04 (рис. 1, б) [3, 4].

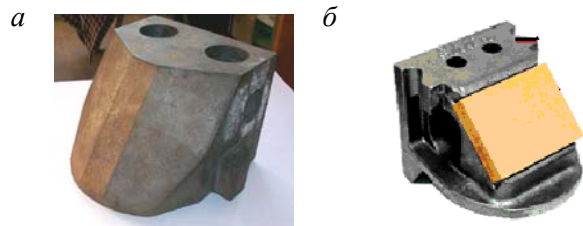
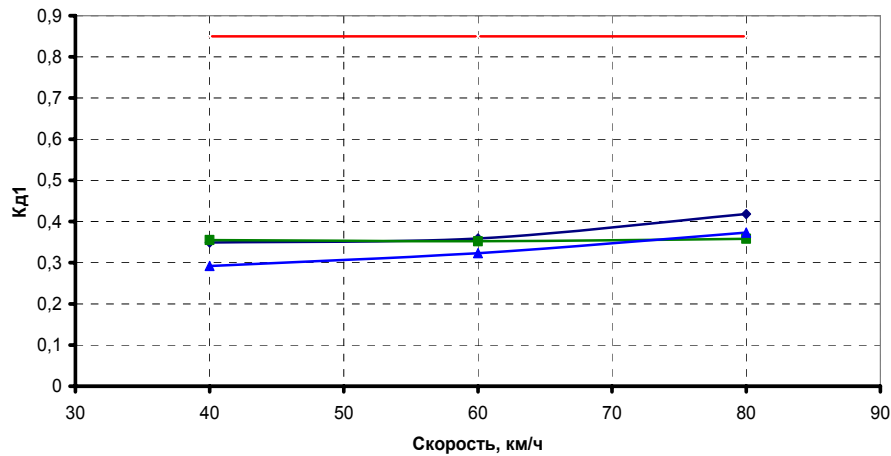


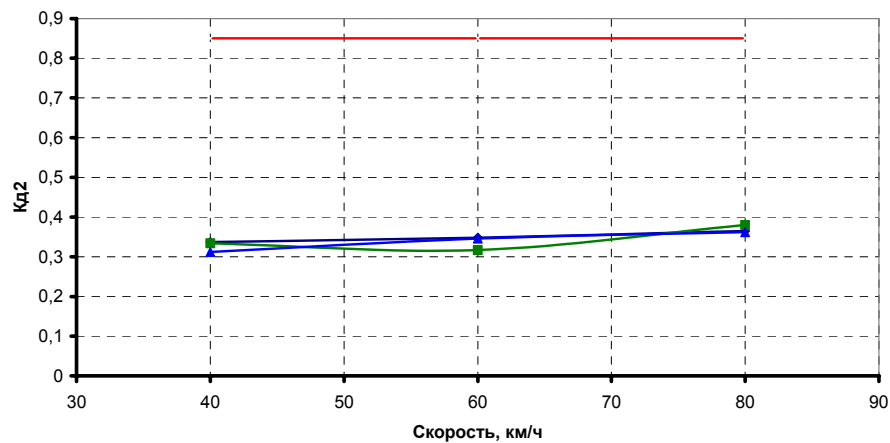
Рис. 1. Общий вид клиньев рессорного подвешивания тележек модели 18-1711 пространственной (а) и плоской (б) формы

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Коэффициент вертикальной динамики необрессоренных частей вагонов (сторона 1)



Коэффициент вертикальной динамики необрессоренных частей вагонов (сторона 2)



Рамные силы в долях осевой нагрузок (коэффициент горизонтальной динамики)

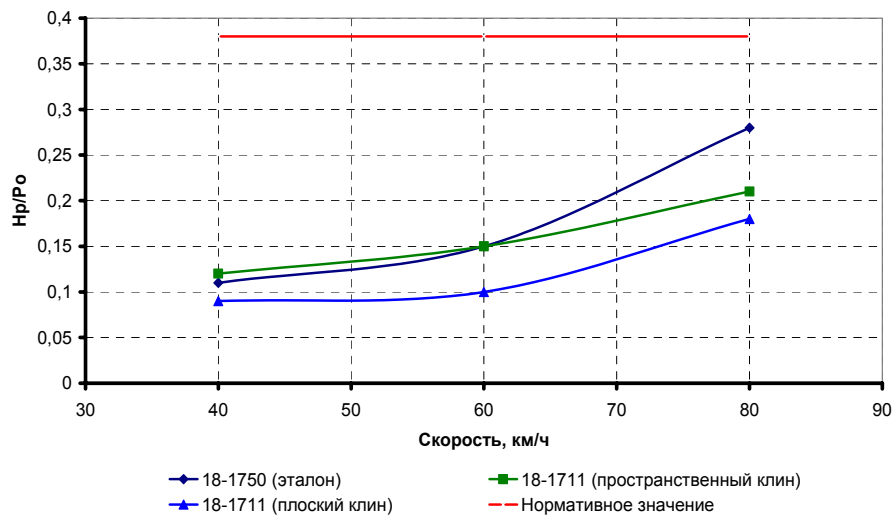
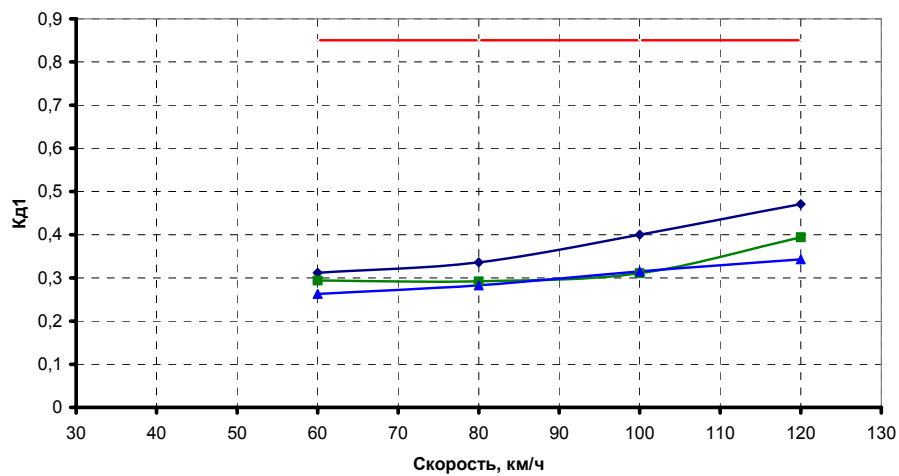


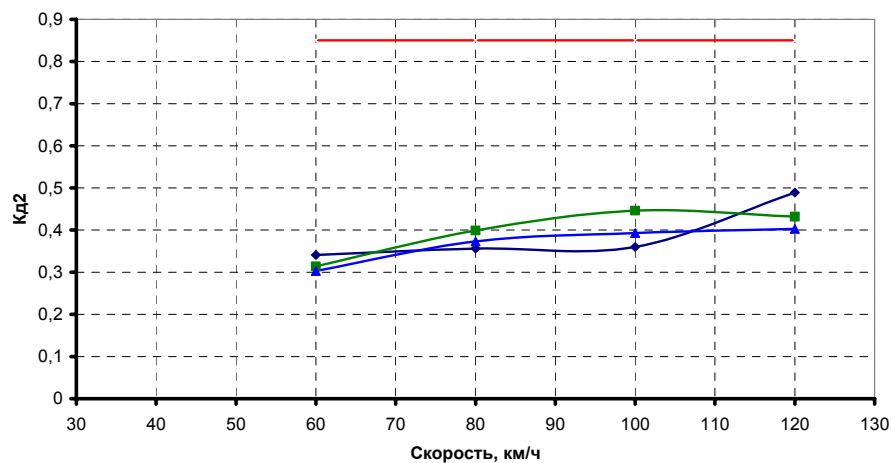
Рис. 2. Динамические показатели исследуемых вагонов в кривой радиусом 350 м

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Коэффициент вертикальной динамики необрессоренных частей вагонов (сторона 1)



Коэффициент вертикальной динамики необрессоренных частей вагонов (сторона 2)



Рамные силы в долях осевой нагрузки (коэффициент горизонтальной динамики)

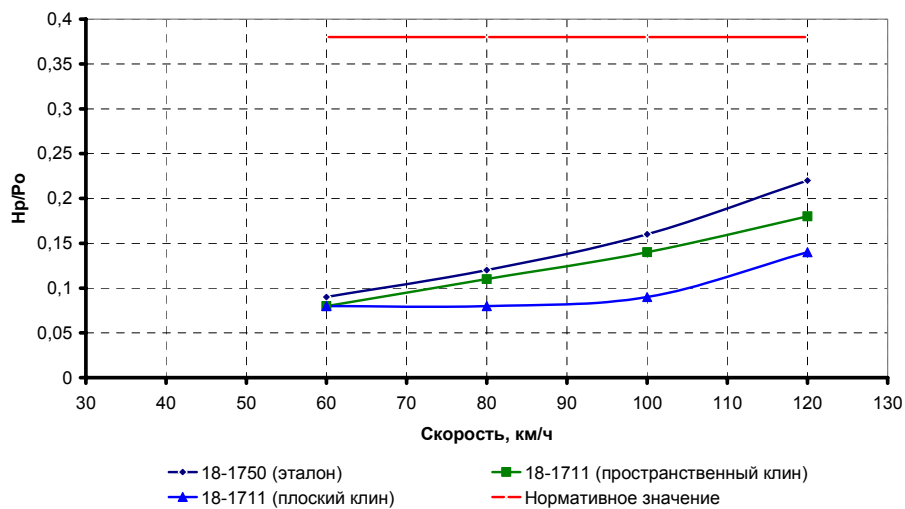
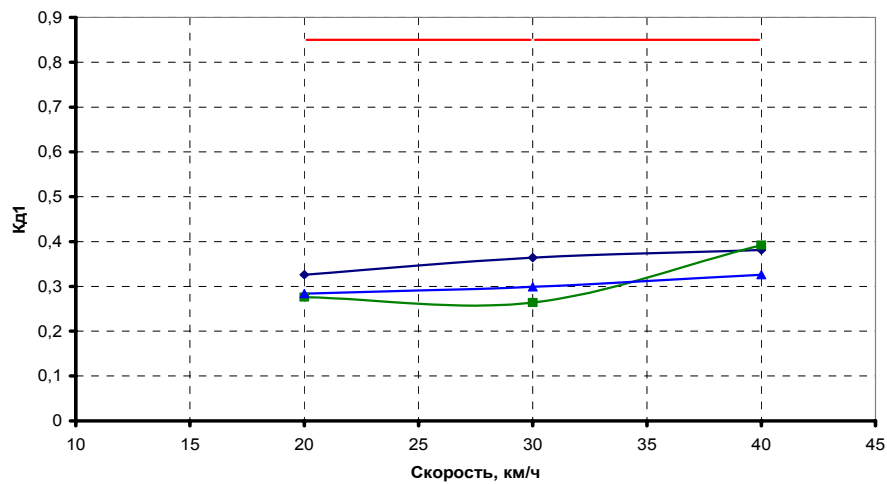


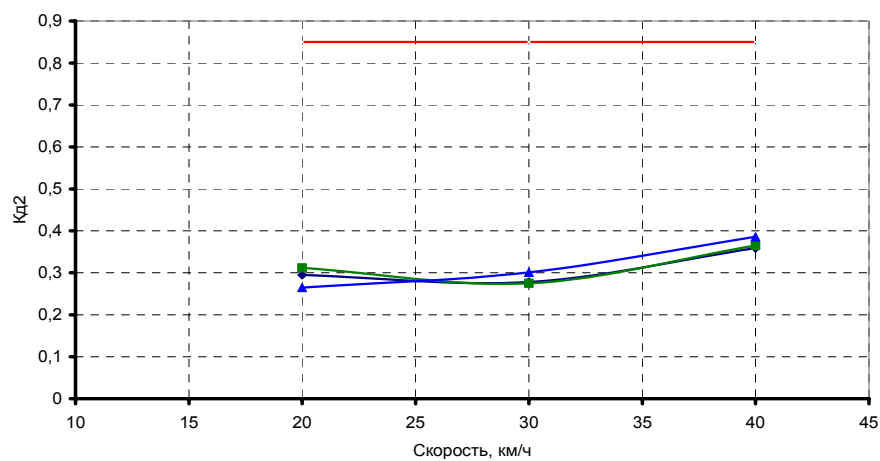
Рис. 3. Динамические показатели исследуемых вагонов в кривой радиусом 650 м

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Коэффициент вертикальной динамики необрессоренных частей вагонов (сторона 1)



Коэффициент вертикальной динамики необрессоренных частей вагонов (сторона 2)



Рамные силы в долях осевой нагрузок (коэффициент горизонтальной динамики)

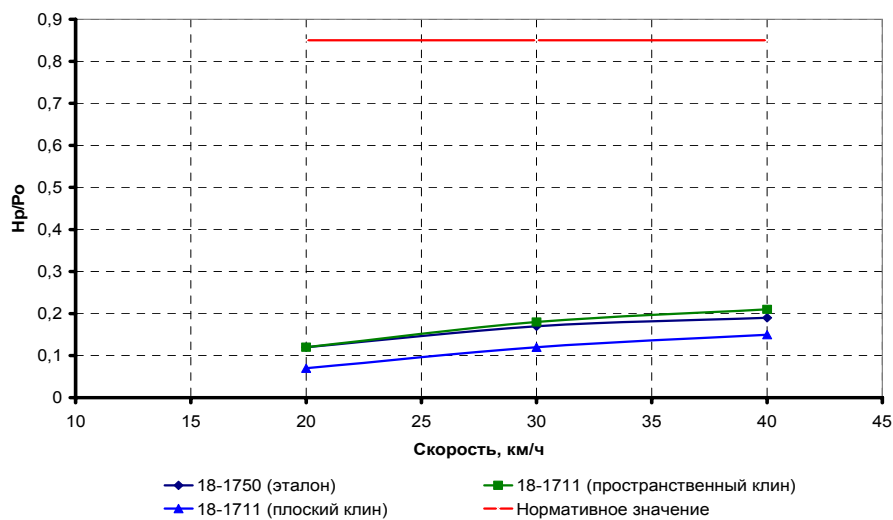


Рис. 4. Динамические показатели исследуемых вагонов при прохождении стрелочных переводов

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Результаты испытаний вагонов представлены в виде графиков зависимости основных показателей качества хода от скорости движения (рис. 2–4). Анализ полученных данных показывает, что динамические характеристики полувагонов на тележках 18-1711 с разной конструкцией клина и вагона-эталона в груженом режиме, при движении с различными скоростями вплоть до конструкционной, в кривых участках пути и по стрелочным переводам, соответствующим требованиям [14, 15].

