



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



---

# НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ  
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

№ 6(54)

---

•• 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

№ 6 (54) 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

Пшінько 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., Вакулєнко І. О., Верхоглядова Н. І., Власова Т. І., Габринєць В. О., Гаврилук В. І., Гетьман Г. К., Главацький К. Ц., Головова Л. С., Гончаров К. В., Горобєць 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., Настєчик М. П., Нетєса 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); Вайчунас Г. (Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса, Литва); 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); Куанишев Б. М. (Казахська академія транспорту і комунікацій, Республіка Казахстан); 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); Стржелицькі Р. (Гданський морський університет, Республіка Польща); Худзікевич А. (Варшавський політехнічний університет, Республіка Польща).

Журнал зареєстровано Державною реєстраційною службою Міністерства юстиції України. Свідоцтво про реєстрацію КВ № 19609-9409ПР від 29.12.2012 р. Видання внесено до Переліку наукових фахових видань України постановами президії ВАК України № 1-05/6 від 16.12.2009 р. (технічні науки) та № 1-05/2 від 10.03.2010 р. (економічні науки). Журнал зареєстровано в міжнародних каталогах періодичних видань Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat, наукометричних системах Google Scholar, Polish Scholarly Bibliography, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI. Друкується за рішенням вченої ради університету від 29.12.2014 р., протокол № 6

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

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

Видання публікується з 1936 р.:

- 1936–1993 рр. – «Труди Дніпропетровського інституту інженерів залізничного транспорту»;
- 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**

**№ 6 (54) 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., Бобыр Д. В., Бобровский В. И., Боднар Б. Е., Босов А. А., Вакуленко И. А., Верхоглядова Н. И., Власова Т. И., Габринец В. А., Гаврилюк В. И., Гетьман Г. К., Главацкий К. Ц., Головкова Л. С., Гончаров К. В., Горобец В. Л., Дорогань Т. Е., Доценко Е. Н., Жуковицкий И. В., Заблудовский В. А., Каламбет С. В., Капица М. И., Ковтун В. В., Копитко В. И., Костин Н. А., Кравец В. В., Краснюк А. В., Кривчик Г. Г., Кузнецов В. Г., Курган Н. Б., Муха А. М., Мухина Н. А., Настечик М. П., Нетеса Н. И., Оковитый С. И., Очкасов А. Б., Петренко В. Д., Пичугов С. А., Пичурин В. В., Покотилев А. А., Полишко Т. В., Радкевич А. В., Радченко Н. А., Ракша С. В., Рыбкин В. В., Скалозуб В. В., Снежко Л. А., Урсуляк Л. В., Штапенко Е. П., Яришкина Л. А.

*ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:*

Анисимов П. С. (Московский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация); Бялонь А. (Научно-технический центр железнодорожного транспорта, Республика Польша); Вайчунас Г. (Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литва); 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); Куанышев Б. М. (Казахская академия транспорта и коммуникаций, Республика Казахстан); 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); Стржелецки Р. (Гданьский морской университет, Республика Польша); Худзикевиц А. (Варшавский политехнический университет, Республика Польша).

Журнал  
зарегистрирован

Государственной регистрационной службой Министерства юстиции Украины.  
Свидетельство о регистрации КВ № 19609-9409ПР от 29.12.2012 г.

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

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

Печатается по решению ученого совета университета от 29.12.2014 г., протокол № 6

Издатель

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

Адрес  
учредителя

ул. Лазаряна, 2, ком. 267, Днепропетровск, Украина, 49010, тел.: +38 (056) 371-51-05;  
e-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua; сайт журнала: http://stp.diit.edu.ua/

Издание публикуется с 1936 г.:

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

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

**NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU**

**VÌSNIK DNÌPROPETROVS'KOGO NACIONAL'NOGO UNÌVERSITETU  
ZALÌZNIČNOGO TRANSPORTU**

**(SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS**

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

**Scientific journal**

**No. 6 (54) 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); Kuanyshev B. M. (Kazakh Academy of Transport and Communications, Republic of Kazakhstan); 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); Vaiciunas G. (Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania); Wasiak I. (Institute of Electrical Power Engineering, Republic of Poland); Zimmer K. (Electrotechnical Institute, Republic of Poland)

Journal was registered by the State Registration Service of the Ministry of Justice of Ukraine. Certificate of Registration KB no.19609-9409PR from 29.12.2012  
 Edition is included in the list of scientific professional publications of Ukraine by the Resolution of Presidium of HAC (Higher Attestation Commission) of Ukraine no. 1-05/6 from 16.12.2009 (technical sciences) and no. 1-05/2 from 10.03.2010 (economic sciences).  
 Journal is registered in the International Catalogue of periodicals Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat, research and metric systems Google Scholar, Polish Scholarly Bibliography, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI.  
 Published according to the Academic Council decision of the University from 29.12.2014, Protocol no. 6

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

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

Edition is being published since 1936:

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

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 621.313.13:[656.257-83:625.151.3]

С. Ю. БУРЯК<sup>1\*</sup>, В. И. ГАВРИЛЮК<sup>2\*</sup>, О. А. ГОЛОЛОБОВА<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел.+38 (056) 373 15 04, эл. почта bsyur@mail.ru, ORCID 0000-0002-8251-785x

<sup>2\*</sup>Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел.+38 (056) 373 15 04, эл. почта gvi\_dp@mail.ru, ORCID 0000-0001-9954-4478

<sup>3\*</sup>Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел.+38 (056) 373 15 04, эл. почта gololobova\_oksana@i.ua, ORCID 0000-0003-1857-8196

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ ЗАВИСИМОСТИ И СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СИГНАЛА В ЦЕПИ СТРЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**Цель.** Работа предполагает установление зависимости изменений во временной области и спектральной составляющих тока в цепи стрелочного электродвигателя переменного тока от его технического состояния. Требуется выделить общие признаки для одинаковых типов повреждений. При помощи анализа полученных сигналов необходимо провести дистанционное диагностирование и определение неисправностей и дефектов стрелочных электродвигателей, а также ускорить процесс поиска неисправностей, отказов и повреждений. Необходимо автоматизировать подход к обслуживанию удаленного напольного оборудованию автоматике, расположенного в габарите движения поездов. В исследовании предполагается разработать комплекс мероприятий по снижению угрозы жизни и здоровью обслуживающего персонала за счет уменьшения времени его пребывания в зоне движения поездов и уменьшению влияния человеческого фактора на результат обслуживания. **Методика.** В работе изучены строение, параметры и характеристики, особенности эксплуатации и обслуживания стрелочных электродвигателей переменного тока. Определены основные виды возможных повреждений в зависимости от условий процесса эксплуатации. Представлен электродвигатель как объект диагностирования. **Результаты.** Получены временные зависимости тока в цепи стрелочного электродвигателя для различных его состояний. Установлена связь между техническим состоянием стрелочного электродвигателя и показателями токовой кривой во временной и спектральной областях. Приведено обоснование выявленных отклонений от эталонного сигнала и сделан вывод из полученных результатов. **Научная новизна.** Предложен способ диагностирования состояния стрелочного электродвигателя переменного тока по временной зависимости и спектральному составу тока в его цепи. Применена схема подключения к обмоткам электродвигателя с учетом не нарушения электрических параметров схемы включения в реальных условиях эксплуатации. **Практическая значимость.** Полученные результаты позволяют говорить о возможности и целесообразности дальнейшего развития принципов дистанционного диагностирования на основании анализа временной и спектральной областей токовой кривой в цепи стрелочного электродвигателя. Реальным и рациональным является также внедрение и практическое применение полученных результатов в условиях эксплуатации в качестве самостоятельной системы сбора, анализа, обработки и передачи данных. Данная система делает возможным отслеживание изменений ключевых параметров и фор-

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

мирование предложений по мерам воздействия на ситуацию в реальном времени, а также возможность прогнозирования состояния объектов на основании определения зависимостей предыдущих изменений.

*Ключевые слова:* электродвигатель; электропривод; стрелка; анализ; диагностирование; временная зависимость; спектральный состав

### Введение

Железнодорожный транспорт представляет собой сложную систему, состоящую из различных служб, от точности взаимодействия которых обеспечивается непрерывность и безопасность перевозочного процесса. Железная дорога является опасным местом не только для пассажиров, но также и для самих работников железнодорожного транспорта. Оптимизация эксплуатационного процесса и реконструкция транспортных предприятий во многом приводит к уменьшению количества людей, занятых текущим обслуживанием и плановым ремонтом.

Руководством железнодорожного транспорта взят курс на достижение качественного уровня перевозок, не уступающего европейским странам, уже в ближайшем году [4]. Важная задача на пути усовершенствования перевозочного процесса, включающего увеличение плечей обращения, скоростей движения и весов перевозимого поездами груза, остается за обеспечением безопасности движения.

В настоящее время большую часть работы по обслуживанию оборудования, аппаратуры, механизмов и транспортных средств возлагают в основном на работников соответствующих служб железнодорожного транспорта. Это приводит к тому, что в связи с устранением одних подразделений, слиянием других и образованием новых в конечном итоге увеличивается общий объем работы, припадающий на одного работника. Вместе с возрастанием нагрузки возрастает и темп работы, поскольку в значительной степени повысились скорости движения. Так например, с введением в обращение моторвагонного состава Hyundai Rotem производства Южной Кореи, скорость движения которого на некоторых участках достигает 160 км/ч, работники железной дороги ощутили заметное сокращение времени на подготовку, поиск и устранение повреждений, если они возникают по маршруту следования данного поезда. В совокупности ситуация по обслуживанию и эксплуатации в целом усложняется еще и использованием устаревших методов и технологии ведения хозяйственной деятельности.

Качество движения поездов, как показывает практика, во многом еще зависит от своевременности и точности передаваемой информации, мгновенной реакции на поступившее сообщение и наличие аварийного запаса. Как говорилось ранее, в связи с появлением новых образцов подвижного состава скорости движения поездов значительно увеличились по сравнению с предыдущими годами. Это приводит к тому, что выполняя технологический процесс согласно графику обслуживания устройств и оборудования, работник железной дороги не имеет полномасштабной картины ситуации на вверенном ему в обслуживание участке. Зачастую сбои, неисправности, повреждения и отказы в работе устройств происходят по причине постепенного износа и естественного старения, а также некачественного или неполного обслуживания.

От работника железной дороги, занимающегося обслуживанием устройств и механизмов, требуется в настоящее время очень высокая оперативность выполнения данных работ. Высокая интенсивность нагрузки, степень ответственности, повышенный уровень внимания и частые стрессовые ситуации при этом становятся причиной накопления усталости и раздражительности. Человек, пребывающий в состоянии стресса, очень быстро морально и физически устает и, как результат, делает еще больше ошибок.

Работники службы сигнализации и связи несут ответственность в первую очередь за интенсивность и безопасность перевозочного процесса. Электрическая централизация, автоматическая блокировка и диспетчерская централизация позволили значительно повысить пропускную способность железной дороги, но при этом значительно увеличилось и число объектов обслуживания. Служащие выполняют осмотр, замену и ремонт согласно графику техпроцесса руководствуясь технологическими картами и инструкциями. При этом внеплановые работы часто становятся причиной сбоев в процессе технического обслуживания. Кроме того, в обязанности входит ведение и многочисленных журналов. В большинстве случаев все выполнение работ сводится к заполнению журналов и проводится только на

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

бумаге и не более. На напольном же оборудовании при этом выполняются исключительно ремонтные или восстановительные работы.

В противовес системе планово-предупредительного ремонта, которая существует со времен создания и начала эксплуатации уже устаревших систем регулирования движения поездов, необходимо разрабатывать и внедрять системы автоматизированного контроля и дистанционной диагностики устройств. Это позволит исключить возможность возникновения неисправностей по причине невыполнения графика техпроцесса или ошибок, неточностей, упущений и недочетов, порожденных человеческим фактором при выполнении технического обслуживания и контроля параметров.

### Цель

Для обеспечения оперативного реагирования на отказы и повреждения целесообразно внедрение систем, которые будут выполнять измерения параметров и сравнение их показателей в автоматизированном режиме, а также предоставлять данные в реальном времени. На основании наблюдений за изменениями показаний в течение определенного времени можно строить предположения о техническом состоянии объектов контроля, а также получать сведения о состоянии и режиме работы объекта диагностики. Это даст возможность прогнозировать отказы путем предупреждения неисправностей, вызванных постепенным износом, засорением, старением материалов, неправильной регулировкой и во многих других случаях не внезапных повреждений. В случае внезапного возникновения повреждения или отказа система автоматизированного контроля и диагностики позволит своевременно определить объект, место повреждения, зафиксировать момент времени его появления, возможные причины, а также предложить вариант действий работнику железной дороги. При этом запись в журнал о происходящих событиях с указанием даты и времени, даты и времени реакции на них сотрудников и о сроках выполняемых действий делается в автоматическом режиме.

Одним из наиболее уязвимых мест железной дороги являются стрелочные переводы. Ежедневная эксплуатация, смена погодных условий, естественное и вследствие рассыпания грузов загрязнение приводят к нарушению нор-

мального их функционирования. Работы по обслуживанию стрелочных переводов связаны с выходом в зону движения поездов, а поэтому несут опасность жизни и здоровью обслуживающему персоналу, так как существует вероятность наезда подвижного состава на работников, падения груза или его части в зону проведения работ.