Так при движении по кривым участкам пути динамические показатели полувагонов на тележках модели 18-1711 в среднем на 25...30 % лучше, чем у вагона-эталона. При этом показатели полувагона на тележках модели 18-1711 с плоским клином на 10...15 % лучше, чем у полувагона на тележках той же модели, но с пространственным клином.

Динамические показатели полувагонов на тележках моделей 18-1711 и вагона-эталона в груженом режиме при движении по стрелочным переводам примерно одинаковы.

Научная новизна и практическая значимость

Получены динамические характеристики грузовых вагонов на тележках модели 18-1711 с разной конструкцией клиновых гасителей колебаний, которые подтверждают возможность унификации надрессорной балки тележки указанной модели с тележкой модели 18-100 в части контактных поверхностей с элементами рессорного подвешивания.

Литые детали тележки модели 18-1711 полностью унифицированные по своим присоединительным размерам с тележками предыдущего поколения и могут быть использованы в качестве замены вышедшим из строя деталям тележки модели 18-100 и ее аналогов.

Выводы

1. Результаты сравнительных испытаний показывают, что все исследованные вагоны обладают удовлетворительными динамическими качествами.

2. Максимальная унификация деталей и узлов их ходовых частей и кузовов с вагонами предыдущего поколения обеспечивает их ремонтпригодность на существующей инфраструктуре железных дорог колеи 1 520 мм.

3. Для обеспечения безопасности движения при производстве и ремонте вагонов нового поколения, узлы и детали которого унифицированы с вагонами предыдущего поколения, необходимо исключить возможность «обратной» замены, т.е. установки на вагон нового поколения деталей устаревшей конструкции. Для этого существует множество методов контроля, например логический контроль через информационно-аналитическую систему вычислительных центров железных дорог.

4. Для надрессорной балки тележки модели 18-1711 проблема «обратной» замены не является актуальной, так как увеличенный в соответствии с действующими нормативными документами диаметр ее подпятника больше, чем у тележек с осевой нагрузкой 23,5 тс.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бубнов, В. М. Воздействие на путь грузовых вагонов на тележках модели 18-1711 с разной конструкцией клина рессорного подвешивания / В. М. Бубнов, Н. Б. Манкевич, С. В. Мямлин // Трансп. Росс. Федерации. – 2013. – № 3 (46). – С. 36–38.
2. Бороненко, Ю. П. Инновации в тележках грузовых вагонов: реальность и перспективы / Ю. П. Бороненко, Е. А. Рудакова, А. М. Орлова // Наука и трансп., спец. вып. «Модернизация ж.-д. трансп». – СПб, 2009. – С. 14–17.
3. Комплексная модернизация ходовых частей грузовых вагонов / В. Ф. Ушкалов, Т. Ф. Мокрый, И. Ю. Малышева и др. // Вагон. парк. – 2007. – № 2. – С. 18–22.
4. Модернизация ходовых частей грузовых вагонов / В. Ф. Ушкалов, Т. Ф. Мокрый, М. М. Жечев и др. // Заліз. трансп. України. – 2003. – № 5. – С. 33–36.
5. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М. : ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 352 с.
6. Нормы допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям государственной администрации железнодорожного транспорта Украины шириной 1520 мм, утвержденные приказом Укрзализныци от 14.12.2010. – № 778-Ц. – Киев, 2011. – 72 с.
7. Орлова, А. М. Тележка модели 18-9810: современные технологии, безопасность движения, снижение износа / А. М. Орлова, Е. А. Щербанов // Вагоны и вагон. хоз-во. – 2010. – № 2. – С. 24–26.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

8. Пат. 76584 С2 Україна, МПК В 61 F 3/00, В 61 F 5/26, В 61 F 5/30. Візок двовісний для вантажних вагонів / Волков В. А., Чепурний А. Д., Бубнов В. М., Тусіков Є. К., Сокирко Б. М., Котенко П. М., Бороненко Ю. П., (Росія), Орлова А. М., (Росія), Рудакова Є. А., (Росія), Васильєв С. Г., (Росія), Державець Ю. А., (Росія), Аношін Г. В. (Росія) ; заявитель и патентообладатель ТОВ «ГСКБВ», ВАТ «МЗВМ», ВАТ «Азовзаламаш» – № 2004080712 ; заявл. 21.08.2004 ; опубл. 15.08.2006, Бюл. № 8. – 82 с.
9. Приказ МПС России № 41 от 12 ноября 2001 г. «О нормах допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм». – М. : Транспорт, 2001. – 52 с.
10. Райков, Г. В. Комплектации грузового вагона ходовыми частями, как фактор достижения его проектных межремонтных пробегов / Г. В. Райков, И. А. Иванов, М. А. Кузнецов // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты : тез. докл. 7-й междунар. научно-техн. конф. / ПГУПС. – СПб., 2011. – С. 185–187.
11. РД 24.050.37-95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. – М. : ГосНИИВ, 1995. – 101 с.
12. Францев, А. Н. Насколько ремонтпригодны тележки повышенной грузоподъемности? / А. Н. Францев, И. А. Францев // Вагоны и вагон. хоз-во. – 2012. – № 3. – С. 21–22.
13. Харыбин, И. А. Совершенствовать ходовую часть грузовых вагонов / И. А. Харыбин, А. М. Орлова, А. В. Додонов // Вагоны и вагон. хоз-во. – 2009. – № 1. – С. 26–29.
14. Bubnov, V. Dynamics of freight cars on bogies model 18-1711 / V. Bubnov, S. Myamlin, N. Mankevych // Railway bogies and running gears (9.09-12.09.2013) : Proc. of the 9th Intern. Conf. – Budapest, 2013. – P. 37–39.
15. Bubnov, V. M. Dynamic performance of freight cars on bogies model 18-1711 / V. M. Bubnov, S. V. Myamlin, N. B. Mankevych // Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 4 (46). – С. 118–126.
16. Bubnov, V. Theoretical and experimental investigations of strength properties of cast parts for freight cars bogie with axle load of 245 kN / V. Bubnov, S. Myamlin, N. Mankevych // Transbaltica : Proc. of 8th Intern. Sci. Conf. 2013. – Vilnius, 2013. – P. 9–12.
17. Pat. 2010/0064930 A1, USA, Int. Cl B61F5/32, B61F5/50, B61F5/00. Railway truck with bearing adapter / Ralph H. Schorr, Peter Klauser, Jay P. Monaco, Gnana Jeevan Robinson, Manuel Tavares (USA) ; Amsted Industries Inc. – № 12/283,688 ; filed 16.09.09 ; publ. 18.03.10.
18. Pat. 208/0271633 A1, USA, Int. Cl B61F5/50. Rail road car truck and fitting therefor / James W. Forbes (USA) ; National Steel Car Ltd. – № 11/931,095 ; filed 31.10.07 ; publ. 06.11.08.
19. Pat. 2005/0268813 A1, USA, Int. Cl B61F5/26. Railway trucks pedestal bearing adapter / Charles L. Van Auken (USA) ; Amsted Industries Inc. – № 10/856,830 ; filed 01.01.04 ; publ. 30.12.04.
20. Patent 2007/0034108 A1, USA, Int. Cl B61D1/00. Non-metallic insert for rail car bolster wedge / John W. Rudibaugh, Charles L. Van Auken ; Amsted Industries Inc. – № 11/201,814 ; filed 12.08.05 ; publ. 15.02.07.

М. Б. МАНКЕВИЧ^{1*}

^{1*}ТОВ «ГСКБВ ім. В. М. Бубнова», пл. Машинобудівників, 1, Маріуполь, Україна, 87535, тел. +38 (0629) 51 86 43, ел. пошта bubnov@azovmash.com

ДИНАМІКА ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ НА ВІЗКАХ МОДЕЛІ 18-1711 ІЗ РІЗНОЮ КОНСТРУКЦІЄЮ КЛИНІВ РЕСОРНОГО ПІДВІШУВАННЯ

Мета. Провести аналіз результатів дослідження динамічних показників піввагона моделі 12-1704-04 з осовим навантаженням 23,5 тс на візках моделі 18-1750 та двох піввагонів моделі 12-1905. Один із вказаних піввагонів обладнаний візками моделі 18-1711 із фрикційними клинами ресорного підвішування просторової форми зі збільшеним кутом нахилу до горизонталі лінії перетину контактних поверхонь між клином та надресорною балкою. Інший піввагон моделі 12-1905 обладнаний візками тієї ж моделі, на яких встановлені клини з пласкою формою, що мають кут нахилу, аналогічний візку моделі 18-100 та його аналогам. На підставі отриманих результатів автор планує зробити висновки щодо доцільності уніфікації конструкції надресорної балки візка моделі 18-1711 із візком моделі 18-100 за формою контактних поверхонь з елементами ресорного підвішування. **Методика.** Дослідження динамічних показників вагонів відбувалося при виконанні ходових динамічних випробувань натурних зразків вантажних вагонів

© Н. Б. Манкевич, 2014

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

у дослідному потязі, що складався з двох локомотивів, вагона-лабораторії та трьох дослідних піввагонів указаних моделей. **Результати.** Основні результати динамічних досліджень представлені у вигляді графіків залежності динамічних показників від швидкості руху експериментального поїзда й свідчать про те, що всі дослідні піввагони мають задовільні динамічні показники. При цьому динамічні показники піввагона на візках моделі 18-1711, що обладнані клинами плоскої форми, у більшості випадків кращі, ніж в інших піввагонів. **Наукова новизна.** Отримано результати досліджень вантажних вагонів, які дозволяють оцінити залежність динамічних показників вагона від параметрів конструкції фрикційних клинів ресорного підвищування візка. **Практична значимість.** Литі деталі візка моделі 18-1711 з осьовим навантаженням 25 тс можуть бути використані в якості заміни деталей візка моделі 18-100 та її аналогів, що вийшли з ладу.

Ключові слова: динаміка вагона; динамічні випробування; вагон-еталон; осьове навантаження; фрикційні клини; уніфікація конструкцій

N. B. MANKEVYCH^{1*}

^{1*}LTD «GSKBV named after V. M. Bubnov», Mashinostroiteley Sq, 1, Mariupol, Ukraine, 87535, tel. +38 (0629) 51 86 43, e-mail bubnov@azovmash.com

DYNAMICS OF FREIGHT CARS ON BOGIES MODEL 18-1711 WITH DIFFERENT WEDGE DESIGNS OF SPRING SUSPENSION

Purpose. To analyze the results of the study of dynamic parameters of a gondola car, model 12-1704-04 with axle load 23.5 ton in bogies, models 18-1750 and two gondola cars, model 12-1905 with axial load of 25 ton, one of which is equipped with bogies, model 18-1711 with friction wedges of spring suspension with spatial form with increased angle to the horizontal line of intersection of the contact surfaces between the wedge and bolster. The other gondola car, model 12-1905 is equipped with bogies of the same model on which the friction wedges fitted with a flat form of contact surface. It has an angle of inclination like a wedge of bogie, model 18-100. On the basis of the obtained results to draw conclusions about the feasibility of unification design bogie bolster, model 18-1711 with bogie, model 18-100 by contact surfaces with elements of spring suspension. **Methodology.** Research on dynamic performance of cars was performed during running dynamic tests of specimens of freight cars in experimental train consisting of two locomotives, a laboratory, and three gondola cars of the above mentioned models. **Findings.** Main results of dynamic studies are presented as graphs of indicators on the speed of the train and the experimental evidence that the freight gondola cars on bogies, model 18-1711 with flat-shaped wedges, in most cases are better than the others. **Originality.** Research results of cars on bogies, model 18-1711 were obtained. They let assess the dependence of the dynamic performance of the car from the design of the friction wedges of spring suspension. **Practical value.** Cast parts of bogie, model 18-1711 with 25 ton axle load can be used as a replacement of defective parts of bogie, model 18-100 and its analogs.