Было бы целесообразно разработать такую систему диагностики и контроля состояния стрелочного перевода, которая бы минимизировала время пребывания в зоне движения поездов, необходимое работнику для устранения причины неработоспособности стрелки. Для этого требуется собирать информацию о стрелке до выхода ее из строя, чтобы на основании собранных данных судить о характере возможной поломки. Если к системе диагностики добавить и методику прогнозирования состояния на основании имеющихся данных, тогда можно добиться получения предупреждений о возможном выходе из исправного состояния до того, как это произойдет. Безусловным плюсом такой системы станет свободное планирование своих действий работником по устранению замечаний, составленных системой диагностики, на протяжении всего рабочего времени, что позволит ему выбирать наиболее подходящее время, свободное от движения поездов в зоне проведения работ. Кроме того, данное время сократится еще и за счет автоматизированного определения причины появления отказа.

### Методика

Автоматизация метода дистанционной диагностики стрелочного перевода сводится к определению признаков его исправного и неисправного состояний для дальнейшего сравнения в процессе эксплуатации данных, получаемых с работающих стрелок и показателей эталонных сигналов, взятых в качестве образца и записанных с исправной стрелки. При этом производится сравнение значений по нескольким показателям токовой кривой рабочей цепи электродвигателя, выбранного в качестве образца и исследуемого. Среди таких показателей особое значение имеют амплитуда и длительность перевода, по которым можно установить наличие препятствий движению остряков вследствие попадания посторонних предметов между остряком и рамным рельсом, или по

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

причине загрязнения при движении стрелки, затруднений в механической передаче усилия перевода стрелки, а также люфтов в местах соединения и неправильной регулировки узлов в местах крепления.

Для того, чтобы определить отличия во влиянии технического состояния стрелочного перевода на кривую тока, рассмотренного в предыдущей статье [6], и самого электродвигателя, рассмотрим теперь стрелочный электродвигатель переменного тока отдельно от стрелочного электропривода для определения диагностических признаков присущих исключительно ему.

В качестве опытного образца, на котором будем проводить исследования, выбираем стрелочный электродвигатель переменного тока МСТ-0,3 (машина стрелочная трехфазная мощностью 0,3 кВт), который устанавливают на стрелочных электроприводах типа СП-6 и более старых – типа СП-8.

Электродвигатель МСТ-0,3 имеет габаритные размеры 320×250×198 мм и массу 19,3 кг (рис. 1).

Электродвигатель рассчитан для работы при температуре от – 45 °С до + 55 °С, влажности не более 80 % при температуре + 20 °С в условиях вибрации с частотами 1–100 Гц при ускорении 1 g.

Средний срок службы электродвигателей составляет 20 лет. Гарантийный срок – 30 месяцев со дня ввода в эксплуатацию.

Электрические цепи изолированы друг от друга и от корпуса и должны выдерживать без пробоя и перекрытия испытательное напряжение 1 800 В частотой 50 Гц.

Сопротивление изоляции электрически изолированных участков монтажа электродвигателя относительно корпуса и между собой должно быть не менее 100 МОм в практически холодном состоянии и не менее 2 МОм – при повышенной влажности.

Фазные выводы обмотки статора выполнены проводом марки ПВГ на панель, которую крепят через изолирующую прокладку к корпусу электродвигателя. На панели расположены шесть зажимов на резьбе – по паре на фазную обмотку статора. Обмотки соединяют звездой или треугольником, в зависимости от того, на какое рабочее напряжение будет включен электродвигатель. Если обмотки соединить тре-

угольником, то на электродвигатель необходимо подавать напряжение 127 В, если звездой – 220 В. Схема соединений обмоток электродвигателя переменного тока представлена на рис. 2.

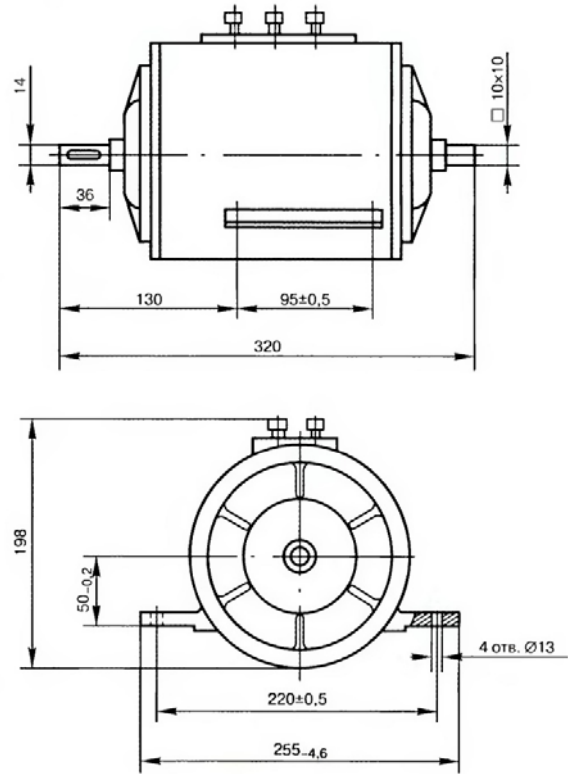


Рис. 1. Электродвигатель переменного тока типа МСТ-0,3

Fig. 1. AC electric motor of MST-0.3 type



Рис. 2. Схема соединений обмоток электродвигателя переменного тока

Fig. 2. Winding circuit of the AC electric motor

Сердечник статора электродвигателя типа МСТ-0,3 (рис. 3) собран из листов 1 электротехнической стали марки 1 311 толщиной 0,5 мм. Число пазов в сердечнике 36. В каждом пазу расположено по одной стороне двух секций 7 и 10 статора, изолированных друг от друга про-

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

кладкой 6 из электрокартона. Секции изолированы от сердечника прокладками 8 и 9 из лакоткани и электрокартона. Между секцией 10 и клином 5 из пластмассы (или дерева) также помещена прокладка 11 из электрокартона. Лобовые части обмотки статора изолируют лакотканью 4, киперной лентой 2 и закрепляют техническим шнуром 3. Обмотку подвергают пропитке электроизоляционным лаком МЛ-92. На выводы 12 обмотки надеты наконечники С1-С6.

Воздушный зазор между статором и ротором должен быть возможно меньшим в отличие от двигателя постоянного тока и варьируется в пределах от 0,25 до 0,39 мм. Это объясняется тем, что в бесколлекторном двигателе статор и ротор связаны между собой лишь через магнитный поток, создаваемый статором и пронизывающий ротор. Чем меньше воздушный зазор, тем меньше его магнитное сопротивление и, следовательно, лучше электромагнитная связь между статором и ротором.

Схема электрических соединений обмотки статора электродвигателя типа МСТ-0,3 приведена на рис. 4.

Ротор электродвигателя типа МСТ-0,3 (рис. 5) состоит из сердечника 4, насаженного на вал 3. Сердечник собран из листов той же марки и толщины, что и статор, – электротехническая сталь марки 1 311 толщиной 0,5 мм. Для изоляции листы с одной стороны покрывают лаком № 317, что способствует уменьшению потерь на вихревые токи. Он имеет 26 пазов полузакрытой формы. Полузакрытая форма паза по сравнению с закрытой позволяет несколько увеличивать пусковой момент и перегрузочную способность двигателя. Обмотка ротора 1 типа «беличья клетка» состоит из 26 стержней грушевидной формы и двух короткозамыкающих колец 2 сечением по 36 см<sup>2</sup> каждое, образуемых методом горячей заливки алюминием. Сердечник закрепляют от проворачивания относительно вала шпонкой 5. Длина ротора 90 мм.

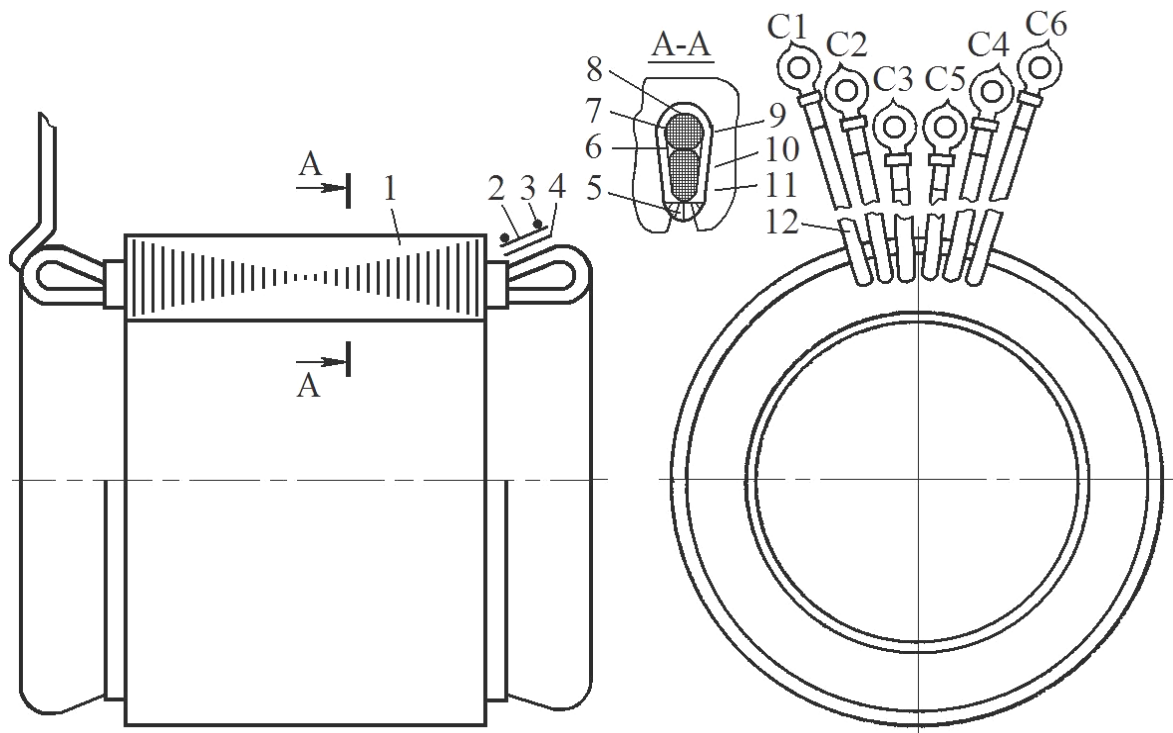


Рис. 3. Статор электродвигателя типа МСТ-0,3:

1 – листы электротехнической стали; 2 – киперная лента; 3 – технический шнур; 4 – лакоткань; 5 – комитет; 6 – прокладка из электрокартона; 7 – первая секция статора; 8 – прокладка из лакоткани; 9 – прокладка из лакоткани; 10 – вторая секция статора; 11 – прокладка из электрокартона; 12 – выводы обмотки с наконечниками С1-С6

Fig. 3. Stator of electric motor of MST-0.3 type:

1 – the electrical steel sheets; 2 – surgical tape; 3 – technical cord; 4 – the varnished cloth; 5 – committee; 6 – strip of electric-grade cardboard; 7 – the first section of the stator; 8 – the strip of varnished cloth; 9 – the strip of varnished cloth; 10 – the second section of the stator; 11 – strip of electric-grade cardboard; 12 – winding terminals with tag terminals C1-C6

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Подробно характеристики стрелочных электродвигателей переменного тока типа МСТ-0,3 были рассмотрены ранее [2, 3, 6], но сейчас следует заметить, что к характеристикам электродвигателя относятся пусковые характеристики, которые представляют собой отношение величины тока в цепи электродвигателя и момента на его валу во время пуска двигателя в ход к номинальным значениям этих величин при работе электродвигателя на номинальную нагрузку. Удовлетворительный пусковой момент в электродвигателе МСТ-0,3 достигнут повышением скольжения путем увеличения отношения активного сопротивления клетки ротора к индуктивному двигателю. Практическое повышение величины отношения активного сопротивления ротора к индуктивному сопротивлению статора и ротора осуществлено увеличением сечений сердечников статора и ротора и уменьшением сечений стержней ротора.

Электродвигатель типа МСТ-0,3 отличается невысокой кратностью пускового тока и удовлетворительной кратностью пускового момен-

та, которые находятся на уровне 2,3 и 2,5 соответственно [9, 10, 11].

Достижение таких пусковых характеристик позволяет прямое включение двигателя в сеть при номинальном напряжении.

Изучение диагностических признаков стрелочных переводов со стрелочными электроприводами переменного тока, на которых установлены электродвигатели типа МСТ-0,3, были рассмотрены в предыдущих статьях [3, 6]. Теперь исследуем наличие зависимости тока в обмотке электродвигателя от его технического состояния.

Прежде чем приступить к изучению диагностических признаков, присущих электродвигателям переменного тока, рассмотрим возможные случаи неисправностей, дефектов, повреждений и отказов в их работе.

Следует сразу же отметить то, что все возможные неисправности промышленных электродвигателей переменного тока касаются и стрелочных электродвигателей переменного тока.

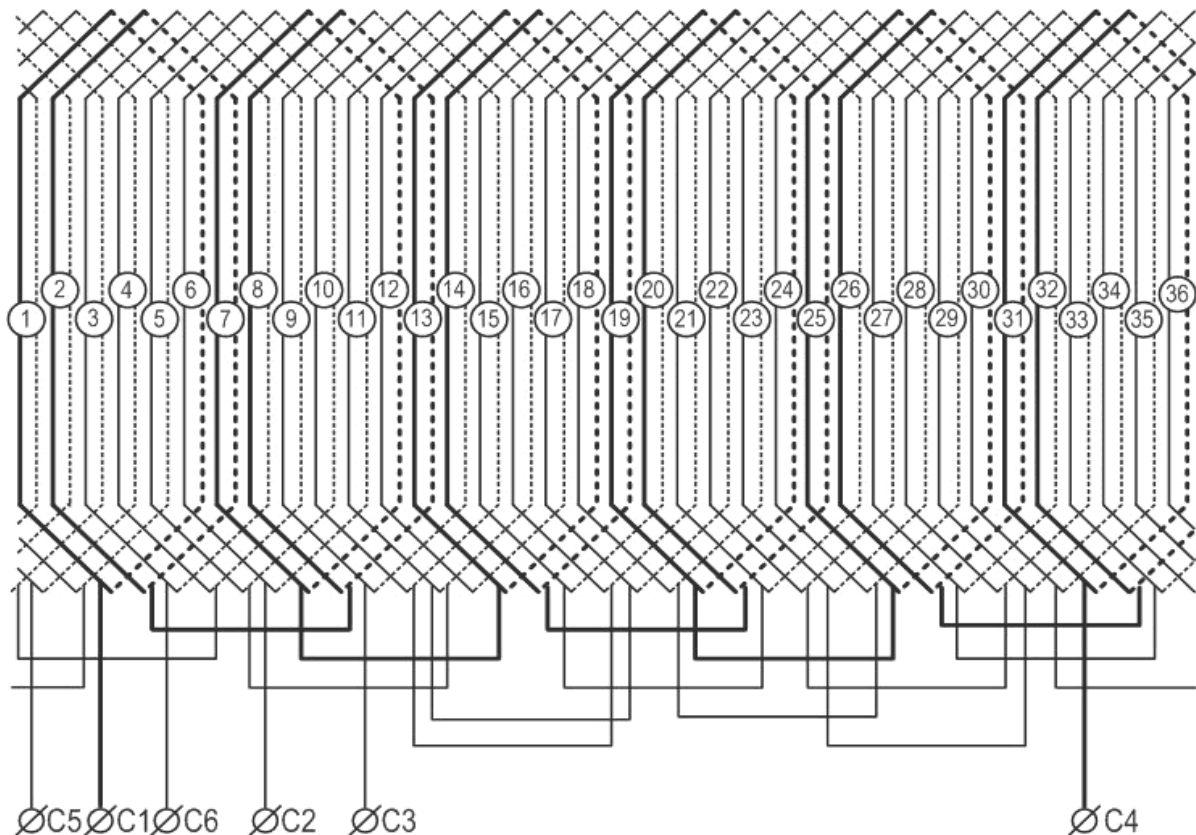


Рис. 4. Схема электрических соединений обмотки статора электродвигателя типа МСТ-0,3

Fig. 4. Electrical connection diagram of the stator windings connections of electric motor of MST-0,3 type

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

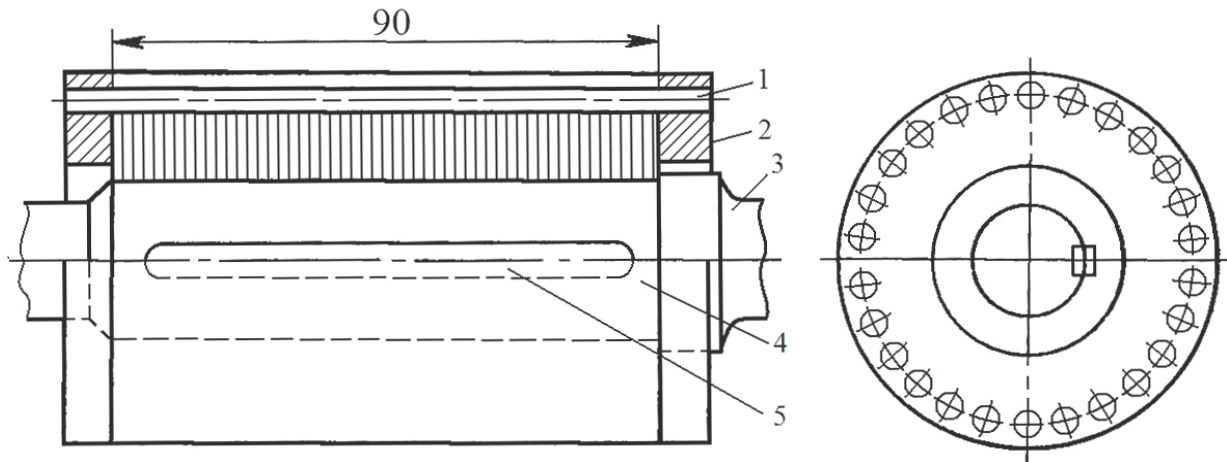


Рис. 5. Ротор:

1 – обмотка типа «беличья клетка»; 2 – замыкающее кольцо; 3 – вал; 4 – сердечник; 5 – шпонка

Fig. 5. Rotor:

1 – winding type a «squirrel cage»; 2 – lock ring; 3 – shaft; 4 – mandrel; 5 – dowel

При эксплуатации электродвигателей в них по разным причинам возникают неисправности, которые могут привести к нежелательным перерывам в работе. Для того чтобы такие перерывы возможно меньше сказывались на рабочем процессе, необходимо уметь быстро найти причину неисправности и устранить ее.

Необходимость в быстрейшем устранении повреждений обуславливается также и тем, что работа электродвигателя, имеющего небольшую неисправность, может привести к развитию ее в серьезное повреждение и возникновению необходимости выполнения более сложного ремонта.

Чтобы определить объем ремонта асинхронного электродвигателя, необходимо выявить характер его неисправностей. Неисправности асинхронного двигателя можно разделить на внешние и внутренние.

К внешним неисправностям относятся:

- обрыв одного или нескольких проводов, соединяющих асинхронный двигатель с сетью, или неправильное соединение;
- перегорание плавкой вставки предохранителя;
- неисправности аппаратуры пуска или управления, пониженное или повышенное напряжение питающей сети;
- перегрузка асинхронного двигателя;
- плохая вентиляция.

Внутренние неисправности асинхронного двигателя могут быть механическими и электрическими.

Механические повреждения:

- нарушение работы подшипников;
- деформация или поломка вала ротора;
- ослабление крепления полюсов или сердечника статора к станине; обрыв или сползание проволочных бандажей роторов;
- трещины в подшипниковых щитах или станине и др.

Электрические повреждения:

- межвитковые замыкания;
- обрывы в обмотках;
- пробой изоляции на корпус;
- старение изоляции;
- распайка соединений обмотки с коллектором;
- неправильная полярность полюсов;
- неправильные соединения в катушках и др.

Наиболее распространенные неисправности асинхронных электродвигателей приведены на рис. 6 в виде лепестковой диаграммы, где каждое ребро диаграммы соответствует определенному виду неисправности. Процент, который занимает тот или иной вид в общем числе неисправностей, соответствует длине отрезка на данном ребре, начало которого расположено в центре диаграммы.

Среди неисправностей особое место занимает перегрузка или перегрев статора электродвигателя, так как на него приходится около 31 % от общего числа появления неисправностей. Доля межвиткового замыкания при этом более чем в два раза меньше данного значения и составляет всего около 15 %.

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Неисправности от повреждения подшипников, а также по вине повреждения обмоток статора или изоляции находятся примерно на одном и том же уровне и составляют 12 % и 11 % соответственно.

Также мало отличаются по своим показателям часть неисправностей, относящаяся к неравномерному воздушному зазору между статором и ротором, которая составляет около 9 %, и работа электродвигателя на двух фазах в количестве 8 %.

К менее значительным относятся неисправности по причине обрыва или ослабления крепления стержней в беличьей клетке – 5 %, ослабления крепления обмоток статора – 4 %, дисбаланс ротора электродвигателя – 3 % и несоосность валов – 2 %.

Разберем некоторые причины, вызывающие появление неисправностей, и способы их устранения.

Если сердечник статора перегревается равномерно, то это вызвано повышенным напряжением сети. Для устранения перегрева необходимо снизить напряжение питания до номинального. Если же сердечник статора перегре-

вается местами, то это может быть свидетельством либо наличия заусениц, образовавшихся при обточке статора и замыкающих листы сердечника, либо задевания ротором статора при вращении. В таком случае заусеницы нужно удалить шабером, а ротор отцентрировать.

Перегрузка электродвигателя, заниженное напряжение сети, сообщение витков в обмотке статора, неправильное соединение выводных концов обмоток, короткое замыкание между фазами становятся причиной перегрева обмотки статора.

Плохой контакт между стержнями обмотки 1 (рис. 5) и короткозамыкающими кольцами 2 ротора вследствие разрыва стержня или его отрыва от кольца становится причиной плохого запуска в ход электродвигателя и перегрева ротора. Сопровождается данная неисправность тем, что двигатель при пуске не может развить номинальной частоты вращения и сильно гудит, вращающий момент понижен, ток в статоре пульсирует. В питающей сети возникнут колебания тока с частотой, равной частоте скольжения и колебания напряжения. При обрыве в короткозамкнутом роторе нескольких стержней пуск двигателя становится невозможным.



Рис. 6. Соотношение наиболее распространенных видов неисправностей асинхронных электродвигателей

Fig. 6. The ratio of the most common faults of induction motors

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Если же электродвигатель совсем не идет в ход, то это свидетельствует об обрыве в одной фазе статора при включении звездой [7]. При этом ток в двух других фазах завышен. Если обрыв произойдет во время работы электродвигателя, он перегрузится. При соединении обмотки в треугольник обрыв одной из фаз приведет к значительному превышению тока в проводнике между двумя другими фазами над пониженным током в проводниках, контактирующих с этой фазой. При обрыве в одной параллельной ветви повысится ток в других ветвях, что приведет к перегреву этих ветвей значительно больше остальных. При этом пуск двигателя возможен, но его мощность значительно снизится.

Работа двигателя на двух фазах недопустима, та как это приведет к выходу его из строя. Обмотка заторможенного двигателя на двух фазах перегревается со скоростью примерно  $7\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ .

Диагностическим признаком статического эксцентриситета ротора асинхронного двигателя традиционно служат величины дополнительных гармонических электродвижущих сил в токах и магнитных полях асинхронных двигателей, вызванные неравномерностью воздушного зазора. Появление эксцентриситета ротора в асинхронном двигателе приводит к значительному возрастанию величин ударного электромагнитного момента при прямом пуске электродвигателя. Это неблагоприятно влияет на сам двигатель и приводной механизм, снижая срок их службы. Признак того, что зазор в каких-то точках, в результате статического или динамического эксцентриситета, близок к нулю, можно считать появление в спектре тока одной из фаз асинхронного двигателя составляющей с частотой вращения ротора [1, 5].

Наиболее эффективными с точки зрения полноты данных представляются способы одновременного получения возможно полной информации о наличии дефектов на отключенном (статические испытания) и работающем (динамические испытания) двигателе [8]. Корреляция статических и динамических данных испытаний дает возможность оценить реальное техническое состояние двигателя и дать надежный прогноз его работоспособности.

При поврежденных стержнях ротора двигатель трогается с места при напряжении меньшем, чем исправный двигатель. Это и подтверждает наличие данной неисправности. При на-

личии короткозамкнутых витков в одной из фаз обмотки статора ротор начинает двигаться, наоборот, при большем напряжении, чем у исправного двигателя. Действительно, при наличии короткозамкнутых витков нарушается симметрия трехфазной обмотки и при протекании по ней тока создается также эллиптическое магнитное поле, но действующее со стороны статора, которое также можно разложить на два вращающихся в противоположные стороны поля. Обратно вращающееся поле создает во всем диапазоне скольжений тормозной момент, и поэтому результирующий электромагнитный момент уменьшается. В связи с этим для создания требуемого момента требуется большее напряжение.

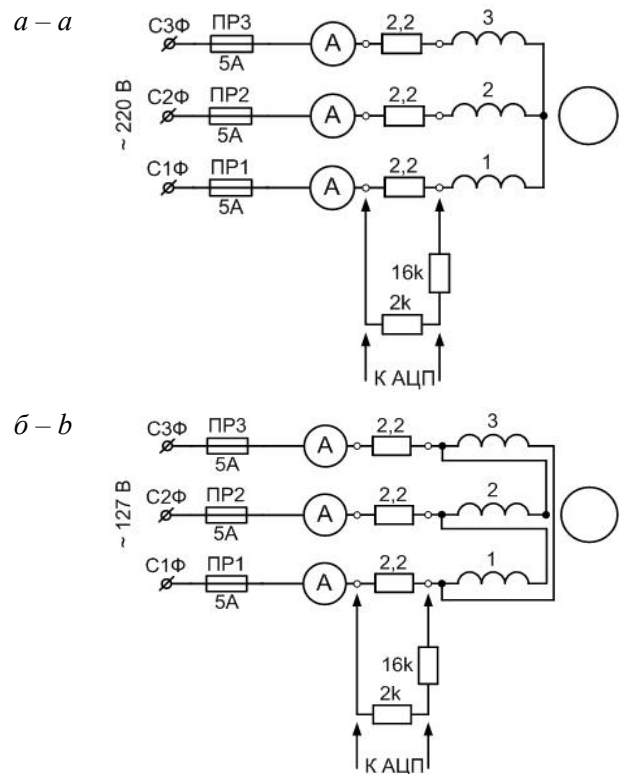


Рис. 7. Схема подключения измерительного устройства к электродвигателю:  
а – соединение обмоток звездой;  
б – соединение обмоток треугольником

Fig. 7. Connecting diagram of the measuring device to the electric motor:  
а – the star connection of the windings;  
б – the triangle windings connection

Для определения этих неисправностей предлагается расширение списка эталонных данных, кроме паспортных и величин холостого хода

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

и короткого замыкания, создает предпосылки для нахождения новых диагностических признаков повреждений в асинхронных двигателях. Целесообразно перед монтажом производственной установки зафиксировать на холостом ходу напряжение, при котором ротор трогается с места. Если двигатель начинает вращение при напряжении, меньшем величины эталонного, то это является диагностическим признаком разрыва одного или нескольких стержней ротора, при большем напряжении – наличия повреждения в обмотке статора или несимметрии подводимого напряжения [8].