Keywords: dynamics of the railcar; the dynamic tests; the axle load; friction wedges; bolster; unification structures

REFERENCES

1. Bubnov V.M., Myamlin S.V., Mankevych N.B. Vozdeystviye na put gruzovykh vagonov na telezhkakh modeli 18-1711 s raznoy konstruktsiyey klina resornogo podveshivaniya [Effect on the railway from freight cars on a track model 18-1711 with different wedge designs of spring hanging]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of the Russian Federation*, 2013, no. 3 (46), pp. 36-38.
2. Boronenko Yu.P., Rudakova Ye.A., Orlova A.M. Innovatsii v telezhkakh gruzovykh vagonov: realnost i perspektivy [Innovations in freight car bogies: reality and prospects]. *Nauka i transport, spetsialnyy vypusk «Modernizatsiya zheleznodorozhnogo transporta»* [Science and Transport. Special issue «Modernization of railway Transport»]. Saint Petersburg, 2009, pp. 14-17.
3. Ushkalov V.F., Mokriy T.F., Malysheva I.Yu., Maschenko I.A., Pasichnyk S.S. Kompleksnaya modernizatsiya khodovykh chastey gruzovykh vagonov [Complex modernization of running parts of freight railcars]. *Vagonnyy park – Wagon fleet*, 2007, no 2. pp. 18-22.
4. Ushkalov V.F., Mokriy T.F., Zhechev M.M., Serebryanny I.A., Malysheva I.Yu. Modernizatsiya khodovykh chastey gruzovykh vagonov [Modernization of running parts of freight railcars]. *Zaliznychnyi transport Ukraine – Railway Transport of Ukraine*, 2003, no. 5, pp. 33-36.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

5. *Normy dlya rascheta i proyektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh)* [Norms for analysis and design of railway wagons MPS for 1520 mm gauge]. Moscow, GosNIIV-VNIIZhT Publ., 1996. 352 p.
6. *Normy dopuskayemykh skorostey dvizheniya podvizhnogo sostava po zheleznodorozhnym putyam gosudarstvennoy administratsii zheleznodorozhnogo transporta Ukrainy shirinoy 1520 mm* [Norms of permitted speeds of rolling stock on railroad tracks of State Administration of Railway Transport of Ukraine, width 1520 mm.]. Kyiv, 2011. 72 p.
7. Orlova A.M., Shcherbakov Ye.A. Telezhka modeli 18-9810: sovremennyye tekhnologii, bezopasnost dvizheniya, snizheniye iznosa [Bogie model 18-9810: date technologies, traffic safety, wear reduction]. *Vagony i vagonnoye khozyaystvo – Wagons and wagon facilities*, 2010, no. 2, pp. 24-26.
8. Volkov V.A., Chepurnyi A.D., Bubnov V.M., Tusikov Ye.K., Sokyрко B.M., Kotenko P.M., Boronenko Yu.P., Orlova A.M., Rudakova Ye.A., Vasiliev S.H., Derzhaviets Yu.A., Anoshin H.V. *Vizok dvovisnyi dlia vantazhnykh vagoniv* [Bogie track for freight cars]. Patent UA, no. u 2004080712, 2004.
9. *O normakh dopuskayemykh skorostey dvizheniya podvizhnogo sostava po zheleznodorozhnym putyam kolei 1520 (1524) mm* [The norms of permissible speeds of rolling stock movement on railroad tracks, 1520 (1524) mm]. Moscow, Transport Publ., 2001. 52 p.
10. Raykov G.V., Ivanov I.A., Kuznetsov M.A. Komplektatsii gruzovogo vagona khodovymi chastyami, kak faktor dostizheniya yego proyektnykh mezhremontnykh probegov [Accomplishing the freight wagon with running gears as means to achieve its design inter-repair distances]. *Tezisy dokladov 7-y mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, projekty»* [Proc. of the 7th Int. Conf. «Rolling stock of XXIst century: ideas, requirements, projects»]. Saint Petersburg, 2011, pp. 185-187.
11. RD 24.050.37-95 *Vagony gruzovyye i passazhirskiye. Metody ispytaniy na prochnost i khodovyye kachestva* [Freight and passenger cars. Test methods for durability and drive ability]. Moscow, GosNIIV Publ., 1995. 101 p.
12. Frantsev A.N., Frantsev I.A. Naskolko remontoprigozny telezhki povyshennoy gruzopodъемnosti? [How are maintainable bogies with increased load capacity?]. *Vagony i vagonnoye khozyaystvo – Wagons and wagon facilities*, 2012, no. 3, pp. 21-22.
13. Kharybin I.A., Orlova A.M., Dodonov A.V. Sovershenstvovat khodovuyu chast gruzovykh vagonov [Refine the running gears of freight cars]. *Vagony i vagonnoye khozyaystvo – Wagons and wagon facilities*, 2009, no. 1, pp. 26-29.
14. Bubnov V.M., Myamlin S.V., Mankevych N.B. Dynamic performance of freight cars on bogies model 18-1711. *Nauka ta progres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 4, pp.118-126.
15. Bubnov V., Myamlin S., Mankevych N. Dynamics of freight cars on bogies model 18-1711. Proc. of the 9th Intern. Conf. «Railway bogies and running gears». Budapest, 2013, pp. 37-39.
16. Bubnov V., Myamlin S., Mankevych N. Theoretical and experimental investigations of strength properties of cast parts for freight cars bogie with axle load of 245 kN. Proc. of the 8th Intern. Sci. Conf. «Transbaltica». Vilnius, 2013, pp. 9-12.
17. Ralph H. Schorr, Peter Klauser, Jay P. Monaco, Gnana Jeevan Robinson, Manuel Tavares. Railway truck with bearing adapter. Patent USA no. 2010/0064930 A1, 2009.
18. James W. Forbes. Rail road car truck and fitting therefor. Patent USA no. 208/0271633 A1, 2009.
19. Charles L. Van Auken. Railway trucks pedestal bearing adapter. Patent USA, no. 2005/0268813 A1, 2004.
20. John W. Rudibaugh, Charles L. Van Auken. Non-metallic insert for rail car bolster wedge. Patent USA, no. 2007/0034108 A1, 2005.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. Л. Горобцом (Украина);
д.т.н., проф. О. О. Бейгулом (Украина)

Поступила в редколлегию 28.11.2013

Принята к печати 10.01.2014

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.463.32-047.58

М. В. ПАВЛЮЧЕНКОВ^{1*}^{1*}Каф. «Будівельна механіка та гідравліка», Українська державна академія залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61500, тел. +38 (057) 730 10 70, ел. пошта misha_83@ukr.net

РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ОПОРНИХ ПРИСТРОЇВ ВАГОНІВ-ЦИСТЕРН ДЛЯ РІДКИХ ВАНТАЖІВ

Мета. Удосконалення конструкції вагонів-цистерн для перевезення рідких вантажів за рахунок нових технічних рішень консольних опорних пристроїв і зниження їх матеріалоемності. **Методика.** Для вирішення поставленої задачі виконано дослідження для пошуку оптимальної конструкції опорного пристрою. На першому етапі зроблено патентно-бібліографічний аналіз технічних рішень, виявлено переваги й недоліки конструкцій, а також запропоновано нові їх варіанти, визначена найефективніша з них. На наступному етапі для визначення її оптимальних параметрів складено функцію цілі, введено обмеження; отримано апроксимацію функцій цілі та обмежень у вигляді поліномів. На третьому етапі запропоновано чисельну реалізацію оптимізації функції та визначено оптимальні параметри конструкції графічним методом. Результати методів співпали. **Результати.** Серед запропонованих варіантів визначено найбільш ефективну конструкцію опорного пристрою, визначено його оптимальні геометричні розміри. **Наукова новизна.** Виконано математичний опис задачі оптимізаційного проектування за критерієм мінімальної матеріалоемності опорного пристрою вагона-цистерни та використано його для удосконалення конструкції. Для вирішення задачі оптимізаційного проектування використано чисельний та графічний методи. **Практична значимість.** Розроблено розрахункові скінченно-елементні моделі вагона-цистерни з різними конструктивними виконаннями консольних опорних пристроїв, які дали змогу оцінити НДС конструкції.

Ключові слова: вагони-цистерни; котел; консольний опорний пристрій; вантажопідйомність; підкріплюючий елемент; еквівалентне напруження; функція цілі; узагальнена математична модель

Вступ

Вагони-цистерни є одним з масових типів залізничного рухомого складу, які успішно застосовуються для перевезення наливних, пилоподібних, тверднучих вантажів і газів. Найбільш поширеними є нафтобензини-нові цистерни. Умови експлуатації транспортних засобів висувають підвищені вимоги до міцності існуючих і нових конструкцій цистерн.

Дослідження [2, 6] свідчать, що напруження зумовлені дією опорного тиску, складають 70...90 % від максимальних напружень, які виникають в котлі цистерни. Упродовж тривалого часу експлуатації нафтобензинових цистерн були виявлені найбільш слабкі місця в їх конструкції у вигляді відмов, пов'язаних з течєю і деформацією котлів, тріщинами в елементах рами та ін. Як зображено на рис. 1, несправності, пов'язані з течєю котла в опорній зоні, складають 45,5 % від усіх пошкоджень вагона [15, 16, 18].

Мета

Метою роботи є удосконалення конструкції вагонів-цистерн для перевезення рідких вантажів за рахунок нових технічних рішень консольних опорних пристроїв і зниження їх матеріалоемності.

Методика

В цей час в конструкції вагонів практично повністю використаний простір габариту по ширині та висоті, тому подальше збільшення об'єму кузова можливо лише за рахунок збільшення його довжини, що призводить до збільшення тари вагона та до зменшення вантажопідйомності при збереженні осьового навантаження

$$P \leq q_o m_o - T; P \leq q_n L - T, \quad (1)$$

де P – вантажопідйомність вагона; q_o – допустиме осьове навантаження вагона; m_o – кількість осей вагона; T – тара вагона; q_n – допустиме погонне навантаження вагона; L – довжина вагона по осях зчеплення.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

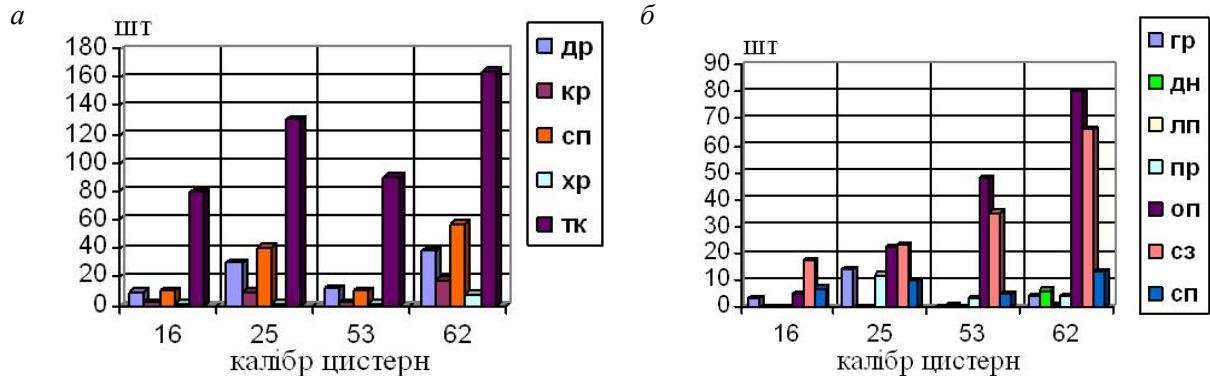


Рис. 1. Розподілення пошкоджень за типами для калібрів:

a – всі пошкодження; *б* – теча котла; др – будь-яка неконкретизована несправність; кр – несправність кришки; сп – несправність зливного пристрою; хр – несправність хребтової балки; тк – будь-яка теча котла; гр – теча в зоні горловини; теча в зоні днища; лп – теча в зоні фасонних лап; пр – будь-яка неконкретизована теча; оп – теча в опорній зоні; сз, сп – теча в зоні зливного пристрою та при його несправності

Оскільки $q_o m_o = \text{const}$, $q_n L = \text{const}$, тому подальше збільшення вантажопідйомності можливе лише за рахунок зменшення тари вагона.

Внесенням конструктивних змін, які спрямовані на перерозподіл навантажень та напружень в небезпечних зонах, може бути досягнутий ефект зниження максимальних напружень, а за рахунок цього і зниження металоємності.

У зв'язку з цим досить ефективним засобом зменшення концентрації напружень у найбільш напружених зонах оболонкових конструкцій є застосування різного роду підкріплюючих елементів. Це пояснюється високою змінністю локального граничного ефекту та вигинистого стану у взаємодії оболонки і підкріплюючого елемента, яка дає певні можливості для перерозподілу місцевих напружень [10].

Для вирішення поставленої задачі виконано дослідження з пошуку оптимальної конструкції опорного пристрою. На першому етапі виконано патентно-бібліографічний аналіз технічних рішень [7, 9], виявлено переваги і недоліки та запропоновано нові варіанти конструкцій [11]. На основі досвіду [1, 12, 13] побудовані СЕМ вагонів-цистерн з різними конструкціями опорних пристроїв.

Консольна опора першого варіанта зображена на рис. 2. Опорні елементи 1 підкріплено діафрагмами 2 і ребрами жорсткості 3. Діафрагми 2 сполучені між собою похилими листами 4 і встановлені на шкворневому листі 5.

Варіант 2 опорної конструкції зображено на рис. 3. Тут опорні елементи 1 підкріплено діаф-

рагмами 2, які розташовані уздовж твірної котла, і спираються на шкворневий лист 3. У цій схемі подовжні діафрагми 2 сполучені між собою стержнями.

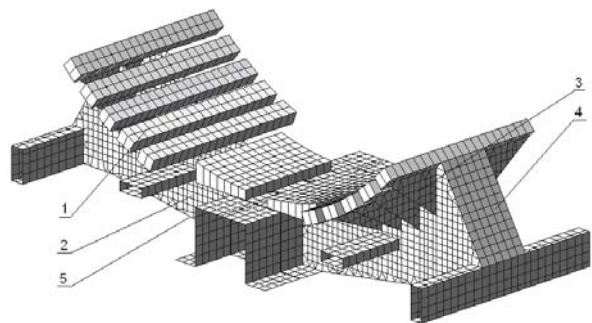


Рис. 2. Схема консольного опорного пристрою (варіант 1):

1 – опорний елемент; 2 – діафрагма; 3 – ребро жорсткості; 4 – похилий лист

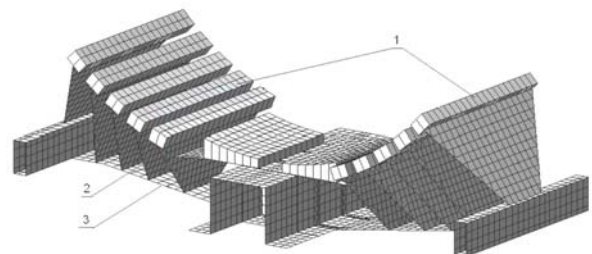


Рис. 3. Схема консольного опорного пристрою (варіант 2):

1 – опорні елементи; 2 – діафрагма; 3 – шкворневий лист

Відмінною особливістю перших двох варіантів є відсутність чітко вираженої шкворневої балки.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

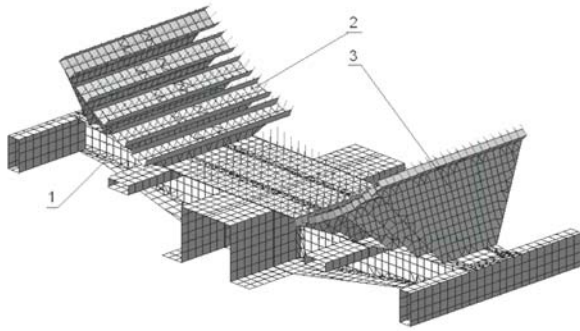


Рис. 4. Схема консольного опорного пристрою (варіант 3):

1 – шкворнева балка; 2 – опорний елемент; 3 – діафрагма

Третій варіант зображено на рис. 4. У ньому збережена шкворнева балка 1, а передача навантаження на неї від котла здійснюється через опорні елементи 2 і подовжні діафрагми 3, що підкріплюють їх. Між собою діафрагми з'єднуються стержневими елементами.