Познакомившись со строением стрелочного электродвигателя переменного тока и рассмотрев возможные неисправности в его работе, которые являются общими для всех видов двигателей переменного тока с короткозамкнутым ротором [17–19], приступим к экспериментальному изучению реакции тока в цепи электродвигателя в режиме холостого хода в различных условиях для установления зависимости его значений от текущего технического состояния электродвигателя.

Схема для проведения измерений приведена на рис. 7. Измерения проводились при помощи аналого-цифрового преобразователя с использованием делителя напряжения. Путем поочередного подключения к сопротивлению 2,2 Ом, включенного в каждую из фаз питающей сети, производилась запись сигнала токовой кривой. Во время измерений изменялось направление вращения ротора путем изменения чередования фаз С2Ф и С3Ф. Эксперимент был проделан для подключения обмоток статора звездой (рис. 7, а) и повторен для случая подключения обмоток статора треугольником (рис. 7, б) с подключением к сети питания переменного тока напряжением 220 В и 127 В соответственно.

### Результаты

Первое испытание проводилось на исправном электродвигателе типа МСТ-0,3. К нему подключалось питание, как показано на рис. 7, а и 7, б.

Проведем анализ полученного сигнала во временной области [12, 13, 15]. Для этого воспользуемся пакетом MATLAB и восстановим сигнал при помощи команды `sptool` [16]. Результат измерений показан на рис. 8.

Как видно из кривой, которую описывает ток в цепи электродвигателя, чуть больше двух се-

кунд продолжается разгон ротора до номинальной частоты вращения. После этого ток резко уменьшается, что свидетельствует о достижении скольжения своего минимального значения, которое находится в пределах 0,2–0,5 %.

Явление значительного понижения тока можно также объяснить тем, что при холостом ходе в асинхронном двигателе имеют место те же электромагнитные процессы, что и в трансформаторе (обмотка статора аналогична первичной обмотке трансформатора, а обмотка ротора – вторичной обмотке). По обмотке статора проходит ток холостого хода, однако его значение в асинхронном двигателе столь малой мощности, как у исследуемого, очень незначительно.

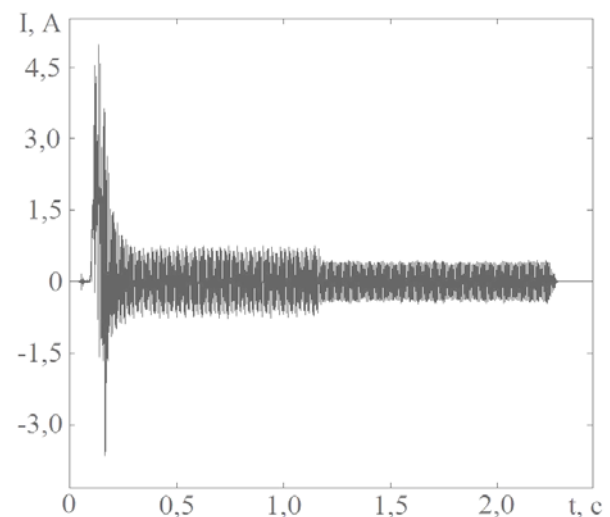


Рис. 8. Ток в электродвигателе в режиме холостого хода

Fig. 8. Current in the electric motor idling

Разложим данный сигнал на спектральные составляющие при помощи того же интерактивного инструмента обработки цифровых сигналов, который вызывается командой `sptool` в поле команд пакета MATLAB. Результат показан на рис. 9.

Как видно из рис. 9, для двигателя, не имеющего дефекты, в спектральном составе не присутствует ни одна из частот, которая бы превышала значение даже  $-120$  дБ.

Данные результаты, которые приведены на рис. 8 и 9, подобны для всех случаев сделанных измерений на исправных электродвигателях.

Для следующего измерения был выбран стрелочный электродвигатель с неисправным подшипником. Работа электродвигателя сопро-

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

вождалась рывками и характерным звуком трущихся поверхностей. Временная зависимость пуска двигателя в ход представлена на рис. 10.

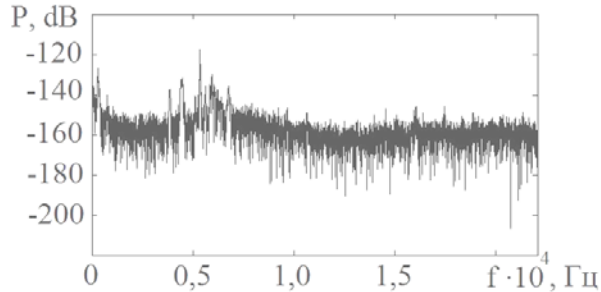


Рис. 9. Спектр тока в электродвигателе в режиме холостого хода

Fig. 9. The spectrum of the current in the motor idling

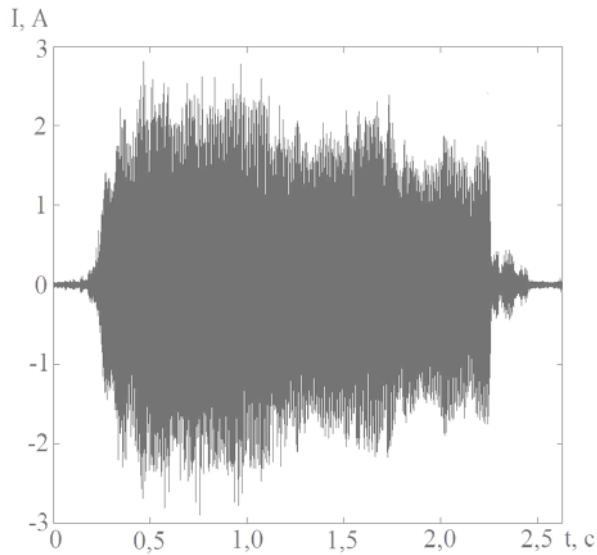


Рис. 10. Ток в электродвигателе в режиме холостого хода при повреждении подшипника

Fig. 10. The current in the motor idling during the bearing damage

Наблюдается явление значительного превышения тока в цепи электродвигателя при повреждении подшипника (рис. 10) относительно нормальной работы (рис. 8) за счет менее благоприятных условий трогания с места вала двигателя, из-за чего на преодоление усилия по удержанию вала неисправным подшипником развивается больший момент на валу и протекает больший ток в цепи электродвигателя.

Диагностирование эксцентриситета ротора на основе анализа амплитудно-частотной характеристики потребляемого тока проводилось искусственным созданием статического экс-

центриситета путем вставки в щель в месте выхода вала из крышки корпуса уплотнителя, чем нарушалась равномерность воздушного зазора между статором и ротором.

Для того, чтобы определить наличие в двигателе эксцентриситета ротора проведем спектральный анализ тока, протекающего в электродвигателе и сравним его со своим же спектральным анализом, но в исправном состоянии.

Полученные результаты приведены на рис. 11.

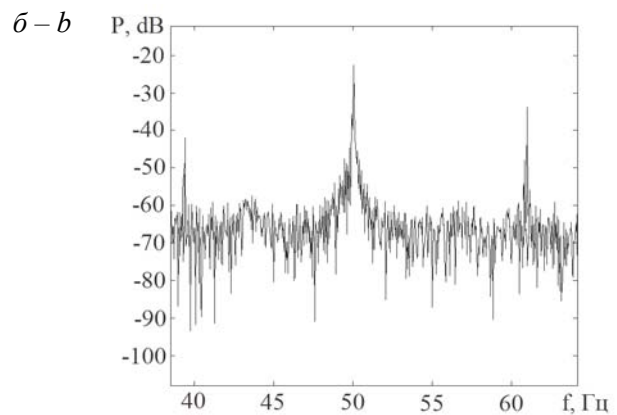
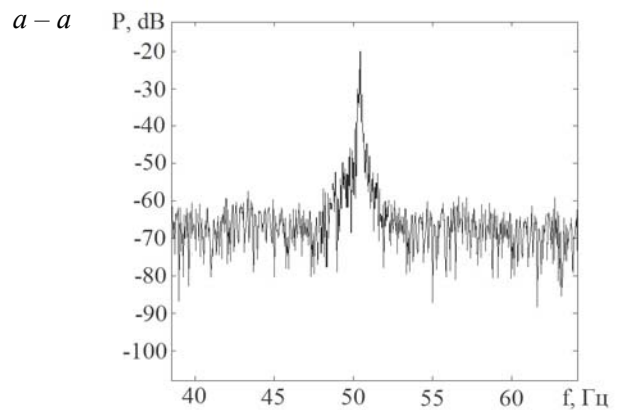


Рис. 11. Спектр тока в электродвигателе в режиме холостого хода с эксцентриситетом ротора:

*a* – исправный электродвигатель;  
*б* – неисправный электродвигатель

Fig. 11. Spectrum of the current in the electric motor idling with the eccentricity of the rotor:

*a* – exact electric motor; *b* – damage electric motor

Из рис. 11 становится ясно, что для одного и того же асинхронного электродвигателя спектральные составляющие будут отличаться в зависимости от его технического состояния. Так, на искусственную неисправность ток в цепи двигателя отреагировал появлением дополнительных всплесков возле основной гармонике 50 Гц.

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Полученные результаты позволяют сделать заключение о том, что диагностика состояния по токовой кривой имеет право на внедрение.

### Научная новизна и практическая значимость

Предложен способ диагностирования состояния стрелочного электродвигателя переменного тока по временной зависимости и спектральному составу тока в его цепи. Применена схема подключения к обмоткам электродвигателя с учетом не нарушения электрических параметров схемы включения в реальных условиях эксплуатации. Рассмотрены и проанализированы сигналы, полученные при работе исправных и неисправных стрелочных электродвигателей с выделением критериев оценивания их состояния по показателям токовых кривых.

Полученные результаты позволяют говорить о возможности и целесообразности дальнейшего развития принципов дистанционного диагностирования на основании анализа временной и спектральной областей токовой кривой в цепи стрелочного электродвигателя, а также о внедрении и практическом применении в условиях эксплуатации в качестве самостоятельной системы сбора, анализа, обработки и передачи данных с отслеживанием изменений ключевых параметров и выдвижением предложений по мерам воздействия на уже сложившуюся ситуацию, а также возможностью прогнозирования состояния объектов на основании определения зависимостей предыдущих изменений.

На основании применения системы автоматизированного диагностирования состояния электродвигателя как составной части стрелочного перевода можно частично начать преобразовывать систему планово-предупредительного ремонта, которая в настоящее время развития высоких технологий морально и принципиально, в большинстве случаев, устарела. К тому же, для того, чтобы на должном уровне осуществлять техническое обслуживание устройств автоматики, в частности стрелочных электродвигателей, необходим качественно новый подход к способу ведения хозяйственной деятельности. В первую очередь это касается своевременности реакции работников на возникающие неисправности, которую не может обеспечить существующий график технологического процесса. Немаловажным в этом во-

просе остается устранение такого негативного момента, как человеческий фактор.

Только внедрение системы с использованием автоматизированного диагностирования состояния объектов позволит с некоторой достоверной вероятностью говорить о их текущем состоянии на данный момент времени, а не на момент выполнения последней проверки.

### Выводы

Во время проведения эксперимента была установлена зависимость между техническим состоянием стрелочного электродвигателя и током в обмотке статора. Различные отклонения в параметрах электродвигателя от норм вследствие не соблюдения технического процесса обслуживания и ремонта или внезапно возникшего повреждения или отказа оказывают непосредственное влияние на временную зависимость и спектральную составляющую тока в цепи электродвигателя.

Применение системы автоматизированного диагностирования параметров стрелочных электродвигателей в комплексе с системой диагностирования состояния стрелочных переводов способно существенно повысить качество проведения контроля и обслуживания с уменьшением времени пребывания работников в зоне движения поездов, повысить точность выполняемых работ по контролю параметров, снизить время поиска неисправностей, а также предоставлять данные о текущем состоянии объекта диагностирования и прогнозировать его дальнейшие изменения.

На железных дорогах Украины в последние годы активно внедряется скоростное движение поездов. При этом большая работа проводится в направлении достижения большей экономической эффективности. В связи с этим проводится оптимизация деятельности предприятий путем их реструктуризации. Но добиться высоких экономических показателей без развития материально-технической базы и повышения качества ее эксплуатации невозможно. Усовершенствование процесса техобслуживания и порядка ведения хозяйственной деятельности предусматривают отказ от системы планово-предупредительного ремонта и устранение человеческого фактора путем внедрения систем, выполняющих дистанционный автоматизированный контроль и диагностирование в режиме реального времени.