У другому і третьому варіантах підкріплюючі подовжні діафрагми виконано у вигляді листів трапецієвидного контуру. Для зниження

жорсткості уздовж середньої поверхні листа вони виконані з гофрами.

Розрахунок цистерн з різними конструктивними виконаннями консольних опор здійснювався на один вид статичного навантаження – сумісна дія ваги рідини і власної ваги конструкції. Результати розрахунку відображаються у вигляді полів еквівалентних напружень, розрахованих за енергетичною теорією міцності.

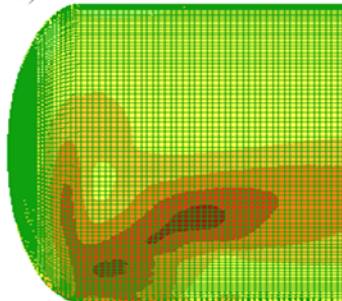
Порівняння отриманих розрахункових даних здійснювалося з конструкцією рамної цистерни, що використовується на сьогодні.

В ході аналізу результатів розрахунків було виявлено, що для першого варіанта максимальні напруження в опорній зоні склали 28,5 МПа, що на 15 % менше порівняно з існуючою конструкцією. Також має місце зменшення площі дії максимальних напружень (рис. 5).

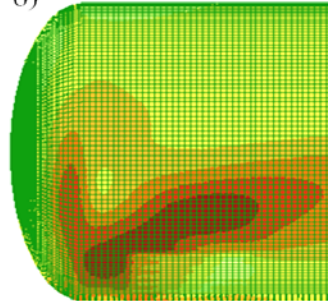
За результатами обчислень для другого і третього варіантів виявлено, що значення максимального еквівалентного напруження зменшується на 13 % (рис. 6).



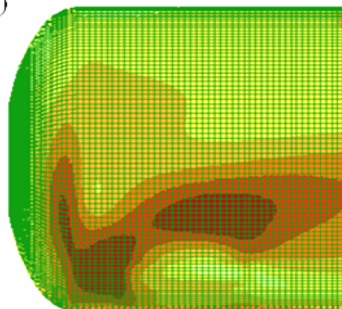
а)



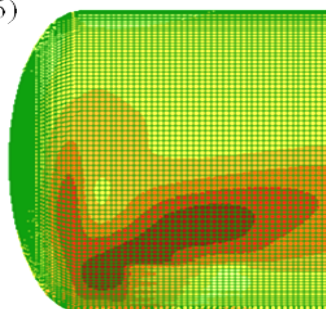
б)

Рис. 5. Еквівалентні напруження від дії ваги бруто конструкції:
а – запропонована конструкція (варіант 1); б – існуюча конструкція

а)



б)

Рис. 6. Еквівалентні напруження від дії ваги бруто конструкції:
а – запропонована конструкція (варіант 3); б – існуюча конструкція

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Виконані розрахунки опорних пристроїв дозволяють зробити висновок, що виходячи із значень еквівалентних напружень найбільш ефективнішим є перший варіант [14], для нього функція мети та обмеження має вигляд:

удар в цистерні при екстремальному значенні поздовжньої сили 3,5 МН. Допустимі напруження в рамі та котлі цистерни для I розрахункового режиму складають $[\sigma] = 0,9 \sigma_T = 265,5$ МПа.

$$m^{\text{проп}}(\bar{X}) \rightarrow \min$$

$$\bar{X} \in D_x \in D$$

$$D = \{t_1, t_2, t_3, a \mid 6 \text{ мм} \leq t_1 \leq 14 \text{ мм}; 6 \text{ мм} \leq t_2 \leq 14 \text{ мм}; 6 \text{ мм} \leq t_3 \leq 14 \text{ мм}; 200 \text{ мм} \leq a \leq 500 \text{ мм}\} \quad (2)$$

$$D_x = \left\{t_1, t_2, t_3, a \mid \begin{array}{l} m^{\text{проп}} \leq m^{\text{існ}}; \sigma_{\text{рам}}^{\text{проп}} \leq \sigma_{\text{рам}}^{\text{існ}} \leq [\sigma_{\text{рам}}]; \sigma_{\text{кот}}^{\text{проп}} \leq \sigma_{\text{кот}}^{\text{існ}} \leq [\sigma_{\text{кот}}]; \\ 6 \text{ мм} \leq t_1 \leq 14 \text{ мм}; 6 \text{ мм} \leq t_2 \leq 14 \text{ мм}; 6 \text{ мм} \leq t_3 \leq 14 \text{ мм}; 200 \text{ мм} \leq a \leq 500 \text{ мм} \end{array} \right\}, \quad (3)$$

де D – область можливих рішень, яка формується границями варіювання складових вектора змінних параметрів \bar{X} ; D_x – область допустимих рішень; $m^{\text{існ}}$ – маса сучасної конструкції опорного пристрою чотиривісної залізничної цистерни; t_1, t_2, t_3 – товщини вертикальної діафрагми, нижнього та торцевого листів відповідно; a – ширина запропонованої конструкції уздовж твірної котла цистерни; $\sigma_{\text{рам}}^{\text{проп}}$, $\sigma_{\text{кот}}^{\text{проп}}$ – максимальні еквівалентні напруження, які виникають в опорі та опорній зоні котла запропонованої конструкції; $\sigma_{\text{рам}}^{\text{існ}}$, $\sigma_{\text{кот}}^{\text{існ}}$ – максимальні еквівалентні напруження, які виникають в опорі та опорній зоні котла існуючої конструкції; $[\sigma_{\text{рам}}]$, $[\sigma_{\text{кот}}]$ – допустимі напруження в рамі та котлі цистерни.

Для дослідження НДС конструкції з різними геометричними розмірами прийняті такі навантаження: вага брутто вагона з урахуванням коефіцієнта вертикальної динаміки; гідравлічний

З урахуванням вихідних даних (2) складається математичний план, який має відповідну матрицю планування. На її основі складається ортогональний математичний план другого порядку для чотирьох керованих змінних, що варіюються на трьох рівнях [3, 4, 8, 17, 19, 20].

Для кожного режиму математичного плану з використанням розрахункової моделі вагона-цистерни обчислюються значення показників, що контролюються – маса опорного пристрою, що пропонується $m^{\text{проп}}$, максимальні еквівалентні напруження, які виникають в опорі та опорній зоні котла нової конструкції – $\sigma_{\text{рам}}^{\text{проп}}$, $\sigma_{\text{кот}}^{\text{проп}}$.

З використанням отриманих значень $m^{\text{проп}}$, $\sigma_{\text{рам}}^{\text{проп}}$, $\sigma_{\text{кот}}^{\text{проп}}$ виконується їх апроксимація у вигляді поліномів другого ступеня.

Нижче наведено узагальнені математичні моделі для контрольованих показників у дійсних величинах змінних:

$$\begin{aligned} m^{\text{проп}} = & 0,026 + 30\,315,15 t_1 - 3\,282,85 t_2 + 11,566 t_3 + 0,455 a - 96\,661,109 t_1^2 + \\ & + 98\,763,982 t_2^2 - 1\,143,356 t_3^2 - 1,547 a^2 - 929,864 t_1 t_2 - 1\,719,577 t_1 t_3 - \\ & - 2\,601,336 t_1 a + 1\,459,122 t_2 t_3 + 21\,759,325 t_2 a - 11\,001,238 t_3 a \end{aligned} \quad (4)$$

$$\sigma_{m^{\text{проп}}} = \pm 28,3 \text{ кг};$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{рам}}^{\text{проп}} = & 2\,445,633 - 32\,106,203 t_1 + 14\,160,405 t_2 - 343\,557,841 t_3 - 528,629 a - 1\,893\,377,319 t_1^2 - \\ & - 931\,753,335 t_2^2 + 131\,320,324 t_3^2 - 834,011 a^2 - 2\,445\,828,413 t_1 t_2 + 522\,987,688 t_1 t_3 + \\ & + 40\,050,0 t_1 a + 359\,903,70 t_2 t_3 + 60\,560,647 t_2 a + 10\,833,942 t_3 a \end{aligned} \quad (5)$$

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

$$\sigma_{\sigma_{\text{рам}}^{\text{проп}}} = \pm 17,7 \text{ МПа};$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{кот}}^{\text{проп}} = & 81,464 + 2\,948,819\,t_1 - 2\,984,917\,t_2 + 1\,790,687\,t_3 + 100,661\,a + 2\,556,003\,t_1^2 + \\ & + 24\,780,923\,t_2^2 - 20\,093,994\,t_3^2 - 137,495\,a^2 + 16\,967,531\,t_1t_2 - 64\,729,459\,t_1t_3 - \\ & - 5\,238,180\,t_1a - 34\,549,856\,t_2t_3 + 5\,401,132\,t_2a - 552,842\,t_3a \quad (6) \\ \sigma_{\sigma_{\text{кот}}^{\text{проп}}} = & \pm 7,5 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Величини середньоквадратичних відхилень для отриманих узагальнених математичних моделей свідчать про їх адекватність і придатність для використання в подальших дослідженнях з визначення геометричних параметрів опорного пристрою вагона-цистерни.

Для розв'язання задачі оптимізації (5) використовувався метод Нелдера-Міда. Ідея методу полягає у порівнянні значень функції в $n+1$ вершинах симплексу та переміщенні точок симплексу у напрямку оптимальної точки за допомогою ітераційної процедури [5].

Спочатку, при різних початкових значеннях параметрів, проводилась оптимізація всіх чотирьох параметрів. При цьому перші два параметри змінювалися, даючи різні значення функції,

що мінімізується, а t_3 та a залишалися практично незмінними: $t_3 = 0,01$ м, $a = 0,3$ м. Це дало можливість при фіксованих значеннях x_3 та x_4 звести задачу до оптимізації двох параметрів x_1 та x_2 . З точністю до 3 % отримані значення $t_1 = 0,0114$ м, $t_2 = 0,0094$ м, при цьому $m^{\text{проп}} = 405$ кг; $\sigma_{\text{рам}}^{\text{проп}} = 260$ МПа; $\sigma_{\text{кот}}^{\text{проп}} = 110$ МПа.

При відомих значеннях двох параметрів t_3 та a для оптимізації t_1 та t_2 можна скористатися графічним методом. Для цього за допомогою отриманих апроксимацій були обчислені функції $\sigma_{\text{рам}}^{\text{проп}}$, $\sigma_{\text{кот}}^{\text{проп}}$, $m^{\text{проп}}$ на сітці 100×100 та побудовані ізолінії цих функцій (рис. 7).

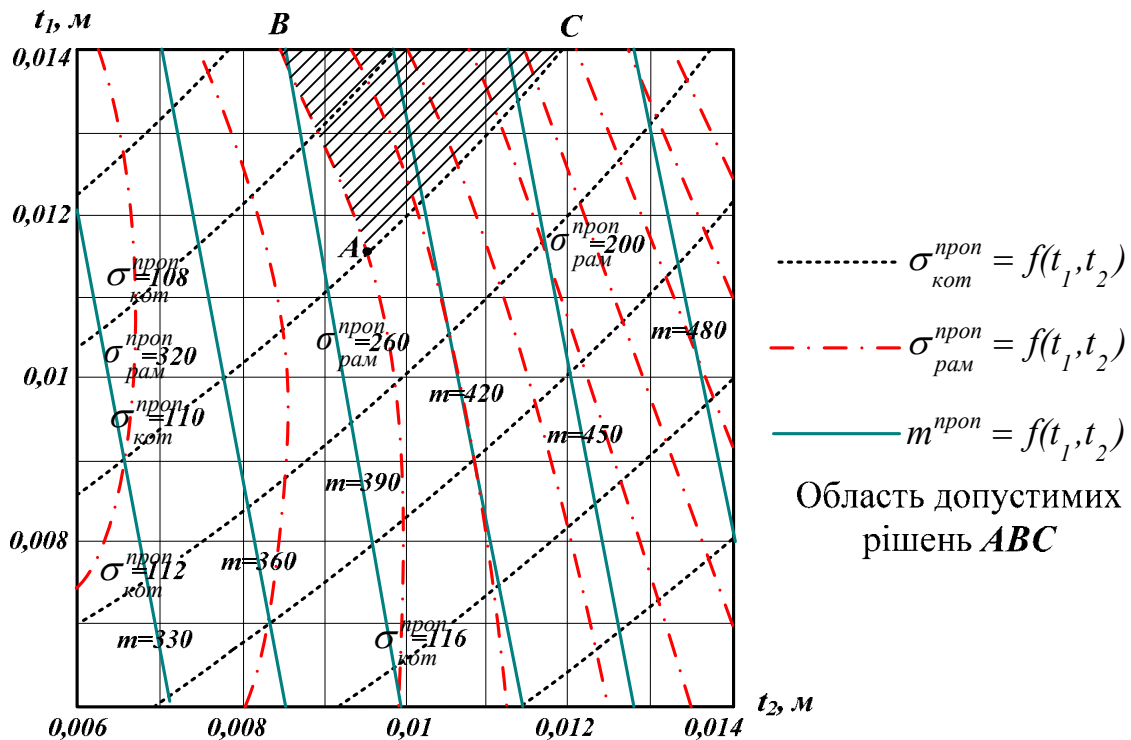


Рис. 7. Графік визначення оптимальних параметрів конструкції опорного пристрою вагона-цистерни

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Аналізуючи графік (див. рис. 7) видно, що оптимальними є параметри в точці А: $t_1 = 0,0116$ м та $t_2 = 0,0095$ м. Пошук, що здійснювався в області допустимих рішень D_x , дав можливість як оптимальні визначити такі величини параметрів: $t_1 = 12$ мм; $t_2 = 10$ мм. Таке рішення обґрунтовується встановленими ГОСТ 19903-74 нормативними значеннями листового прокату ($\delta = 4$ мм; 4,5 мм; 5 мм; 6 мм; 7 мм; 8 мм; 9 мм; 10 мм; 12 мм ...) і технологічними особливостями виготовлення опорного пристрою вагона-цистерни. Як видно, результати оптимізації, які отримані двома способами, дуже близькі. При більшій кількості змінних зручніше користуватися числовим методом.