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ влияния величины эксцентриситета ротора асинхронного электродвигателя на пиковое значение электромагнитного момента при прямом включении в сеть / Ю. Г. Осадчук, А. Б. Сёмочкин, В. А. Федотов, Д. А. Шкурко // Наука, освіта і практика / Криворожский технический университет. – Кривой Рог, 2011. – Вип. 1 (1). – С. 264–265.
2. Буряк, С. Ю. Математичне моделювання стрілочного електроприводу / С. Ю. Буряк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 34. – С. 172–175.
3. Буряк, С. Ю. Mathematical modeling of AC electric point motor / С. Ю. Буряк // Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту. заліз. трансп. – 2014. – №. 2 (50). – С. 7–20.
4. Гендиректор «Укрзалізниці»: Залізниці вже наступного року вийдуть на європейський рівень [Електронний ресурс]. – Режим доступа: [http://www.uz.gov.ua/press\\_center/ukrainian\\_railways\\_in\\_mass\\_media/387064/](http://www.uz.gov.ua/press_center/ukrainian_railways_in_mass_media/387064/). – Загл. с экрана. – Проверено : 08.08.2014.
5. Диагностирование эксцентриситета ротора асинхронного двигателя по среднеквадратичной величине дополнительных гармонических токов статора [Электронный ресурс] / А. Н. Новожилов, Е. В. Крюкова, Н. А. Исупова [и др.] // СибАК. Науч.-практ. конф. уч. и студ. с дистанционным участием. Коллективные монографии. – Режим доступа: <http://sibac.info/10949>. – Загл. с экрана. – Проверено : 20.08.2014.
6. Исследование диагностических признаков стрелочных электроприводов переменного тока / С. Ю. Буряк, В. И. Гаврилюк, О. А. Гололобова, А. М. Безнарытний // Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту. заліз. трансп. – 2013. – № 4 (52). – С. 7–22.
7. Мандыч, Н. К. Ремонт электродвигателей : пособие электромонтеру / Н.К. Мандыч . – Киев : Техника, 1989. – 152 с.
8. Новые методы диагностики асинхронных двигателей [Электронный ресурс] / А. И. Титко, В. М. Андриенко, А. В Худяков, М. С. Гуторова // Ин-т электродинамики НАН Украины. – 2014. – Режим доступа: [http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/PIED\\_2014\\_37\\_13.pdf](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/PIED_2014_37_13.pdf). – Загл. с экрана. – Проверено : 24.08.2014.
9. Резников, Ю. М. Электроприводы железнодорожной автоматики и телемеханики / Ю. М. Резников. – Москва : Транспорт, 1985. – 288 с.
10. Системы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира / [Энрико Андерс, Томас Берндт, Игорь Долгий и др.] ; под ред. Грегора Теера, Сергея Власенко. – Москва : Интекст, 2010. – 488 с.
11. Сороко, В. И. Автоматика, телемеханика, связь и вычислительная техника на железных дорогах России: Энциклопедия : в 2 т. Т. 1 / В. И. Сороко, В. М. Кайнов, Г. Д. Казиев. – Москва : НПФ «Планета», 2006. – 736 с.
12. Chaparro, Luis F. Signals and Systems Using MATLAB. / Luis F Chaparro. – Pittsburgh : Academic Press is an imprint of Elsevier, 2011. – 752 p.
13. Corinthios, M. Signals, Systems, Transforms, and Digital Signal Processing with MATLAB / Michael Corinthios. – Boca Raton : CRC Press Taylor & Francis Group, 2009. – 1316 p.
14. Development of a tool to detect faults in induction motors via current signature analysis [Электронный ресурс] / W. T Thomson., M. Fenger, I. Culbert, G. Stone // Electric Motor Predictive Maintenance Conference. – 2002. – Режим доступа : <http://www.irispower.com/pdf/newtechpapers/Development%20of%20a%20tool%20to%20detect%20faults%20in%20induction%20motors%20via%20Current%20Signature%20Analysis.pdf>. – Загл. с экрана. – Проверено : 24.08.2014.
15. Leis, J. W. Digital Signal Processing Using MATLAB for Students and Researchers / John William Leis. – New Jersey : John Wiley & Sons, 2011. – 382 p.
16. MathWorks. Accelerating the pace of engineering and science. Documentation. Signal Processing Toolbox. Waveforms. Signal Generation [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.mathworks.com/help/signal/ref/sptool.html>. – Загл. с экрана. – Проверено : 24.08.2014.
17. Thomson, W. T. A Review of On-Line Condition Monitoring Techniques for Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motors-Past Present and Future / W. T Thomson // Keynote address at IEEE Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives. – Gijon, 1999. P. 3–18.
18. Thomson, W. T. Motor current signature analysis to detect faults in induction motor drivers - fundamentals? Data interpretation? And industrial case histories [Электронный ресурс] / W. T. Thomson, R. J. Gilmore // Proc. of the thirty second turbomachinery symposium. – 2003. – Режим доступа: <http://turbolab.tamu.edu/proc/turboproc/T32/t32-16.pdf>. – Загл. с экрана. – Проверено : 24.08.2014.

С. Ю. БУРЯК<sup>1\*</sup>, В. І. ГАВРИЛЮК<sup>2\*</sup>, О. О. ГОЛОЛОБОВА<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел.+38 (056) 373 15 04, ел. пошта bsyur@mail.ru, ORCID 0000-0002-8251-785x

<sup>2\*</sup>Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел.+38 (056) 373 15 04, ел. пошта gvi\_dp@mail.ru, ORCID 0000-0001-9954-4478

<sup>3\*</sup>Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел.+38 (056) 373 15 04, ел. пошта gololobova\_oksana@i.ua, ORCID 0000-0003-1857-8196

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСОВОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ТА СПЕКТРАЛЬНОГО СКЛАДУ СИГНАЛА В КОЛІ СТІЛОЧНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ЗМІННОГО СТРУМУ

**Мета.** Робота передбачає встановлення залежності змін в часовій області та спектральної складової струму в ланцюзі стрілочного електродвигуна змінного струму від його технічного стану. Необхідним є виділення загальних ознак для однакових типів ушкоджень. За допомогою аналізу отриманих сигналів потрібно провести дистанційне діагностування та визначення несправностей і дефектів стрілочних електродвигунів, а також прискорення процесу пошуку несправностей, відмов і пошкоджень. Необхідно автоматизувати підхід до обслуговування віддаленого напільного обладнання автоматики, розташованого в габариті руху поїздів. У дослідженні передбачається розробка комплексу заходів із зниження загрози життю та здоров'ю обслуговуючого персоналу за рахунок зменшення часу його перебування в зоні руху поїздів і зменшення впливу людського фактора на результат обслуговування. **Методика.** У роботі вивчено будову, параметри й характеристики, особливості експлуатації та обслуговування стрілочних електродвигунів змінного струму. Визначено основні види можливих пошкоджень в залежності від умов процесу експлуатації. Подано електродвигун як об'єкт діагностування. **Результати.** Отримано часові залежності струму в ланцюзі стрілочного електродвигуна для різних його станів. Встановлено зв'язок між технічним станом стрілочного електродвигуна та показниками кривої струму в часовій і спектральній областях. Наведено обґрунтування виявлених відхилень від еталонного сигналу і зроблено висновок із отриманих результатів. **Наукова новизна.** Запропоновано спосіб діагностування стану стрілочного електродвигуна змінного струму з часової залежності й спектрального складу струму в його ланцюзі. Застосована схема підключення до обмоток електродвигуна з урахуванням вихідних електричних параметрів схеми включення в реальних умовах експлуатації. **Практична значимість.** Отримані результати дозволяють говорити про можливість і доцільність подальшого розвитку принципів дистанційного діагностування на підставі аналізу тимчасової та спектральної областей кривої струму в ланцюзі стрілочного електродвигуна. Реальним і раціональним є також впровадження та практичне застосування отриманих результатів в умовах експлуатації в якості самостійної системи збору, аналізу, обробки та передачі даних. Дана система уможливіє відстеження змін ключових параметрів і формування пропозицій щодо заходів впливу на ситуацію в реальному часі, а також можливість прогнозування стану об'єктів на підставі визначення залежностей попередніх змін.

*Ключові слова:* електродвигун; електропривод; стрілка; аналіз; діагностування; часова залежність; спектральний склад

S. YU. BURYAK<sup>1\*</sup>, V. I. HAVRILIUK<sup>2\*</sup>, O. O. HOLOLOBOVA<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel.+38 (056) 373 15 04, e-mail bsyur@mail.ru, ORCID 0000-0002-8251-785x

<sup>2\*</sup>Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel.+38 (056) 373 15 04, e-mail gvi\_dp@mail.ru, ORCID 0000-0001-9954-4478

<sup>3\*</sup>Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, 49010, tel.+38 (056) 373 15 04, e-mail gololobova\_oksana@i.ua, ORCID 0000-0003-1857-8196

## STUDY OF TIME DEPENDENCE AND SPECTRAL COMPOSITION OF THE SIGNAL IN CIRCUIT OF AC ELECTRIC POINT MOTORS

**Purpose.** The paper is aimed to establish the dependence of changes in the time domain and spectral components of the current in the circuit of the AC electric point motor on its technical condition, to identify the common features for the same type of damage. It is necessary using the analysis of the received signals to carry out the remote diagnosis and determination of faults and defects of electric point motors. In addition it suggested to accelerate the process of the failure, malfunction and damage search. Authors propose the automated approach to the service of remote floor automation equipment, which is located in the envelope of trains. Reduction of the threat to life and health of staff by reducing the residence time in the zone of train movement. Reduce the impact of human factors on the result of service. **Methodology.** The paper studies the structure, parameters and characteristics, the operation and maintenance characteristics of the AC electric point motors. Determination of the main types of possible faults in the process depending on the operating conditions. Presentation of the electric motor as an object of diagnosis. **Findings.** The time dependences of the current in the circuit of electric point motor for its various states was obtained. The connection between the technical condition of electric point motor and the performance of current curve in time and spectral domains was established. The revealed deviations from the reference signal were justified. According to the obtained results it was made the conclusion. **Originality.** A method for diagnosing the state of the AC electric point motor by the time dependence and the spectral composition of the current in its circuit was proposed. The connection diagram to the motor windings based on non-infringement of electric parameters of connection circuit in the actual operating conditions was applied. **Practical value.** The obtained results suggest the possibility and feasibility of further development of the principles of remote diagnosis based on the analysis of temporal and spectral domains of the current curve in the circuit of the AC electric point motor. The implementation and practical application in operation as a separate system for the collection, analysis, processing and data communication is also real and rational. The given system makes possible tracking the changes in key parameters and forming the proposals on impact measures on the existing situation, as well as the ability to predict the state of the objects on the basis of the dependency determination of the previous changes.

*Keywords:* electric motor; switch; turnout; analysis; diagnosis; time-dependence; spectral composition

### REFERENCES

1. Osadchuk Yu.G., Semochkin A.B., Fedotov V.A., Shkurko D.A. Analiz vliyaniya velichiny ekscentrisiteta rotora asinkhronnogo elektrodvigatelya na pikovoye znacheniye elektromagnitnogo momenta pri pryamom vklucheni v set [Analysis of the impact of the magnitude of the eccentricity of the rotor induction motor on the peak of electromagnetic torque for direct inclusion in the network]. *Nauka, osvita i praktika. Krivorozhskiy tekhnicheskyy universitet* [Science, education and practice]. Kryvyi Rih, 2011, issue. 1 (1), pp. 264-265.
2. Buriak S.Yu. Matematychnye modeliuвання strilochnoho elektroprivodu [Mathematical modeling of electric switch mechanism]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 34, pp. 172-175.
3. Buryak S.Yu. Mathematical modeling of AC electric point motor. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 2 (50), pp. 7-20.
4. *Hendyrektor «Ukrzaliznytsi»: Zaliznytsi vzhe nastupnoho roku vyidut na yevropeyskyi riven* (Railways next year will reach the European level). Available at: [http://www.uz.gov.ua/press\\_center/ukrainian\\_railways\\_in\\_mass\\_media/387064/](http://www.uz.gov.ua/press_center/ukrainian_railways_in_mass_media/387064/) (Accessed 08 August 2014).