Маса конструкції опорного пристрою при оптимальних значеннях $t_1 = 12$ мм, $t_2 = 10$ мм, $t_3 = 10$ мм, $a = 0,3$ м становить $m^{\text{проп}} = 415$ кг, що на 13 % менше порівняно з існуючою конструкцією.

Результати

Серед запропонованих варіантів конструктивних рішень консольних опорних пристроїв котла вагона-цистерни найбільш ефективним є перший варіант. Знайдені оптимальні геометричні розміри складових цієї конструкції.

Наукова новизна та практична значимість

Запропоновані нові конструктивні рішення консольних опорних пристроїв котла цистерни. Чисельно досліджено вплив нової конструкції на НДС вагона-цистерни.

Виконано математичний опис задачі оптимізаційного проектування за критерієм мінімальної матеріалоемності опорного пристрою вагона-цистерни та використано його для удосконалення конструкції.

Для вирішення задачі оптимізаційного проектування за критерієм мінімальної матеріалоемності опорного пристрою вагона-цистерни використано чисельний та графічний методи.

Висновки

1. Проаналізовано особливості розвитку конструктивних схем вітчизняних і зарубіжних цистерн, виконано патентно-бібліографічний

аналіз технічних рішень опорних пристроїв, виявлено переваги і недоліки. Обґрунтовано напрямки удосконалення конструкції опорного пристрою цистерни.

2. Розроблено розрахункові скінченно-елементні моделі вагона-цистерни з різними конструктивними виконаннями консольних опорних пристроїв, які дали змогу оцінити НДС конструкції.

3. За результатами розрахунків виявлено, що запропоновані варіанти є досить ефективними, оскільки знижуються максимальні напруження в оболонці котла цистерни. В першому варіанті на половину зменшується площа дії максимальних напружень. В двох інших – напруження приблизно рівномірно розподіляються навколо опори. У варіантах 2 і 3 підкріплюючі діафрагми є дуже жорсткими, тому необхідно на них встановлювати пружні елементи, які будуть сприймати все навантаження від котла. Також можна використовувати гофри в конструктивному виконанні цих діафрагм для зниження жорсткості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Беспалько, С. В. Оценка влияния параметров днища на напряженное состояние котла цистерны / С. В. Беспалько, В. И. Богачев // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – № 1 (43). – С. 133–138.
2. Вагон – цистерна для бензина других светлых нефтепродуктов, модель 15-1443-06. Котел. Расчет на прочность, 1443.01.000 – 11 РР6. Отчет ГСКТИ СКБ ВС, 2002 г. – 31 с.
3. Винарский, М. С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М. С. Винарский, М. В. Лурье. – К. : Техника, 1975. – 168 с.
4. Ермаков, С. М. Математическая теория оптимального эксперимента / С. М. Ермаков, А. А. Жиглявский. – М. : Наука, 1987. – 320 с.
5. Ермуратский, П. В. Симплексный метод оптимизации / П. В. Ермуратский // Труды МЭИ. – М., 1967. – Вып. 67. – С. 29.
6. Ждамаров, В. С. Исследование напряженного состояния оболочки котла железнодорожной цистерны от локальных нагрузок : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.01 / Владимир Степанович Ждамаров ; МИИТ. – М., 1980. – 23 с.
7. Исследования по изысканию новых конструктивных схем четырехосных вагонов-цистерн с целью снижения их металлоемкости : отчет о

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- НИР (заклуч.) / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т вагоностроения (НИИВ) ; рук. Лагута В. С. – Кременчуг, 1985. – Ч. I. – 63 с. – № ГР 01840013267. – Инв. № 02850060917.
8. Костриця, С. А. Оптимизация несущей конструкции планировщика балластной призмы СПЗ-5/UA / С. А. Костриця, Б. М. Товт // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 2 (44). – С. 106–117.
 9. Лагута, В. С. Анализ конструктивных вариантов вагонов-цистерн. Развитие конструкций вагонов. Анализ результатов испытаний и эксплуатации / В. С. Лагута, А. В. Донченко, Ю. Я. Водяников // Сб. науч. тр. НИИ вагоностроения. – 1988. – С. 58–64.
 10. Нерубайло, Б. В. Локальные задачи прочности цилиндрических оболочек / Б. В. Нерубайло. – М. : Машиностроение, 1983. – 248 с.
 11. Павлюченков, М. В. Дослідження конструктивних варіантів опор залізничних цистерн для перевезення рідких вантажів / М. В. Павлюченков // Пробл. та перспективи розв. залізн. трансп. : тез. доп. 70 Міжнар. наук.-практ. конф. / ДНУЗТ. – Д., 2010. – С. 81–82.
 12. Павлюченков, М. В. Информационные технологии расчета и проектирования вагона-цистерны на статические и ударные нагрузки / М. В. Павлюченков // Информ.-керуючі системи на залізн. трансп. : наук.-техн. журн. – 2010. – № 3. – С. 30–36.
 13. Павлюченков, М. В. Комп'ютерна модель вагона-цистерни / М. В. Павлюченков // Рухомий склад з-ць та госп-во : зб. наук. пр. / УкрДАЗТ. – Х., 2008. – Вип. 86. – С. 111–117.
 14. Пат. 72134 Україна, МПК В 61 D 5/06. Пристрій для кріплення котла залізничної цистерни на рамі ходової частини / Павлюченков М. В. ; заявник та патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. – № u2012 00495 ; заявл. 16.01.2012 ; опубл. 10.08.12, Бюл. № 15. – 4 с.
 15. Статистическая информация о повреждениях железнодорожных нефтебензиновых цистерн – обработка с помощью СУБД MS ACCESS / МИИТ. – М., 1998. – 24 с.: ил. – Деп. в ЦНИИТЭИ МПС, 03.03.98, № 6153 жд-98.
 16. Эксплуатационные повреждения нефтебензиновых железнодорожных цистерн – фотоснимки, схемы / МИИТ. – М., 1998. – 55 с.: ил. – Деп. в ЦНИИТЭИ МПС, 03.03.98, № 6154 жд-98.
 17. Floudas, C. A. Encyclopedia of Optimization / C. A. Floudas, P. M. Pardalos. – New York : Springer Science, 2009. – 4246 p.
 18. Glasers Annalen. – 2000. – № 7. – P. 415–417.
 19. Mohd, R. S. Generalized railway tank car safety design optimization for hazardous materials transport: Addressing the trade-off between transportation efficiency and safety / R. S. Mohd, Barkan P. L. Christopher // J. of Hazardous Materials. – 2011. – Vol. 189. – Iss. 1–2, 15. – P. 62–68.
 20. Rozvany, G. I. N. Aims, scope, methods, history and unified terminology of computer-aided topology optimization in structural mechanics / G. I. N. Rozvany // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2001. – № 21. – P. 90–108.

М. В. ПАВЛЮЧЕНКОВ^{1*}

^{1*}Каф. «Строительная механика и гидравлика», Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61500, тел. +38 (057) 730 10 70, эл. почта misha_83@ukr.net

РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ОПОРНЫХ УСТРОЙСТВ ВАГОНОВ-ЦИСТЕРН ДЛЯ ЖИДКИХ ГРУЗОВ

Цель. Усовершенствование конструкции вагонов-цистерн для перевозки жидких грузов за счет новых технических решений консольных опорных устройств и снижения их материалоемкости. **Методика.** Для решения поставленной задачи выполнены исследования для поиска оптимальной конструкции опорного устройства. На первом этапе выполнен патентно-библиографический анализ технических решений, выявлены преимущества и недостатки конструкций, а также предложены новые их варианты; определена наиболее эффективная конструкция среди них. На следующем этапе для определения ее оптимальных параметров составлена функция цели, введены ограничения; получена аппроксимация функций цели и ограничений в виде полиномов. На третьем этапе предложена численная реализация оптимизации функции и определены оптимальные параметры конструкции графическим методом. Результаты методов совпали. **Результаты.** Среди предложенных вариантов определена наиболее эффективная конструкция опорного устройства, получены его оптимальные геометрические размеры. **Научная новизна.** Выполнено математическое описание задачи оптимизационного проектирования по критерию минимальной материалоемкости опорного устройства вагона-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

цистерны и использовано для усовершенствования конструкции. Для решения задачи оптимизационного проектирования использованы численный и графический методы. **Практическая значимость.** Разработаны расчетные конечно-элементные модели вагона-цистерны с различными конструктивными исполнениями консольных опорных устройств, которые позволили оценить НДС конструкции.

Ключевые слова: вагоны-цистерны; котел; консольное опорное устройство; грузоподъемность; подкрепляющий элемент; эквивалентное напряжение; функция цели; обобщенная математическая модель

M. V. PAVLIUCHENKOV^{1*}

^{1*}Dep. «Building Mechanic and Hydraulic», Ukrainian State Academy of Railway Transport, Feuerbach Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61500, tel. +38 (057) 730 10 70, e-mail misha_83@ukr.net

STRUCTURE RATIONALIZATION OF TANK CARS SUPPORT DEVICES FOR FLUIDS

Purpose. Improvement of fluid tank cars structure due to development of new tank bracket support structures and their materials consumption decrease. **Methodology.** The investigations to search the optimal design of the support structure were conducted in order to solve such problem. At the first stage patent and bibliographic analysis of technical solutions was done, the advantages and disadvantages were revealed and new design options were proposed, the most efficient design was determined. The next step is objective function making for determining its optimal parameters, imposition of restrictions, acquisition of objective function approximation and restrictions in the form of polynomials. At the third stage numerical implementation of function optimization was proposed, optimal design parameters were determined with graphical method. Results methods have coincided. **Findings.** The most efficient design of support structure was determined; its optimum geometrical dimensions were described. **Originality.** The author provides the mathematical formulation of optimal design of tank car supports using the minimum materials consumption criteria. The graphic and numerical methods were used during the investigations. **Practical value.** The author proposed the finite-element models of tank car with different design execution of bracket support structures, which allow estimating the VAT of structure.

Keywords: tanks cars; barrel; bracket support structure; vehicle capacity; supporting element; reduced stress; objective function; generic mathematical model

REFERENCES

1. Bepalko S.V., Bogachev V.I. Otsenka vliyaniya parametrov dnisha na napryazhennoye sostoyaniye kotla tsisterny [Assessment of the influence of the parameters bottom of the stress state of the boiler of the tank]. *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. 133-138.
2. Vagon – tsisterna dlya benzina drugih svetlykh nefteproduktov, model 15-1443-06. Kotel. Raschet na prochnost, 443.01.000 – 11 RR6. Otchet GSKTI SKB VS [Car-petrol tank for other light petroleum products, model 15-1443-06. The boiler. Strength calculation, 1443.01.000 – 11 RR6. Report GSKTI SKB VS], 2002, 31 p.
3. Vinarskiy M.S., Lure M.V. *Planirovaniye eksperimenta v tekhnologicheskikh issledovaniyakh* [Planning of experiment in technological research]. Kiev, Tekhnika Publ., 1975. 168 p.
4. Yermakov S.M., Zhiglyavskiy A.A. *Matematicheskaya teoriya optimalnogo eksperimenta* [Mathematical theory of optimal experiment]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 320 p.
5. Yermuratskiy P.V. Simpleksnyy metod optimizatsii [The simplex method of optimization]. *Trudy MEI – MPEI Proceedings*, 1967, issue 67, p. 29.
6. Zhdamarov V.S. *Issledovaniye napryazhennogo sostoyaniya obolochki kotla zheleznodorozhnoy tsisterny ot lokalnykh nagruzok*. Avtoreferat Diss. [Investigation of stress state of the shell of boiler of a tank wagon here local loads. Author's abstract]. Moscow, 1980. 23 p.
7. *Issledovaniya po izyskaniyu novykh konstruktivnykh skhem chetyrekhosnykh vagonov-tsistern s tselyu snizheniya ikh metalloemkosti* [Research to find new constructive schemes of four-axle tank cars to reduce metal consumption]. Kremenchug, VNIIV Publ., 1985. Part I. 63 p.
8. Kostritsa S.A., Tovt B.M. Optimizatsiya nesushchey konstruktssii planirovshchika ballastnoy prizmy SPZ-5/UA [Optimization of the bearing structure of the scheduler points-local prism SPZ-5/UA]. *Nauka ta*