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

5. Novozhilov A.N., Kryukova Ye.V., Isupova N.A., Novozhilov T.A., Nikitin K.I. Diagnostirovaniye eksstentsiteta rotora asinkhronnogo dvigatelya po srednekvadrachnoy velichine dopolnitelnykh garmonicheskikh tokov statora (Diagnosing the eccentricity of the induction motor rotor on the rms value of the additional harmonic currents of the stator). *SibAK. Nauchno-prakticheskiye konferentsii uchenykh i studentov s distantsionnym uchastiyem. Kollektivnye monografii - Seebach. Scientific and practical conference of scientists and students with remote participation. Collective monographs*. Available at: <http://sibac.info/10949> (Accessed 20 August 2014).
6. Buryak S.Yu., Gavrilyuk V.I., Gololobova O.A., Beznarytnyy A.M. Issledovaniye diagnosticheskikh priznakov strelchnykh elektroprivodov peremennogo toka [Diagnostic features research of AC electric point motors]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 4 (52), pp. 7-22.
7. Mandych N.K. *Remont elektrodvigatelyey* [Repair of electric motors]. Kyiv, Tekhnika Publ., 1989. 152 p.
8. Titko A.I., Andriyenko V.M., Khudyakov A.V., Gutorova M.S. Novyye metody diagnostiki asinkhronnykh dvigatelyey (New methods of induction motors diagnosis). Available at: [http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/PIED\\_2014\\_37\\_13.pdf](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/PIED_2014_37_13.pdf) (Accessed 24 August 2014).
9. Reznikov Yu.M. *Ėlektroprivody zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [Electric drives of railway automatics and remote control]. Moscow, Transport Publ., 1985. 288 p.
10. Enriko Anders, Tomas Berndt, Igor Dolgiy. *Sistemy avtomatiki i telemekhaniki na zheleznikh dorogakh mira* [Railway of Signalling & Interlocking. International Compendium]. Hamburg, Intekst Publ., 2010. 488 p.
11. Soroko V.I., Kaynov V.M., Kaziyev G.D. *Avtomatika, telemekhanika, svyaz i vychislitel'naya tekhnika na zheleznikh dorogakh Rossii. Tom 1* [Automation, remote control, communications and computing equipment on Russian railways. Vol. 1]. Moscow, NPF «Planeta» Publ., 2006. 736 p.
12. Chaparro Luis F. *Signals and Systems Using MATLAB*. Pittsburgh, Academic Press is an imprint of Elsevier Publ., 2011. 752 p.
13. Corinthios Michael. *Signals, Systems, Transforms, and Digital Signal Processing with MATLAB*. Boca Raton, CRC Press Taylor & Francis Group Publ., 2009. 1316 p.
14. Thomson W.T., Fenger M, Culbert I., Stone G. Development of a tool to detect faults in induction motors via current signature analysis. Electric Motor Predictive Maintenance Conference. Available at: <http://www.irispower.com/pdf/newtechpapers/Develop-ent%20of%20a%20tool%20to%20detect%20faults%20in%20induction%20motors%20via%20Current%20Signature%20Analysis.pdf> (Accessed 24 August 2014).
15. Leis John William. *Digital Signal Processing Using MATLAB for Students and Researchers*. New Jersey, John Wiley & Sons Publ., 2011. 382 p.
16. MathWorks. Accelerating the pace of engineering and science. Documentation. Signal Processing Toolbox. Waveforms. Signal Generation. Available at: <http://www.mathworks.com/help/signal/ref/sptool.html> (Accessed 24 August 2014).
17. Thomson W.T. A Review of On-Line Condition Monitoring Techniques for Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motors. Past Present and Future. Keynote address at IEEE Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives. Gijon, 1999, pp 3-18.
18. Thomson W.T., Gilmore R.J. Motor current signature analysis to detect faults in induction motor drivers - fundamentals, Data interpretation, And industrial case histories. Proc. of the thirty second turbomachinery symposium, 2003. Available at: <http://turbolab.tamu.edu/proc/turboproc/T32/t32-16.pdf> (Accessed 24 August 2014).

*Статья рекомендована к публикации д.физ.-мат.н., проф. В. И. Гаврилюком (Украина); д. физ.-мат. н., проф. А. В. Коваленко (Украина)*

Поступила в редколлегию: 20.08.2014

Принята к печати: 23.10.2014

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

УДК 338.48 (477)

Л. В. МАРЦЕНЮК<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Економіка та менеджмент», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (093) 934 18 03, ел. пошта gwinform1@rambler.ru, ORCID 0000-0003-4121-8826

### НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ВНУТРІШНЬОГО ТУРИЗМУ В УКРАЇНІ

**Мета.** Кожна з країн світу велику увагу приділяє розвитку туризму в своїй країні, тому що значну частину надходжень до бюджету складають саме доходи від надання туристичних послуг. Україна зіштовхнулася з проблемою суттєвого зниження обсягів туристичних потоків, старіння основних фондів, відсутності інвестицій на їх оновлення. Мета статті полягає в розробці оптимального механізму управління туристичними потоками, обґрунтуванні необхідності розвитку в'їзного та внутрішнього туризму. **Методика.** Теоретичну та методологічну основу дослідження становлять системний аналіз проблем забезпечення конкурентоспроможності туристичної галузі у сфері пасажирських залізничних перевезень, теоретичні положення економічної науки в галузі ефективності внутрішнього та в'їзного туризму й управління туристичними потоками. **Результати.** Автором розроблено удосконалений механізм управління туристичними потоками, який відрізняється від існуючого розширенням сфери послуг туристам на території України. Запропоновано аналіз розвитку в'їзного та внутрішнього туризму, відновлення вузькоколіївок, а також створення спеціальних туристичних поїздів. У результаті виконання поставлених завдань мають бути досягнуті наступні результати: 1) підвищення частки сфери туризму та курортів у структурі валового внутрішнього продукту до рівня розвинених країн; 2) доведення кількості працівників сфери туризму та курортів до рівня розвинених країн; 3) збільшення загальної кількості номерного фонду в готелях та інших сертифікованих засобах розміщення до рівня розвинутих країн; 4) створення ефективної системи моніторингу якості наданих туристичних послуг відповідно до адаптованого світового досвіду; 5) створення привабливого інвестиційного клімату для широкого залучення інвестицій у розвиток туристичної, інженерно-транспортної та комунальної інфраструктури; 6) підвищення безпеки туристів, забезпечення дієвого захисту їх прав, законних інтересів і збереження майна. **Наукова новизна.** Автором наведено теоретичне узагальнення й нове вирішення наукової задачі. Вони виявляються в розробці теоретичних та методологічних підходів до обґрунтування організації туристичних перевезень залізничним транспортом, та активізації робіт із реалізації проекту щодо відновлення ефективного функціонування гірських залізниць колії шириною 750 мм в Карпатському регіоні України з подальшими можливостями приєднання до розгалуженої міжнародної туристичної мережі. **Практична значимість.** Рационально застосовані заходи відповідно до запропонованих автором напрямків управління туристичними потоками дозволять суттєво підвищити надходження до бюджету країни від внутрішнього туризму.

*Ключові слова:* туризм; туристичний потік; туристичний маршрут; туристичний поїзд; вузькоколіївка

#### Вступ

Наша країна займає одне з провідних місць в Європі за рівнем забезпеченості цінними природними та культурними ресурсами. Зокрема, ми маємо такі об'єкти Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО, як Собор Святої Софії та прилеглі

монастирські споруди, Києво-Печерська Лавра, ансамбль історичного центру Львова, пункти Геодезичної дуги Струве, дерев'яні церкви Карпатського регіону, біосферний заповідник «Асканія-Нова» та інші. Саме тому створення системних і комплексних умов для поширення ту-

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ризму, зміцнення курортів має стати одним з пріоритетів забезпечення сталого розвитку як регіонів, так і держави в цілому.

Потрібно відмітити, що згідно із Законом України «Про туризм» [8] держава проголошує туризм одним із пріоритетних напрямів розвитку економіки та культури і створює умови для туристичної діяльності.

### Методика

Туризм – один із напрямків ефективного розвитку територіальних громад, поповнення місцевого бюджету. За офіційними даними, 9 відсотків світового ВВП припадає саме на туризм.

Враховуючи, що залізничний транспорт не лише найбільш придатний для забезпечення комфортного пересування чисельних груп людей, а й найбільш доступний за вартістю проїзду, потрібно розглянути перспективу його застосування для переміщення вітчизняних та закордонних екскурсантів.

Переваги залізниці при обслуговуванні вітчизняних та закордонних туристів очевидні. Серед головних – можливість прямувати в будь-яку погоду, доступність у високогірні райони. Тому розробка умов для розвитку залізничного туризму в прикордонних місцевостях Західної України – досить актуальна науково-практична задача [5].

На жаль, в цей час інфраструктура вузькоколійки знаходиться у занедбаному стані, потребує значних оновлень і капітальних ремонтів за причиною фінансування цієї залізниці протягом понад двох десятиліть за остаточним принципом. Але, принаймні, маршрути слідування пасажирських поїздів лишаються придатними для участі у проекті розвитку залізничного туризму України.

Багаті природно-рекреаційні ресурси Закарпатського регіону – лікувальні мінеральні води, лісові, ландшафтні, гідрологічні, спелеологічні ресурси, об'єкти природного заповідного фонду використовуються далеко не повною мірою. У тому числі й через слабку комунікаційну доступність перспективних для освоєння в туристично-рекреаційних цілях територій та незадовільний стан виробничо-транспортної інфраструктури туристично-рекреаційного комплексу в гірських районах. Ото ж, одним із головних завдань ефективного використання конкурентних переваг туристичної галузі Карпатсь-

кого регіону є забезпечення доступності до мережі спеціалізованих об'єктів профільної інфраструктури. У тому числі й вузькоколіїною залізницею, якою одночасно можуть скористатися великі групи туристів [1].

Стратегія розвитку сфери туризму і курортів України на період до 2022 року спрямована на вирішення проблем комплексного розвитку сфери туризму, готельного господарства, курортів, санаторно-курортного обслуговування, підтримки створення та модернізації туристичної інфраструктури, забезпечення належної якості туристичних та курортних послуг, ефективного використання наявного туристичного потенціалу.

В Україні сфера туризму і курортів не відіграє належної ролі у формуванні сприятливої макроекономічної динаміки та доходах бюджету. На міжнародному туристичному ринку національний туристичний продукт та природні лікувальні ресурси України оцінюються як менш привабливі і конкурентоспроможні, ніж в інших країнах.

Щорічно Україну відвідують близько двадцяти мільйонів в'їзних (іноземних) туристів, в тому числі з організованою метою – лише близько мільйона осіб. В останні роки зафіксовано зменшення в'їзного організованого потоку на 10 % [6].

Це свідчить про панування деструктивних тенденцій на ринку туристичних послуг України, переважання неорганізованих поїздок у загальній структурі відвідувань.

Україна програє в конкурентній боротьбі, відстаючи від провідних держав світу за рівнем розвитку туристичної інфраструктури в 5–15 разів. Найбільш відчутне відставання спостерігається за показниками забезпеченості населення готельними послугами, кількості зайнятих у туризмі на 1 000 громадян, кількістю трудових витрат на купівлю права проживання у готелі та ін. Темпи та структура розвитку сфери туризму і курортів України не відповідають сучасним вимогам [7].

Провідні держави світу за допомогою комплексу спеціальних заходів державної підтримки та стимулювання активно сприяють розвитку внутрішнього та в'їзного туризму з огляду на кілька причин. У сучасному глобалізованому світі провідні держави світу дали належну оцінку неабияким перевагам туристичної галузі.

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Туризм сприяє зростанню зайнятості (в тому числі у так званих проблемних регіонах), диверсифікації економіці (оскільки сфера туризму і курортів пов'язана з роботою більш як 50 галузей), підвищує інноваційність національного господарства. Туризм сприяє збереженню і розвитку культурного потенціалу, веде до гармонізації відношень між різними країнами і народами, збереженню екологічно безпечного довкілля. Крім того, туризм є одним із чинників реалізації зовнішньої політики держави [3].

При цьому, згідно з розрахунками Всесвітньої туристичної організації (WTO), одна грошова одиниця, вкладена у розвиток сфери туризму, готельного господарства і курортів, забезпечує мультиплікативний ефект зростання доданої вартості на суму від 4 до 6 грошових одиниць (за рахунок задіяння потенціалу суміжних галузей).

За даними Всесвітньої туристичної організації, починаючи з 1990 р. обсяги доходу від міжнародного туризму зростають в середньому на 9 % на рік, а кількість міжнародних туристів – на 4 %.

Частка туризму у світовому валовому національному доході складає близько 10 %, а на долю міжнародного туризму припадає 8 % загального обсягу світового експорту та біля 30 % світової торгівлі послуг [2].

Позитивний розвиток сфери туризму і курортів може стати вагомим чинником прискорення економічного зростання, підтримки зайнятості, структурної модернізації економіки, наповнення бюджетів всіх рівнів.

### Мета

Метою досліджень роботи є створення умов для забезпечення прискореного розвитку сфери туризму і курортів, перетворення її у високо-ефективну, інтегровану у світовий ринок галузь на основі широкого використання інноваційних технологій обслуговування споживачів (надання послуг) з використанням адаптованих світовим досвідом механізмів взаємодії держави, бізнесу (роботодавців) та споживачів.

Задля розвитку в'їзного туризму необхідно: створити умови для прискореного розвитку сфери туризму і курортів з використанням механізмів державної підтримки, запровадити належні економічні і правові умови для залучення інвестицій у розбудову сучасної туристичної інфраструктури, стимулювання створення у сфе-

рі туризму і курортів нових економіко-організаційних утворень; оновити основні фонди готелів, санаторіїв, пансіонатів, інших засобів розміщення, створення та просування нових туристичних маршрутів.

Метою роботи також є обґрунтування організації туристичних перевезень залізничним транспортом, обґрунтування активізації робіт з реалізації проекту щодо відновлення ефективного функціонування гірських залізниць колії, шириною 750 мм, в Карпатському регіоні України, з подальшими можливостями приєднання до розгалуженої міжнародної туристичної мережі.

Відновлення та ефективне функціонування гірських залізниць, шириною 750 мм, в Карпатському регіоні – економічно необхідний проєкт. Його впровадження надасть можливість територіальним громадам гірських районів наблизити до кожної оселі всі принади цивілізації і, як наслідок, зупинити міграційні процеси, викликані безробіттям.

### Результати

У світі є дуже вдалі приклади організації туристичних маршрутів із використанням залізничного транспорту. Наприклад, Конканська залізниця в Індії, яка проходить вздовж узбережжя Конкав. Мандрівники можуть насолодитися приголомшливими видами: пляжами Аравійського моря, бурхливими водоспадами і далекими горами. А ось у Канаді туристи можуть проїхатися на всесвітньо відомому розкішному поїзді, який проходить в денний час через красу дикої Західної Канади і є кращим способом помилуватися величчю Канадських Скелястих гір.

В Індонезії туристам пропонують проїхати вздовж чайних плантацій, рисових полів, каскадних струмків і пасторальних сілець на поїзді Арго Герді від Джакарти до Бандунга.

У Швейцарії пропонують унікальну екскурсійну поїздку по кільцевому маршруту по сучасній зубчастій залізниці. Перший пункт – гірський перевал Клайн-Шайдег, розташований на висоті 2 061 метрів, біля підніжжя відомого північного схилу гори Ейгер. Звідси залізниця «Юнгфрау» піднімається на станцію Ейгерглетшер, відому своїм гірським рестораном і псарнею, в якій утримуються полярні собаки. Подальший маршрут пролягає через тунель Айгер до станцій Айгерванд і Айсмір, на кожній з яких поїзд затримується на п'ять хвилин. Ту-

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ристи можуть насолодитися захоплюючими краєвидами, які відкриваються через великі вікна спостереження, висічені в твердих альпійських скелях. А потім поїзд прибуває в Юнгфрауїох, в саме серце чудового крижаного світу. Чудові види простягаються аж до вершин гір Вогези у Франції та Шварцвальду в Німеччині. З Юнгфрауїох починається Великий льодовик, довжиною 22 кілометри, який є найдовшим крижаним потоком в Альпах і Вершиною Європи. У Швейцарії також користується популярністю у туристів Льодовиковий Експрес, що перетинає віадук Ландвассер. Експрес доходить з міста Церматт в місто Давос або Санкт-Моріц приблизно за сім годин. Під час подорожі поїзд перетинає 291 місто, 91 тунель і проїжджає через перевал Оберальп в найвищій його точці, на висоті 2 033 метрів. У Південно-Африканській Республіці Ровос Рейлі – приватна залізнична компанія пропонує до послуг туристів поїзда-готелі.

Залізниця Куранда-Сценик в Австралії «змійється» вгору по гірському масиву Макалістер. Тропічні сади залізничної станції Куранда є відомою пам'яткою. Спускаючись вниз по схилу, залізничні колії «прорізають» Національний парк Баррон-Гордж. Туристичний поїзд зупиняється біля майданчика, з якого відкривається захоплюючий вид на водоспад Баррон. Проїжджаючи далі за маршрутом, можна побачити цілий ряд дрібніших водоспадів, які знаходяться всього в декількох метрах від маршруту поїзда.

Залізниця Ла-Мюр у Франції – одна з кращих туристичних залізниць в Європі. Туристам відкриваються захоплюючі види на греблі, озера і гірські пейзажі [13].

А ось в Нью-Йорку великим попитом у туристів користується «навісний» парк Хай Лайн. Ще вчора надземна залізниця, що проходила через індустріальні квартали Манхеттена, носила фатальну назву «авеню смерті». Сьогодні це зелена артерія, яка стрілою мчить через все місто. Американці розробили один із перших прикладів урбанізації промзони, який до цього часу залишається самим унікальним проектом у всьому світі: паркова зона розташовується на мосту і повністю повторює маршрут залізниці. Безумовно, масштабна реконструкція навколишніх трущоб і занедбаного моста вимагає чималих затрат. Але отриманий результат вартий кожного centa з 50 мільйонів доларів, витрачених на цей проект. Робота, виконана авторами

парку, демонструє ідеальне поєднання історичних цінностей та новітніх технологій в галузі дизайну [12].

Можна відзначити ще декілька унікальних залізниць світу. Так, продовольчий ринок у Маеклонге в Таїланді розташований на залізничних коліях. Кілька разів на день крамарі швидко упаковують свої продуктові лотки і опускають нависи, щоб пропустити поїзди. Після того, як через ринок проносяться поїзди, ящики з їжею повертають в початкове положення і покупці знову ходять по рейках, які служать проходом через ринок.

Залізнична коля Нейпір-Гисборн в Новій Зеландії унікальна тим, що перетинає головну злітно-посадкову смугу Гісборнського аеропорту. Потяги змушені зупинитися і запитувати у диспетчерській повітряного руху дозвіл на проїзд для перетину злітно-посадкової смуги і подальшого маршруту по лінії. Є ще вдалі приклади туристичних залізниць. Широко відомим є «Поїзд в хмари», який експлуатують на залізницях Аргентини. Залізниця знаходиться на висоті, що перевищує 4 220 метрів над рівнем моря, це третя за висотою залізниця в світі. Залізнична лінія проходить через 29 мостів, 21 тунель, 13 віадуків, 2 спіралі та 2 зигзаги. Через рішення проектувальників не використовувати систему передачі за допомогою зубчастої рейки і шестерні для тяги, маршрут мав бути розроблений таким чином, щоб уникнути крутих схилів. Зигзаги дозволяють поїзду підніматися, проїжджаючи вліво і вправо паралельно схилу гори.

Успішно працює і Тайсько-Бірманська залізниця, також відома як «Дорога Смерті» – це 415-кілометрова залізниця між Бангкоком, Таїландом і Рангуном. Більше 100 000 працівників померли під час будівництва цієї залізниці. Поїзд огинає збоку прямовисні скелі і проходить по декількох тендітних дерев'яних мостах.

Залізнична станція «Gyeonghwa» в південно-корейському районі Чінхе, де ростуть 340 000 вишневих дерев, під час свого цвітіння є досить популярною серед туристів.

Залізниця Монтенвер з'єднує станцію Шамоні, що розташована на висоті 1 035 метрів над рівнем моря, і станцію Монтенвер, розташовану на висоті 1 913 метрів. Ця станція розташована в безпосередній близькості від найбільшого льодовика на території Франції Мер де

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Глас і саме цей фактор зумовлює як саме виникнення цієї залізниці, так і величезну популярність у туристів. Замість звичних двох рейок тут їх три. Третя рейка зубчаста. Саме з її допомогою головний вагон за допомогою зубчастого колеса приводить у рух потяг. Шлях поїзда пролягає по лісистих гірських схилах.

### Наукова новизна та практична значимість

З метою розвитку туризму необхідно стимулювати розвиток об'єктів туристичної інфраструктури, розрахованих на масового споживача з цілорічним відвідуванням, перш за все, в історичних містах, а також в межах національних історичних, історико-культурних та архітектурних заповідників.

Під час планування об'єктів інфраструктури необхідно врахувати необхідність розвитку допоміжних служб у місцях масового перебування туристів (пункти невідкладної медичної допомоги, інформаційні туристичні центри, зони відпочинку, туалети, пункти телефонного та електронного зв'язку, магазини сувенірної продукції тощо) [4].

Важливим елементом просування національного туристичного продукту є створення центрів туристичної інформації – спеціалізованих установ, обладнаних сучасною технікою, які можуть у стислі терміни надати туристам та іншим подорожуючим корисну інформацію про туристичний потенціал України, а також певні послуги.

Фінансове забезпечення поставлених завдань повинно здійснюватися за рахунок: державного бюджету України, обласних бюджетів, місцевих бюджетів, власних коштів підприємств та організацій, коштів міжнародних організацій, в тому числі грантів, залучення приватних, в тому числі іноземних, інвестицій [11].

В результаті виконання поставлених завдань мають бути досягнуті такі результати: підвищення частки сфери туризму і курортів у структурі валового внутрішнього продукту (ВВП) до рівня розвинутих країн (не менше 6 %); доведення кількості працівників сфери туризму і курортів до рівня розвинутих країн (8 працівників на 1 000 населення); збільшення загальної кількості номерного фонду у готелях та інших сертифікованих (акредитованих) засобах розміщення до рівня розвинутих країн (не менше

6 номерів на 1 000 населення); створення ефективної системи моніторингу (аудиту) якості надаваних туристичних послуг відповідно до адаптованого світового досвіду; створення привабливого інвестиційного клімату для широкого залучення інвестицій у розвиток туристичної, інженерно-транспортної та комунальної інфраструктури, підвищення безпеки туристів, забезпечення дієвого захисту їхніх прав, законних інтересів і збереження майна.

У цій роботі вперше сформульовані базові положення теорії стратегічного управління туристичними перевезеннями в умовах акціонування залізничного транспорту з урахуванням його конкурентоспроможності на ринку транспортних послуг, появи приватних залізничних туроператорів, можливості використання існуючих ліній вузької колії у приватній власності, що дозволить забезпечити попит населення України та Європи у більш дешевих туристичних перевезеннях та отримати додаткові надходження до бюджету країни.

Практична значимість роботи полягає у:

- створенні ефективного механізму державної підтримки розвитку сфери туризму і курортів, у тому числі шляхом запровадження практики державно-приватного партнерства;
- поширенні практики взаємних консультацій між державою (в особі відповідних органів), бізнесом (в особі відповідних громадських організацій та організацій роботодавців) та споживачами (в особі відповідних громадських організацій та спілок захисту прав споживачів), в тому числі в рамках соціального діалогу;
- збереженні об'єктів національної наукової і культурно-історичної спадщини, які одночасно використовуються як об'єкти туристичного показу, формування біля цих об'єктів необхідної туристичної інфраструктури.

### Висновки

Задля розвитку туристичних залізничних подорожей потрібно комплексно організувати роботу, в тому числі спрямовувати зусилля на оновлення вузькоколійок лісгосподарсько-го комплексу Закарпаття.

Якщо згадати історію, то потрібно взяти Декрет «Про організацію лісової служби на Закарпатській Україні», який був ухвалений 12 січня 1945 року, що підготував уповноважений Народною Радою Закарпатської України (НРЗУ)

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

з питань ресорту (відділу) у справах лісового господарства Микола Цуперяк. Відповідно до цього документа, «все рухоме і нерухоме державне майно на території Закарпатської України, яке знаходиться або віддане під управління Уповноваженого НРЗУ у справах лісового господарства, у тому числі всі ліси, землі, склади, дерева, лісопильні заводи, лісові залізниці, водні споруди на сплав дерева, інвентар тощо переходять під керівництво управи чотирьох Дирекцій державних лісів з осідком в Ужгороді, Мукачеві, Буштинська й Рахові, безпосередньо підпорядкованих Уповноваженому НРЗУ у справах лісового господарства».

30 серпня 1945 року Народною Радою Закарпатської України (НРЗУ) приймається рішення «Про впорядкування оперативного керівництва лісовим господарством». На території краю організували 11 ліспромгоспів (Ужгородський, Дубриницький, Жорновський, Свалявський, Кушницький, Буштинський, Хустський, Усть-Чорнянський, Великобичківський, Рахівський та Ясінянський), що об'єднувалися у трест «Закарпатліспром». Одним із найголовніших завдань створених ліспромгоспів було відновлення роботи вузькоколіїних лісових залізниць, зруйнованих відступаючими угорськими військами.

В цілому на час звільнення території області у непрацюючому стані через підірвані мости, зруйновані підпірні стінки, демонтовані рейки знаходилось 550 км вузькоколіїних шляхів. Про високі темпи відновлюваних робіт на вузькоколіїних шляхах свідчить те, що станом на 1 жовтня 1945 року стали до ладу 450 км вузькоколіїних залізниць, експлуатувалось 27 паровозів та 409 вагонів.

Одночасно з відбудовою залізничних колій та інфраструктури лісових залізниць було відновлено й роботу Перечинської, Тересвянської та Свалявської паровозо-вагоноремонтних майстерень.

Сезон лісосплаву – весна й літо 1956 року – виявився останнім. Керівник Мінлісдеревпрому СРСР Орлов після відвідин Канади й ознайомлення з тамтешньою технологією вивезення деревини з лісових масивів, прийняв рішення припинити сплав лісу на підприємствах, що входили до трестів «Закарпатліспром», «Прикарпатліспром», «Чернівецькліспром». Однак сьогодні, коли Закарпатська область відчула на собі катастрофічні наслідки повеней, все більш

очевидною є та велика водорегулююча роль, яку відігравали споруджені у верхів'ях гірських рік греблі та продиктована сплавом необхідність постійного регулювання русла, у тому числі й шляхом спорудження й утримання дерев'яних кашиць, які надійно захищали береги річок від розмивання.

Лісові вузькоколіїки, зокрема Усть-Чорнянська, «пережили» лісосплав трохи більше, ніж на сорок років. Ця вузькоколіїка була найпотужнішою з поміж інших. Загальна протяжність її колій сягала 252,7 км, експлуатаційна – 226 км. З найвіддаленіших дільниць деревину доставляли 11 паровозів, 9 тепловозів, 2 мотовози. Потужним був і вагонний парк, який нараховував близько 340 вагонів різних типів. Прикро, що зруйнована листопадним 1998 року паводком Усть-Чорнянська лісова залізниця, започаткована австрійською фірмою у 1887 році, подолавши 120-річний рубіж, припинила існування.

У квітні 1894 року на річці Тарасівка пройшов паводок, який повністю зруйнував споруджену всього три роки до того ділянку вузькоколіїки Тарасівка-Підплеша. До її відновлення приступили аж через 47 років – у 1941. Тож, можливо, не все ще втрачено й колись знову, як у 30-х роках минулого століття, туристи отримають можливість милуватись чудовими видами наших гір, не виходячи з вагона «лісового трамваю»?

*Розбудова лісових вузькоколіїок у 50-ті – 60-ті роки.* У 1950 році наказом Укрліспапрпрому було встановлено категорії вузькоколіїних залізниць. Із одинадцяти діючих на той час лісових вузькоколіїок найвища – I категорія була присвоєна Перечинській, Свалявській, Кушницькій, Тересвянській, Богданській та Великобичківській вузькоколіїним залізницям. II категорію отримала Лютянська вузькоколіїка, III – Жорнавська, Хустська, Лазищинська (Ясінянського ліспромгоспу) та Вовчанська Свалявського ліспромгоспу.

Упродовж 1951 року ліспромгоспами було вивезено на нижні склади 1 240 тис. м<sup>3</sup> деревини. Левова частка з цієї кількості була перевезена вузькоколіїками.