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 2 (44), pp. 106-117.
9. Laguta V.S., Donchenko A.V., Vodyannikov Yu.Ya. Analiz konstruktivnykh variantov vagonov–tsistern. Razvitiye konstruktivnykh variantov. Analiz rezultatov ispytaniy i ekspluatatsii [Analysis of structural variants of tank-wagons. The development of the designs of the cars. Analysis of the results of tests and operation]. *Sbornik nauchnykh trudov nauchno-issledovatel'skogo instituta vagonostroeniya* [Proc. of Scientific and Research Institute of Cars Construction]. Kremenchug, 1988, pp. 58-64.
 10. Nerubaylo B.V. *Lokalnyye zadachi prochnosti tsilindricheskikh obolochek* [Local tasks strength of cylindrical shells]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1983. 248 p.
 11. Pavliuchenkov M.V. Doslidzhennia konstruktivnykh variantiv opor zaliznychnykh tsystem dlia perevezennia rikykh vantazhiv [Research of structural variants supports rail tank cars for transportation of liquid cargoes]. *Tezy dopovidei 70 mizhnarodnoi naukovo praktychnoi konferentsii «Problemy ta perspektyvy rozvytku zaliznychnoho transportu»* [Proc. of the 70th Int. Sci. and Practical Conf. «Problems and prospects of railway transport development»]. Dnipropetrovsk. 2010, pp. 81-82.
 12. Pavliuchenkov M.V. Informatsionnye tekhnologii rascheta i proyektirovaniya vagona-tsisterny na staticheskiye i udarnyye nagruzki [Information technology calculation and design of tank wagons for static and shock loads]. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznomu transporti – Information and control systems at railway transport*, 2010, issue 3, pp. 30-36.
 13. Pavliuchenkov M.V. Kompiuterna model vahona-tsysterny [Computer model of a tank wagon]. *Zbirnyk naukovykh prats «Rukhomyi sklad zaliznyts ta hospodarstvo»* [Proc. «Rolling stock of Railways and economy»]. Kharkiv, 2008, issue 86, pp. 111-117.
 14. Pavliuchenkov M. V. *Prystroi dlia kripлення kotla zaliznychnoi tsysterny na rami khodovoi chastyny* [Device for fastening of the railway tanks boiler on the frame chassis]. Patent UA, no. 2012 00495, 2012. 4 p.
 15. *Statisticheskaya informatsiya o povrezhdeniyakh zheleznodorozhnykh neftebenzinovykh tsistern - obrabotka s pomoshchyu SUBD MS ACCESS* [Statistical information on damage of rail tanks - processing using MS ACCESS]. Moscow, MIIT Publ., 1998. 24 p.
 16. *Ekspluatatsionnyye povrezhdeniya neftebenzinovykh zheleznodorozhnykh tsistern – fotosnimki, skhemy* [Operational damages of rail tanks - photo-pictures, schemes]. Moscow, MIIT Publ., 1998. 55 p.
 17. Floudas C.A., Pardalos P.M. *Encyclopedia of Optimization*. New York, Springer Science, 2009. 4246 p.
 18. Glasers Annalen, 2000, no. 7, pp. 415-417.
 19. Mohd Rapik Saat, Christopher P.L. Barkan. Generalized railway tank car safety design optimization for hazardous materials transport: Addressing the trade-off between transportation efficiency and safety. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, vol. 189, issues 1-2, 15, pp. 62-68.
 20. Rozvany G.I.N. Aims, scope, methods, history and unified terminology of computer-aided topology optimization in structural mechanics. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2001, no. 21, pp. 90-108.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. О. М. Даренським (Україна); д.т.н., проф. С. В. Мямліним (Україна)

Надійшла до редколегії 11.11.2013

Прийнята до друку 14.01.2014

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК [624.27:625.1:624.042.8]

В. Е. АРТЕМОВ^{1*}, А. С. РАСПОПОВ^{2*}

^{1*}Каф. «Мосты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (050) 457 68 19, эл. почта v.artomov@gmail.com

^{2*}Каф. «Мосты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (0562) 47 19 88, эл. почта raspopov@rr.diit.edu.ua

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ НАГРУЗОК С14 И LM71 ДЛЯ БАЛОЧНЫХ МОСТОВ

Цель. В статье выполнен анализ железнодорожной нагрузки LM71 с целью ее применения в национальных проектах балочных железнодорожных мостов. Целью исследования является гармонизация национальных норм проектирования искусственных сооружений с европейскими стандартами (Еврокодами). **Методика.** В работе используются аналитические методы расчета мостов (методика линий влияния), матричный анализ и компьютерное программирование. **Результаты.** Параметры напряженно-деформированного состояния балочных железнодорожных мостов под воздействием нагрузок С14 и LM71 имеют определенные отличия. Степень этих отличий зависит от длины и материала пролетных строений, а также от особенностей определения динамических коэффициентов. Полученные в работе зависимости следует учитывать при использовании национальных норм проектирования и гармонизированных с Еврокодами стандартов. В дальнейших исследованиях планируется определить соотношения между нагрузкой С14 и моделями SW, HSLM с учетом различных динамических эффектов и скорости движения поездов. **Научная новизна.** Представленные в работе результаты, в частности параметры напряженно-деформированного состояния пролетного строения моста с учетом соответствующих динамических коэффициентов, получены впервые. **Практическая значимость.** Результаты исследования использованы при разработке Национального приложения к Национальному стандарту Украины ДСТУ-Н Б EN 1991-2:2010. Еврокод 1. Часть 2. «Подвижные нагрузки на мосты» (EN 1991-2:2003).

Ключевые слова: железнодорожные мосты; балочные мосты; железнодорожная нагрузка; динамический коэффициент; национальные стандарты Украины; санитарные нормы и правила; ГОСТ; СНиП

Введение

Развитие национальной нормативной базы Украины неразрывно связано с евроинтеграционными процессами, в том числе с внедрением европейских норм проектирования – Еврокодов. Еврокоды представляют собой своды правил, сочетающие опыт проектирования строительных конструкций, зданий и сооружений многих стран Европы (Англии, Германии, Франции и др.). На данный момент в Украине проектирование строительных конструкций допустимо вести по одной из двух альтернативных схем – на основе национальной базы

нормативных документов (например [2]) и на основе гармонизированных с Еврокодами стандартов [4, 5, 6].

Цель

Отметим, что в СНГ национальные нормы проектирования мостов [2, 8] по большей части основаны на СНиП 2.05.03-84* [9] и существенно отличаются от европейских. Процесс гармонизации стандартов состоит не только в их языковой адаптации, но также в учете различных параметров и факторов, специфических для данной территории: геологических, гидро-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

логических, погодных условий, эксплуатируемой техники, оборудования, строительных материалов и пр. Применительно к железнодорожным мостам, одним из ключевых вопросов внедрения Еврокодов в Украине является вопрос учета железнодорожных нагрузок, обращающихся на железных дорогах с шириной колеи 1 520 мм.

Целью данной работы является сравнение параметров напряженно-деформированного состояния, которые возникают в элементах мостовых конструкций, от воздействия нагрузок по схемам LM71 [5] и C14 [2, 9].

Методика

Документ [5] регламентирует определение железнодорожной нагрузки со стандартной и широкой колеей европейских магистралей, кроме узкоколейных дорог, линий трамвая, горных зубчатых фуникулеров. В разделе 6 [5] указано, что в общем случае при проектировании железнодорожных мостов следует учитывать не только весовые характеристики подвижного состава, но также его динамику, центробежные силы, удары колес, тяговые и тормозные усилия, аэродинамические эффекты. Всего в Еврокоде 1991-2 представлены четыре модели железнодорожных нагрузок: LM71, SW, порожний поезд, HSLM. Железнодорожная нагрузка LM71 моделирует воздействие нормального железнодорожного транспорта на мосты при движении по магистральным линиям. Эта нагрузка является статической и представляет собой комбинацию равномерно распределенной нагрузки интенсивностью $q_{vk} = 80$ кН/м и четырех сосредоточенных сил $Q_{vk} = 250$ кН (рис. 1). В терминологии Еврокодов эти нормативные значения имеют название «характеристических».

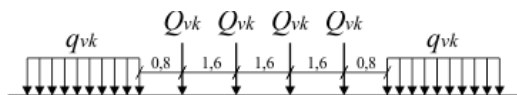


Рис. 1. Модель железнодорожной нагрузки LM71 (Еврокод 1)

Длина равномерно распределенной нагрузки принимается в зависимости от длины загружаемой конструкции для достижения наиболее неблагоприятного воздействия на сооружение. Следуя [5], динамическое воздействие подвиж-

ного состава учитывается динамическим коэффициентом (фактором) Φ . Предполагается, что коэффициент Φ учитывает динамическое увеличение напряжений и амплитуд колебаний конструкции, но не учитывает явления резонанса. Непосредственно в расчетах динамический коэффициент учитывается в виде коэффициента Φ_2 или Φ_3 , в зависимости от технического состояния железнодорожных путей, по которым предполагается движение поездов:

$$\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,82; \quad 1,00 \leq \Phi_2 \leq 1,67; \quad (1)$$

$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,73; \quad 1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,00,$$

где L_Φ – расчетная длина конструктивного элемента, м.

Коэффициент Φ_2 (1) используется в расчетах, если техническое обслуживание железнодорожного пути проводится достаточно часто и качественно. При обычном качестве эксплуатации в расчет вводится коэффициент Φ_3 . Отметим, что в нормах СНГ [2, 5, 7] динамический коэффициент зависит от типа и материала проектируемой конструкции. Так, для балочных железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов динамический коэффициент определяется по формуле

$$1 + \mu = 1 + 10 / (20 + \lambda), \quad (2)$$

где λ – длина загрузки линии влияния временной нагрузкой, м.

Проанализируем значения динамических коэффициентов по нормам [2, 5, 8]. Как видно из рис. 2, значения динамических коэффициентов $1 + \mu$ для пролетных строений длиной до 9 м (как правило, плитных) примерно в 1,1...1,4 раза ниже соответствующих значений Φ . Для пролетных строений длиной 9...18 м (как плитных, так и балочных) коэффициент $1 + \mu$ выше коэффициента Φ для случая обычного обслуживания железнодорожного пути. В случае более качественного обслуживания пути коэффициент Φ превышает $1 + \mu$ примерно в 1,1 раза для пролетных строений длиной 9 м и почти экспоненциально приближается к значению $1 + \mu$ до расчетной длины 18 м. Для пролетных строе-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

ний длиной 18...33 м динамический коэффициент $1+\mu$ во всех случаях превышает Φ в 1,1...1,3 раза.

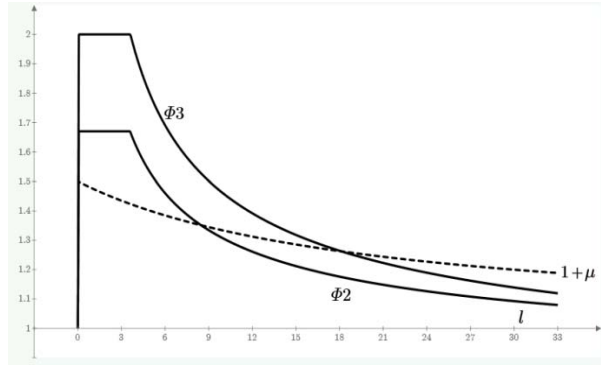


Рис. 2. Графики динамических коэффициентов Φ , $1+\mu$ в зависимости от расчетной длины l

Кроме динамического коэффициента, европейские нормы проектирования мостов [5] регламентируют также вводить в расчет коэффициент α (меньше или больше единицы), с помощью которого осуществляется переход от «характеристической» нагрузки к «классифицированной»:

$$\alpha = 0,75; 0,83; 0,91; 1,00; 1,21; 1,33; 1,46. \quad (3)$$

Также в документе [5] указывается, что для международных железнодорожных линий, согласно Национальному приложению, рекомендуется принимать $\alpha > 1$. С целью определения величины α для железных дорог Украины, проведем серию тестовых расчетов по определению параметров напряженно-деформированного состояния балочных пролетных строений железнодорожных мостов.

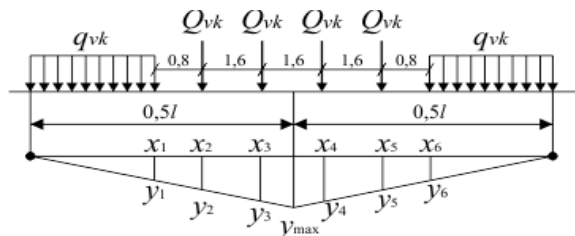


Рис. 3. К определению изгибающего момента от нагрузки LM71

Модель LM71 предполагает больше вариантов и комбинаций расположения нагрузки на пролетном строении моста, чем модель C14.

Рассмотрим процесс движения нагрузки LM71 по пролетному строению моста. В мо-

мент начала движения, правая часть равномерно распределенной нагрузки q_{vk} загрузит весь пролет, а далее на мосту последовательно будут появляться сосредоточенные силы Q_{vk} и вторая часть распределенной нагрузки (рис. 3).

Результаты

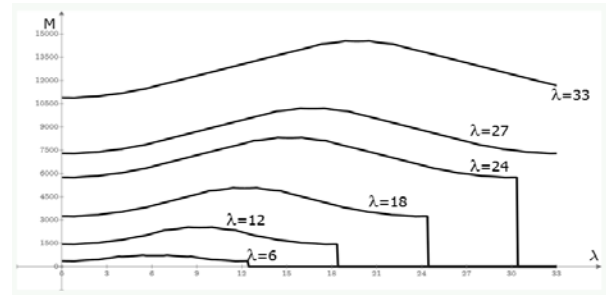


Рис. 4. Графики максимальных изгибающих моментов в пролетных строениях длиной 6, 12, 18, 24, 27, 33 м от нагрузки LM71

На рис. 4 показаны кривые, отражающие изменения изгибающего момента в сечениях разрезных пролетных строений разной длины от нагрузки LM71. Применяя к полученным кривым функцию поиска максимума, получим кривую максимальных изгибающих моментов для всего диапазона рассматриваемых длин пролетных строений, которую также сравним с аналогичной кривой от нагрузки C14 (рис. 5).

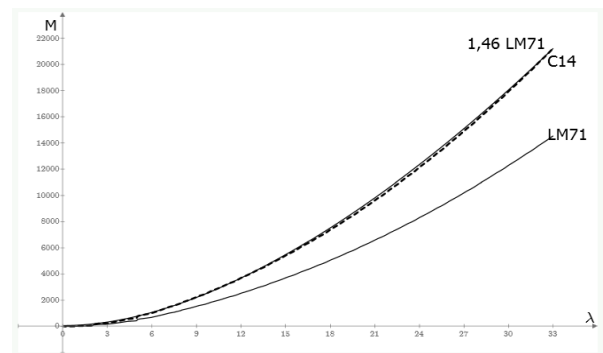


Рис. 5. Максимальные изгибающие моменты в пролетных строениях длиной 0...33 м от нагрузок C14, LM71

Как видно из рис. 5, железнодорожная нагрузка C14 приводит к появлению в расчетной схеме изгибающих моментов, превышающих моменты от нагрузки LM71 примерно в 1,5 раза (пунктирная кривая соответствует коэффициенту $\alpha = 1,46$). Таким образом, эту величину можно рассматривать как рекомендуемое зна-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

чение коэффициента α для перехода от характеристической нагрузки LM71 к классифицированной нагрузке от подвижного состава на железных дорогах Украины, согласно Национальному приложению [5]:

$$\alpha = 1,46. \quad (4)$$

Учет соответствующих динамических коэффициентов Φ [3] и $1+\mu$ [2, 8, 9] не оказывает принципиального влияния на соотношение между изгибающими моментами от нагрузок C14, LM71 (рис. 6).

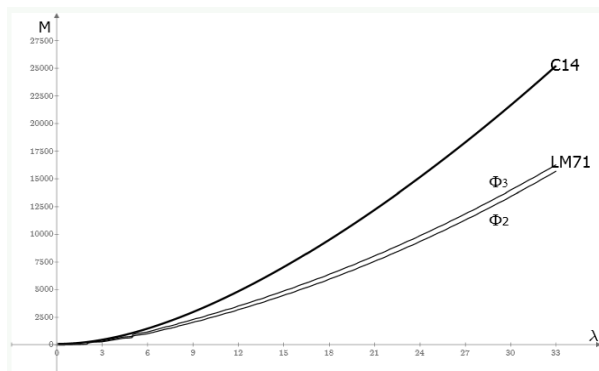


Рис. 6. Максимальные изгибающие моменты в пролетных строениях длиной 0...33 м от нагрузок C14, LM71 с учетом динамических коэффициентов

Научная новизна и практическая значимость

Исследованию влияния на мосты различных типов нагрузок также посвящены работы [1, 3, 7, 10–15]. Результаты сравнительного анализа нагрузок C14 и LM71, изложенные в настоящей статье, учтены при разработке Национального приложения к гармонизированному с Еврокодами стандарту [5] и публикуются впервые.

Выводы

Параметры напряженно-деформированного состояния балочных железнодорожных мостов под воздействием нагрузок C14 и LM71 имеют определенные отличия. Степень этих отличий зависит от длины и материала пролетных строений, а также от особенностей определения динамических коэффициентов. Полученные в работе зависимости следует учитывать при использовании национальных норм проектирования и гармонизированных с Еврокодами стандартов.

В дальнейших исследованиях планируется определить соотношения между нагрузкой C14 и моделями SW, HSLM с учетом различных динамических эффектов и скорости движения поездов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Артемов, В. Е. К вопросу учета скорости движения поезда при проектировании балочных мостов / В. Е. Артемов, А. С. Распопов // Мосты та тунелі: теорія, дослідж., практика : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – Д., 2012. – Вип. 2. – С. 5–8.
2. Державні будівельні норми України ДБН В.2.3-14:2006 «Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування». – К. : Мін. буд-ва, архіт. та житлово-ком. госп., 2006. – 359 с.
3. Нагрузки на конструкции мостов в странах СНГ [Электронный ресурс] // Железные дороги мира. – Режим доступа: <http://1430mm.ru/node/203>. – Загл. с экрана.
4. Національний стандарт України ДСТУ-НБВ.1.2-13:2008. Система надійності та безпеки у будівництві. Основи проектування конструкцій (EN 1990:2002). Технічні умови : затв. та введ. в дію наказом № 710 від 30.12.2008. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 101 с.
5. Національний стандарт України ДСТУ-НБ EN 1991-2:2010. Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 2. Рухомі навантаження на мости (EN 1991-2:2003). – Надано чинності 2013-07-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2003. – 217 с.
6. Про затвердження Порядку застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій, та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу : Постанова Каб. Міністрів України від 23 травня 2011 р. № 547. – К., 2011. – 1 с.
7. Распопов, А. С. Исследование динамической работы железобетонных мостов с эксцентриситетом рельсового пути / А. С. Распопов, В. Е. Артемов, С. П. Русу // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – Д., 2010. – Вип. 35. – 2010. – С. 168–171.
8. Свод правил СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*». – М. : ОАО «ЦНИИС», 2011. – 340 с.
9. Строительные нормы и правила СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы». – М. : Госстрой СССР, 1985. – 200 с.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

10. Cho, T. Reliability analysis for the uncertainties in vehicle and high-speed railway bridge system based on an improved response surface method for nonlinear limit states / T. Cho, M.-K. Song, D. H. Lee // *Nonlinear Dynamics*. – 2010. – Vol. 59. – Iss. 1–2. – P. 1–17.
11. Effects of the diaphragm at midspan on static and dynamic behaviour of composite railway bridge: A case study / Y. Sieffert, G. Michel, D. Martin et al. // *Engineering Structures*. – 2006. – Vol. 28. – Iss. 11. – P. 1543–1554.
12. Notkus, A. J. Analysis and comparison of Eurocode and SNiP traffic load models for railway bridges / A. J. Notkus, Z. Kamaitis // *Modern building materials, structures and techniques* (19.05 – 21.05. 2010) : 10th Intern. Conf. proc. – Vilnius, 2010. – P. 720–724.
13. Notkus, A. J. Tiltu irazių, paskaičiuotu pagal SNiP ir ENV, palyginimas [Comparison of bridge internal forces defined by the SNiP and the ENV codes] / A. J. Notkus // *Statyba ir architektura : Konferencijos pranešimų medžiaga*. – Kaunas, 1998. – P. 271–276.
14. O'Connor, C. Bridge Loads / C. O'Connor, P. A. Shaw. An Intern. Perspective. – New York : Spon Press, 2000. – 358 p.
15. Rolling stock analysis of various railway bridges in Austria / M. Heiden, M. Pircher, H. Pircher, D. Janjic // *Structures of High-Speed Railway Transportation (August 27–29) : Proc. of Intern. IABSE Symp.* – Belgium : Antwerpen, 2003. – 7 p.

В. Є. АРТЬОМОВ^{1*}, О. С. РАСПОПОВ^{2*}

^{1*}Каф. «Мости», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (050) 457 68 19, ел. пошта v.artomov@gmail.com

^{2*}Каф. «Мости», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (0562) 47 19 88, ел. пошта raspopov@rr.dit.edu.ua

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ЗАЛІЗНИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ С14 ТА LM71 ДЛЯ БАЛКОВИХ МОСТІВ

Мета. У статті виконано аналіз залізничного навантаження LM71 із метою його застосування в національних проектах балкових залізничних мостів. Метою дослідження є гармонізація національних норм проектування штучних споруд з європейськими стандартами (Єврокодами). **Методика.** У роботі використовуються аналітичні методи розрахунку мостів (методика ліній впливу), матричний аналіз та комп'ютерне програмування. **Результати.** Параметри напружено-деформованого стану балкових залізничних мостів під впливом навантажень С14 та LM71 мають певні відмінності. Ступінь цих відмінностей залежить від довжини й матеріалу прогонових будов, а також від особливостей визначення динамічних коефіцієнтів. Отримані в роботі залежності слід урахувати під час використання національних норм проектування та гармонізованих із Єврокодами стандартів. У подальших дослідженнях планується визначити співвідношення між навантаженням С14 і моделями SW, HSLM з урахуванням динамічних ефектів і швидкості руху поїздів. **Наукова новизна.** Представлені в роботі результати, зокрема параметри напружено-деформованого стану прогонової будови моста з урахуванням відповідних динамічних коефіцієнтів, отримані вперше. **Практична значимість.** Результати дослідження використані під час розробки Національного додатка до Національного стандарту України ДСТУ-Н Б EN 1991-2:2010. Єврокод 1. Частина 2. «Рухомі навантаження на мости» (EN 1991-2:2003).

Ключові слова: залізничні мости; балкові мости; залізничне навантаження; динамічний коефіцієнт; національні стандарти України; санітарні норми і правила; ДСТУ; СНіП

V. ARTOMOV^{1*}, A. RASPOPOV^{2*}^{1*}Dep. «Bridges», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 457 68 19, e-mail v.artomov@gmail.com^{2*}Dep. «Bridges», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (0562) 47 19 88, e-mail raspopov@rr.diit.edu.ua

COMPARATIVE ANALYSIS OF MODELS OF RAILWAY LOADS C14 AND LM71 FOR GIRDER BRIDGES

Purpose. The article analyzes the railway load LM71 for the purpose of its application in national design projects of the railway girder bridges. Purpose of the article is harmonization of national design codes of engineering structures with the European standards (Eurocodes). **Methodology.** Analytical calculation methods (influence lines), the matrix analysis and computer programming are used in the article. **Findings.** Deflected mode parameters of the railway bridges under the influence of loads C14 and LM71 have certain differences. The extent of these differences depends on length, material of drift structures and also on dynamic coefficients. These dependences should be considered in national design codes and in harmonized with Eurocodes standards. In the further researches relationships between load C14 and models SW, HSLM taking into account various dynamic effects and trains speed is planned to determine. **Originality.** The presented results, in particular deflected mode parameters (including loads with dynamic coefficients), obtained for the first time. **Practical value.** Results of research are used in National Annex to the National Standard of Ukraine NSTU-N EN 1991-2:2010. Eurocode 1. Actions on structures. Part 2. Traffic loads on bridges (EN 1991-2:2003).

Keywords: railway bridges; beam bridges; railway load; dynamic coefficient; national standards of Ukraine; sanitary norms and rules; GOST; SNR

REFERENCES

1. Artomov V., Raspopov A. K voprosu ucheta skorosti dvizheniya poyezda pri proyektirovanii balochnykh mostov [To the question of train speed accounting in the design of girder bridges]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transporta «Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka»* [Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport «Bridges and tunnels: theory, research. Practice»], 2012, issue 2, pp. 5-8.
2. *Derzhavni budivelni normy Ukrainy DBN V.2.3-14:2006 «Sporudy transportu. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannia»* [State building codes Ukraine DBN V.2.3-14: 2006 "Transport facilities. Bridges and pipes. Design rules]. Kyiv, Min. bud-va, arkh. ta zhytlovo-kom. hosp. Publ., 2006. 359 p.
3. Nagruzki na konstruktsii mostov v stranakh SNG (Loads on the bridges structures in CIS). *Zheleznyye dorogi mira – Railways of the world*. Available at: <http://1430mm.ru/node/203> (Accessed 03 December 2013).
4. DSTU 1.2-13:2008. *Systema nadiinosti ta bezpeky u budivnytstvi. Osnovy proektuvannia konstruktsii* [State Standard 1.2-13:2008. System reliability and safety in construction. Fundamentals of structural design]. Kyiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2009. 101 p.
5. DSTU-N B EN 1991-2:2010. *Yevrokod 1. Chastyna 2. Rukhomi navantazhennia na mosty* [State Standard 1991-2:2010. Eurocode 1. Part 2. Polling loads on bridges]. Kyiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2003. 217 p.
6. *Pro zatverdzhennia Poriadku zastosuvannia budivelnykh norm, rozroblenykh na osnovi natsionalnykh tekhnolohichnykh tradytsii, ta budivelnykh norm, harmonizovanykh z normatyvnymi dokumentamy Yevropeiskoho Soiuzu : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy* [On approval of building regulations usage developed on the basis of national and technological traditions and building regulations, harmonized with the regulations of the European Union: Decree of the Cabinet of Ministers in Ukraine]. Kyiv, 2011. 1 p.
7. Raspopov A., Artomov V., Rusu S. Issledovaniye dinamicheskoy raboty zhelezobetonnykh mostov s eksstsentritetom relsivogo puti [Study of dynamic performance of concrete bridges with the eccentricity of the track]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University], 2010, issue 35, pp. 168-171.
8. *Svod pravil SP 35.13330.2011 «Mosty i truby. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.05.03-84*»* [Set of rules SR 35.13330.2011 «Bridges and pipes. Updated edition SNR 2.05.03-84*»]. Moscow, OAO «TsNIIS» Publ., 2011. 340 p.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

9. *Stroitelnyye normy i pravila SNiP 2.05.03-84 «Mosty i truby»* [Building regulations SNR 2.05.03-84 «Bridges and pipes»]. Moscow, Gosstroy SSSR Publ., 1985. 200 p.
10. Cho T., Song M.-K., Lee D.H. Reliability analysis for the uncertainties in vehicle and high-speed railway bridge system based on an improved response surface method for nonlinear limit states. *Nonlinear Dynamics*, 2010, vol. 59, issue 1–2, pp. 1-17.
11. Sieffert Y., Michel G., Martin D., Keller D., Jullien J.-F. Effects of the diaphragm at midspan on static and dynamic behaviour of composite railway bridge: A case study. *Engineering Structures*, 2006, vol. 28, issue 11, pp. 1543-1554.
12. Notkus A.J., Kamaitis Z. Analysis and comparison of Eurocode and SNiP traffic load models for railway bridges. Proc. of 10th Int. Conf. «Modern building materials, structures and techniques». Vilnius, 2010, pp. 720-724.
13. Notkus A.J. Tiltu irazių, paskaičiuotu pagal SNiP ir ENV, palyginimas [Comparison of bridge internal forces defined by the SNiP and the ENV codes]. Konferencijos pranešimų medžiaga «Statyba ir architektura». Kaunas: Technologija Publ., 1998, pp. 271-276.
14. O'Connor C., Shaw P.A. Bridge Loads. An International Perspective. USA: New York, Spon Press, 2000. 358 p.
15. Heiden M., Pircher M., Pircher H., Janjic D. Rolling stock analysis of various railway bridges in Austria. Proc. of Int. IABSE Symp. «Structures of High-Speed Railway Transportation». Belgium: Antwerpen, 2003. 7 p.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. В. Кулябко (Украина); д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Украина)

Поступила в редколлегию 20.11.2013.

Принята к печати 09.01.2014

ЗМІСТ

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

С. В. МЯМЛІН, Т. О. КОЛЕСНИКОВА

РОЗВИТОК НАУКОВОЇ ШКОЛИ ТРАНСПОРТНОЇ МЕХАНІКИ: ТВОРЧА СПАДЩИНА Є. П. БЛОХІНА.....7

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

А. М. БЕЗНАРИТНИЙ, В. І. ГАВРИЛЮК, О. О. ГОЛОЛОБОВА

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРИСТРОЇВ АВТОБЛОКУВАННЯ, МЕТОДІВ ЙОГО
ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ22

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Ю. С. БАРАШ, А. В. МОМОТ

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВНИЦТВА
ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ МАГІСТРАЛІ В УКРАЇНІ.....33

Г. ГОЛОВКОВА

СТРАТЕГІЧНИЙ ВПЛИВ МОБІЛЬНОСТІ НА ОРГАНІЗАЦІЇ51

І. І. РЕКУН

ПРОБЛЕМА ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В СУЧАСНИХ МАКРО- ТА МІКРОКОНЦЕПЦІЯХ.....59

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Є. Б. БОДНАР

ОСНОВНІ ВИМОГИ ТА ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ БОРТОВИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ
ЛОКОМОТИВІВ68

А. І. ВЕРЛАН

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ СТИМУЛЮВАННЯ ВІДПРАВНИЦЬКОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ
НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ75

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

М. О. КОСТІН

ЕЛЕКТРОДИНАМІКА ПЕРЕДАЧІ ТА ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ПРИСТРОЯХ СИСТЕМ
ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ86

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

І. О. ВАКУЛЕНКО, С. В. ПРОЙДАК

МЕХАНІЗМ ВПЛИВУ РОЗМІРУ ЗЕРНА ФЕРИТУ НА МІЦНІСТЬ ПРИ ВТОМІ
НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ97

Т. М. КАДИЛЬНИКОВА, Л. Ф. СУШКО

ОБґРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ ТА ВИБОРУ КІНЕМАТИЧНИХ І ТРИБОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
СИСТЕМИ «ШЕСТИРІНЬ-ЗУБЧАСТА РЕЙКА» СТАНІВ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ ТРУБ.....105

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Д. О. ПОЛІЩУК

КОМПЛЕКСНЕ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ТА ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ112

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

С. В. РАКША, О. С. КУРОПЯТНИК, А. О. КУРКА

ОБґРУНТУВАННЯ СПОСОБІВ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПІДВІСНИХ КАНАТНИХ ДОРІГ125

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

О. М. БОНДАРЄВ, В. Л. ГОРОБЕЦЬ, Д. О. ЯГОДА, О. О. БОНДАРЄВ

РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ІЗ ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ МІЦНОСТІ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ
ГОЛОВНИХ ВАГОНІВ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДІВ ДР1А НА ПІДСТАВІ ВИКОНАНИХ
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНИХ РОБІТ132

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

М. Б. МАНКЕВИЧ

ДИНАМІКА ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ НА ВІЗКАХ МОДЕЛІ 18-1711 ІЗ РІЗНОЮ КОНСТРУКЦІЄЮ

КЛИНІВ РЕСОРНОГО ПІДВІШУВАННЯ 142

М. В. ПАВЛЮЧЕНКОВ

РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ОПОРНИХ ПРИСТРОЇВ ВАГОНІВ-ЦИСТЕРН ДЛЯ РІДКИХ ВАНТАЖІВ 151

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

В. Є. АРТЬОМОВ, О. С. РАСПОПОВ

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ЗАЛІЗНИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ С14 ТА LM71

ДЛЯ БАЛКОВИХ МОСТІВ..... 160

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА

С. В. МЯМЛИН, Т. А. КОЛЕСНИКОВА

РАЗВИТИЕ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ТРАНСПОРТНОЙ МЕХАНИКИ: ТВОРЧЕСКОЕ

НАСЛЕДИЕ Е. П. БЛОХИНА7

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

А. М. БЕЗНАРЫТНЫЙ, В. И. ГАВРИЛЮК, О. А. ГОЛОЛОВА

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ УСТРОЙСТВ АВТОБЛОКИРОВКИ, МЕТОДОВ

ЕЁ ОБСЛУЖИВАНИЯ И КОНТРОЛЯ22

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Ю. С. БАРАШ, А. В. МОМОТ

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ МАГИСТРАЛИ В УКРАИНЕ.....33

А. ГОЛОВКОВА

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ МОБИЛЬНОСТИ НА ОРГАНИЗАЦИИ51

И. И. РЕКУН

ПРОБЛЕМА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СОВРЕМЕННЫХ МАКРО- И МИКРО КОНЦЕПЦИЯХ59

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА

Е. Б. БОДНАРЬ

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ

ДИАГНОСТИКИ ЛОКОМОТИВОВ68

А. И. ВЕРЛАН

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ СТИМУЛИРОВАНИЯ ОТПРАВИТЕЛЬСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ

НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ75

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

Н. А. КОСТИН

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА ПЕРЕДАЧИ И ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В УСТРОЙСТВАХ СИСТЕМ

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ.....86

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

И. А. ВАКУЛЕНКО, С. В. ПРОЙДАК

МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРА ЗЕРНА ФЕРРИТА НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ

НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ97

Т. М. КАДИЛЬНИКОВА, Л. Ф. СУШКО

ОБОСНОВАНИЕ ОЦЕНКИ И ВЫБОРА КИНЕМАТИЧЕСКИХ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

СИСТЕМЫ «ШЕСТЕРНЯ-ЗУБЧАТАЯ РЕЙКА» СТАНОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ105

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТА И ЭКОНОМИКИ

Д. А. ПОЛИЩУК

КОМПЛЕКСНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ СОСТОЯНИЯ И КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ112

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ВИДЫ ТРАНСПОРТА

С. В. РАКША, А. С. КУРОПЯТНИК, А. А. КУРКА

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПОДВЕСНЫХ КАНАТНЫХ ДОРОГ125

ПРОМЫШЛЕННЫЙ ТРАНСПОРТ

А. М. БОНДАРЕВ, В. Л. ГОРОБЕЦ, Д. А. ЯГОДА, А. А. БОНДАРЕВ

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО УЛУЧШЕНИЮ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ НЕСУЩИХ

КОНСТРУКЦИЙ ГОЛОВНЫХ ВАГОНОВ ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДОВ ДР1А НА ОСНОВАНИИ

ВЫПОЛНЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАБОТ132

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ТЯГА ПОЕЗДОВ

Н. Б. МАНКЕВИЧ

ДИНАМИКА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА ТЕЛЕЖКАХ МОДЕЛИ 18-1711 С РАЗНОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ
КЛИНЬЕВ РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ 142

М. В. ПАВЛЮЧЕНКОВ

РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ОПОРНЫХ УСТРОЙСТВ ВАГОНОВ-ЦИСТЕРН
ДЛЯ ЖИДКИХ ГРУЗОВ 151

ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

В. Е. АРТЕМОВ, А. С. РАСПОПОВ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ НАГРУЗОК С14 И LM71
ДЛЯ БАЛОЧНЫХ МОСТОВ 160

CONTENTS

SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS

S. V. MYAMLIN, T. O. KOLESNYKOVA

DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC SCHOOL OF TRANSPORT MECHANICS: ARTISTIC LEGACY
OF YE. P. BLOKHIN

7

TRANSPORT AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

A. M. BEZNARYTNYI, V. I. GAVRILYUK, O. O. GOLOLOBOVA

CURRENT STATE ANALYSIS OF AUTOMATIC BLOCK SYSTEM DEVICES, METHODS OF ITS SERVICE
AND MONITORING

22

ECONOMICS AND MANAGEMENT

YU. S. BARASH, A. V. MOMOT

IMPROVED METHOD OF DETERMINATION OF ECONOMIC EFFICIENCY OF CONSTRUCTION
AND OPERATION OF HIGH SPEED MAINLINE IN UKRAINE

33

A. GOLOVKOVA

STRATEGIC IMPACT OF MOBILITY ON ORGANIZATIONS

51

I. I. REKUN

ECONOMIC SAFETY PROBLEM IN MODERN MACRO AND MICRO CONCEPTS

59

OPERATION AND REPAIR OF TRANSPORT MEANS

YE. B. BODNAR

BASIC REQUIREMENTS AND PRINCIPLES OF CREATION ONBOARD DIAGNOSTIC SYSTEMS
OF LOCOMOTIVES

68

A. I. VERLAN

STIMULATION METHODS IMPROVEMENT OF EXIT ROUTE ON RAILWAY TRANSPORT

75

ELECTRIC TRANSPORT

M. O. KOSTIN

ELECTRODYNAMICS OF TRANSMISSION AND LOSSES OF POWER IN THE DEVICES OF ELECTRIC
TRACTION SYSTEMS

86

MATERIAL SCIENCE

I. A. VAKULENKO, S. V. PROYDAK

THE INFLUENCE MECHANISM OF FERRITE GRAIN SIZE ON STRENGTH STRESS AT THE FATIGUE
OF LOW-CARBON STEEL

97

T. M. KADILNIKOVA, L. F. SUSHKO

RATIONALE OF THE EVALUATION AND SELECTION OF KINEMATIC AND TRIBOLOGICAL
CHARACTERISTICS OF THE SYSTEM «PINION – GEAR RACK» OF COLD-PILGERING MILLS

105

TRANSPORT AND ECONOMIC TASKS MODELING

D. O. POLISHCHUK

COMPLEX EVALUATION OF THE STATE AND QUALITY OF RAILWAY STATION OPERATING

112

NON-TRADITIONAL TRANSPORT MODES

S. V. RAKSHA, A. S. KUROPYATNIK, A. A. KURKA

SUBSTANTIATION OF WAYS OF DECREASE IN POWER CONSUMPTION OF ROPEWAYS

125

INDUSTRIAL TRANSPORT

O. M. BONDAREV, V. L. GOROBETS, D. O. YAGODA, O. O. BONDAREV

DEVELOPING MEASURES TO IMPROVE STRENGTH INDICES OF SUPPORTING STRUCTURES FOR HEAD
CARS OF DIESEL TRAINS DR1A ON THE BASIS OF EXPERIMENTAL-AND-THEORETICAL WORKS

132

ROLLING STOCK AND TRAIN TRACTION

N. B. MANKEVYCH

DYNAMICS OF FREIGHT CARS ON BOGIES MODEL 18-1711 WITH DIFFERENT WEDGE DESIGNS
OF SPRING SUSPENSION.....142

M. V. PAVLIUCHENKOV

STRUCTURE RATIONALIZATION OF TANK CARS SUPPORT DEVICES FOR FLUIDS.....151

TRANSPORT CONSTRUCTION

V. ARTOMOV, A. RASPOPOV

COMPARATIVE ANALYSIS OF MODELS OF RAILWAY LOADS C14 AND LM71 FOR GIRDER BRIDGES160

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 сформулювати 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_stattia.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_recenzia.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
 Адреса сайту журналу: <http://stp.diit.edu.ua/>

**З питань придбання примірників журналу телефонуйте за номером (056) 776 90 59 Грідасова А. В.,
 (056) 371 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).

Наукове видання

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

№ 1 (49) 2014

(українською, російською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск – Т. О. Колесникова

Комп'ютерне верстання – Ю. С. Марков

Літературна обробка – О. М. Врублевська

Формат 60×84¹/₈. Ум. друк. арк. 20,46. Тираж 300 пр. Зам. № ____.

**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.diit.edu.ua, visnik@diit.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)**

№ 1 (49) 2014

(на украинском, русском и английском языках)

Ответственный за выпуск – Т. А. Колесникова

Компьютерная верстка – Ю. С. Марков

Литературная обработка – О. М. Врублевская

Формат 60×84¹/₈. Ус. печат. лист. 20,46. Тираж 300 экз. Зак. № ____.

**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.diit.edu.ua, visnik@diit.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. VİSNIK DNİPROPETROVS'KOGO NACİONAL'NOGO
UNİVERSİTETU ZALİZNIČNOGO TRANSPORTU**

**(SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS. BULLETIN OF DNIPROPETROVSK NATIONAL
UNIVERSITY OF RAILWAY TRANSPORT NAMED AFTER ACADEMICIAN V. LAZARYAN)**

No. 1 (49) 2014

(in Ukrainian, Russian and English languages)

Responsible for issue – Т. О. Kolesnykova

Computer makeup – Yu. S. Markov

Redaction – О. М. Vrublevska

Format 60×84¹/₈. Conventional printed sheet 20,46. Circulation 300. Order no. ____.

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

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Address of small offset printing office

Lazaryan St., 2, r. 1201, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

Тел.: +38 (056) 47-19-66, *Fax:* +38 (056) 47-19-83



СУЧАСНІ ЗАКЛАДИ ОСВІТИ - 2013
Четверта Міжнародна виставка

CERTIFICATE

якості наукових публікацій
УДОСТОЄНИЙ

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Міністерство освіти і науки,
молоді та спорту України

МІНІСТР



Д. Табачник

Підстава:
показники наукометричної
бази даних Scopus
за 2012 рік



Національна академія
педагогічних наук України

Президент



В. Кремень

Україна, м. Київ

Асоціація користувачів
Української науково-освітньої
телекомунікаційної мережі «Уран»

Голова Ради



Ю. Якименко