Серед амбітних проектів цього періоду найбільш помітними стали пошукові роботи й завершення проектування транспортного освоєння Єремінського лісного масиву Великобич-

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ківського ліспромгоспу та відновлення вузькоколіїної залізничної вітки «Оса» Свалявського ліспромгоспу. Що стосується першого проекту, то його необхідність була викликана тим, що в лісових масивах Середньої Ріки Кобилецько-Полянського лісопункту Великобичківського ліскокомбінату, де запас стиглих лісів на той час складав 279,3 тис. м<sup>3</sup>, на відстані 12 км від вузькоколіїної будь-які шляхи транспортування деревини були відсутні.

Що стосується проекту відновлення вузькоколіїної залізничної вітки «Оса» Свалявського ліспромгоспу протяжністю 10 км, що примикала до однойменної станції широкої колії Львівської залізниці, то її вантажообіг складав 17 тис. м<sup>3</sup> деревини в рік. При цьому вартість кубометра при перевезенні вузькоколіїною знижувалась із 8,30 крб (як це було за кінної вивозки) до 0,75 крб.

У розширенні мережі вузькоколіїнок помітним етапом став 1955 рік. Зокрема, до планів капітального будівництва було включено спорудження Перечинським ліскокомбінатом 18-кілометрового відрізка вузькоколіїної в урочище Лумшори.

В той час також було реконструйовано вітку на Туря-Полян, швидкими темпами прокладено вузьку колію від Туря – Ремети до Лумшор. Було продовжено і колію Свалявської вузькоколіїної та вузькоколіїної Усть-Чорнянського ліскокомбінату.

Ясінянському ліскокомбінату було видано планові завдання на продовження 4-кілометрової вітки «Козьмешик» з тим, щоб довести загальну протяжність колій на цьому підприємстві до 22 км. В обґрунтуванні необхідності спорудження цієї вузькоколіїної головний наголос робився на тому, що через значну заболоченість цієї місцевості вивезення деревини для подальшого її сплаву є неможливим. Обґрунтування економічної ефективності базувалося на тому, що перевезення кубометра деревини на цю відстань гужовим транспортом коштувало 13,62 крб, в той час, коли вартість перевезення при використанні мотозавозу складала всього 0,40 крб.

У другій половині 50-х років значна увага приділялась освоєнню лісових масивів Рахівщини. За підсумками наради Наказом Мінліспромгоспу було виділено 240 тонн рейок на оновлення вузькоколіїнок.

1 січня 1960 року на вузькоколіїнках «Закарпатлісу» нараховувалось 96 локомотивів та

1 507 вагонів загальною вантажопідйомністю 15 638 тонн. Загальна протяжність вузькоколіїних ліній становила 1 013 км., експлуатаційна – 935,3 км.

У розрізі ліскокомбінатів ситуація виглядала так. Найбільш потужною, як і в попередні роки, залишалася вузькоколіїнка Усть-Чорнянського ліскокомбінату, де загальна протяжність залізничних колій становила 242,1 км. Другою за протяжністю колій, розгорнута довжина яких складала 147 км, експлуатаційна – 135 км, була вузькоколіїнка Свалявського ліскокомбінату. Вузькоколіїнка Дубриницького ліскокомбінату хоча й переважала Рахівську, за розгорнутою довжиною колій – 134 км, проте уступала їй за кількістю тягового й рухомого складу. П'яту сходинку за довжиною колій – 107 км – займала вузькоколіїнка Кушницького ліскокомбінату. Майже такі ж потужності мала й вузькоколіїнка Буштинського ліскокомбінату, де протяжність усіх колій становила 104 км. Що стосується вузькоколіїнок Великобичківського та Ясінянського ліскокомбінатів, то протяжність їх колій становила відповідно 50 та 21,8 км.

Перші ознаки поступового скорочення об'ємів вивезення деревини вузькоколіїними залізницями на той час уже тресту «Закарпатліс» стали помітними у 1963 році.

З передачею лісгоспів до управління тресту «Закарпатліс», та створення на їх базі 14 ліскокомбінатів, відбувся широкий розмах лісовозних автодоріг. Щороку будувалося 125–135 км доріг з твердим покриттям.

У зв'язку з необхідністю термінової розробки вітровальної деревини, особливо активне будівництво автодоріг здійснювалось у 1965 році. Значна частина доріг споруджувалась на території Ясінянського ліскокомбінату (в урочищах Марковець, Околи, Станіслав, Багенський, Довжана, Лопушанка, Свидовець, Ковалівка, Манівлянка та ін.). Загалом за короткий період тут було відновлено 60 і заново споруджено 58 км доріг. Незважаючи на це, вузькоколіїна залізниця на цьому підприємстві продовжувала відігравати помітну роль у вивезенні вітровальної деревини. Зокрема, із вивезених у 1964 році близько 200 тис. м<sup>3</sup> деревини, 45,2 тис. м<sup>3</sup> перевезено вузькоколіїною, 154 тис. м<sup>3</sup> – автолісовозами.

Зважаючи на інтенсивне будівництво автодоріг, у 1966 році довжина вузькоколіїнок ско-

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ротилася: загальна – із 1 013 до 951,5 км, експлуатаційна – із 935,3 до 510 км. Найбільш відчутно за цей період скоротилась загальна протяжність лісових вузькоколійок: у Свалявському лісокомбінаті – із 147 до 18, Дубриницькому – із 143,7 до 59, Великобичківському – із 50 до 27 км. На вивезення деревини автомобілями повністю перейшли Жорнавський, Перечинський, Буштинський, Ужгородський, Хустський та Міжгірський лісокомбінати.

*Лісові вузькоколійки у 70-80-х роках ХХст.* Початок 70-х років у лісовій галузі був позначений не лише структурними змінами, але й розбудовою низки нових виробництв. З січня 1966 року, у зв'язку з ліквідацією Радноргоспів, трест «Закарпатліс» увійшов до системи новоствореного Міністерства лісової, целюлозно-паперової і деревообробної промисловості УРСР. Це був період, коли розпочали роботу потужні меблеві комплекси у Свалявському лісокомбінаті та Тересвянському деревообробному комбінаті, кожен з яких виробляв меблів на суму 12 млн крб в рік.

Що стосується вивезення деревини, то починаючи з 1970 року, її кількість не перевищувала 1 500 тис. м<sup>3</sup> щорічно. Зокрема, у 1970 році ця цифра становила 1 414 тис. м<sup>3</sup>.

Основна кількість деревини – 1 000 тис. м<sup>3</sup> була вивезена автомобільним транспортом. На той час паровози й тепловози на вивезенні деревини працювали лише у 6 лісокомбінатах – Усть-Чорнянському, Рахівському, Кушницькому, Дубриницькому, Буштинському та Тересвянському. Загалом вузькоколійками було вивезено близько 400 тис. м<sup>3</sup> деревини. У той же час, починаючи з 1970 року, питання розбудови вузькоколійок практично «випадають» з перспективних планів роботи тресту «Закарпатліс». Зокрема, у вжитих заходах з організації виробництва і комплексного використання сировини на 1970–1975 року немає жодного пункту, який би стосувався вузькоколійок [9].

На сьогодні, задля розвитку внутрішнього та в'їзного туризму необхідно відновити існуючі та побудувати нові вузькоколійки, розробити та побудувати спеціальний рухомий склад, так звані «туристичні поїзди» для різних категорій населення, розробити маршрути подорожей, оновити інфраструктуру готельного та харчового бізнесу, побудувати оглядові майданчики, забезпечити підготовку та навчання кваліфіко-

ваних кадрів, розробити низку рекламно-інформаційних заходів задля залучення українських та іноземних туристів.

Розпочати цю роботу бажано у Закарпатському регіоні, адже саме тут є багато пам'яток архітектури, історії та мистецтва. Наприклад, у туристів буде можливість відвідати замки (Паланок, Невицький, Сент-Миклош, Шенборна, Канков, Ужгородський, Довжанський, Хустський, Бронецький, Мінта), костьоли (Св. Мартина, Св. Єлизавети, Вознесенський, Реформаторський), церкви (Реформаторська, Струковська, Успенська, Святодуховська, Св. Михайла, Ільїнська, Св. Параскеви), монастирі (Свято-Миколаївський, Францисканський), заповідники (Карпатський біосферний), винні підвали, печери, мінеральні джерела, гейзери, бювети, оленеві та страусині ферми, сироварні, водоспади (Шипот, Крутило, Труфанець, Войоводин, Скакало, Городилів, Кам'янка), музеї (лісосплаву, соляних копій, народної архітектури, дерев'яних церков), озера (Синевір, Кунигунда), термальні басейни, долину нарцисів, і навіть побачити, де розташований географічний центр Європи!

При цьому потрібно забезпечити закріплені Конституцією України права громадян на відпочинок, свободу пересування, відновлення і зміцнення здоров'я, на безпечне для життя і здоров'я довкілля, задоволення духовних потреб та інших прав; безпеку туризму, захист прав та законних інтересів туристів, інших суб'єктів туристичної діяльності та їх об'єднань, прав та законних інтересів власників або користувачів земельних ділянок, будівель та споруд; збереження цілісності туристичних ресурсів України, їх раціональне використання, охорону культурної спадщини та довкілля, врахувати державні і громадські інтереси при плануванні та забудові територій; створити сприятливі умови для розвитку індустрії туризму та підтримки пріоритетних напрямів туристичної діяльності.

Основними пріоритетними напрямами державної політики в галузі туризму повинні стати: удосконалення правових засад регулювання відносин у галузі туризму; забезпечення становлення туризму як високорентабельної галузі економіки України, заохочення національних та іноземних інвестицій у розвиток індустрії туризму, створення нових робочих місць; розвиток в'їзного та внутрішнього туризму; роз-

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ширення міжнародного співробітництва, утвердження України на світовому туристичному ринку; створення сприятливих для розвитку туризму умов шляхом спрощення та гармонізації податкового, валютного, митного, прикордонного та інших видів регулювання [10].

Для розвитку залізничних туристичних перевезень потрібно передбачити Програмами розвитку як на загальнодержавному, так і на регіональному рівнях: формування малих залізниць, побудову спеціалізованого рухомого складу для туристичних поїздів, приведення відповідно до вимог інфраструктури для використання туристичних поїздів розробку механізму сумісного управління туристичними маршрутами державних та приватних підприємств.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абдуразакова, Я. М. Современный международный туризм: тенденции и перспективы / Я. М. Абдуразакова. – Вестн. АГТУ. Сер. : Экономика. – 2010. – № 2. – С. 159–166.
2. Биржаков, М. Б. Индустрия туризма: перевозки / М. Б. Биржаков, В. И. Никифоров. – Санкт-Петербург : Герда, 2007. – 528 с.
3. Марценюк, Л. В. Вплив залізничного транспорту на економіку України / Л. В. Марценюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 42. – С. 274–278.
4. Марценюк, Л. В. Механізм створення проекту з відкриття ферми в контексті розвитку сільського туризму / Л. В. Марценюк, Т. В. Тесленко, Ю. М. Проскурня // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 4 (52). – С. 43–51.
5. Марценюк, Л. В. Основні засади розвитку транспортного туризму в Україні / Л. В. Марценюк // Наука та прогрес трансп. Вісн.

6. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № (5) 47. – С. 24–32.
6. Новгородцева, А. Н. Становление теории туризма в зарубежной и отечественной практике [Электронный ресурс] / А. Н. Новгородцева. – Изв. РГПУ им. А. И. Герцена. – 2009. – № 115. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/stanovlenie-teorii-turizma-v-zarubezhnoy-i-otechestvennoy-praktike>. – Назва з екрана. – Перевірено : 15.07.2014.
7. Петренко, Е. А. Реформирование железнодорожного транспорта Украины: состояние и перспективы / Е. А. Петренко // Вагонный парк. – 2010. – № 1. – С. 41–43.
8. Про туризм : закон України [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/324/95-вр>. – Назва з екрана. – Перевірено : 15.10.2014.
9. Радіонова, Н. В. Сучасні інструменти маркетингу вантажних перевезень у ринкових умовах України / Н. В. Радіонова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 38. – С. 287–290.
10. Розвиток туризму в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.marshruty.in.ua/index.php/rozvytok-turyzmu-v-ukraini.php>. – Назва з екрана. – Перевірено : 15.07.2014.
11. European Tourism 2013: Trends & Prospects [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://aboutourism.wordpress.com>. – Назва з екрана. – Перевірено : 15.07.2014.
12. Brida, J. G. Tourism and transport systems in mountain environments: analysis of the economic efficiency of cableways in South Tyrol / J. G. Brida, M. Deidda, M. Pulina // J. of Transport Geography. – 2004. – Vol. 36. – P. 1–11.
13. Slack, B. The geography of transport systems / Brian Slack, Claude Comtois, Jean-Paul Rodrigue. – New York : Routledge, 2013. – 416 p.

Л. В. МАРЦЕНЮК<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Економіка и менеджмент», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (093) 934 18 03, эл. почта [gwinform1@rambler.ru](mailto:gwinform1@rambler.ru), ORCID 0000-0003-4121-8826

## НАПРАВЛЕННЯ РОЗВИТКУ ВНУТРІШНЬОГО ТУРИЗМУ В УКРАЇНІ

**Цель.** Каждая из стран мира большое внимание уделяет развитию туризма в своей стране, так как значительную часть поступлений в бюджет составляют именно доходы от предоставления туристических услуг. Украина столкнулась с проблемой существенного снижения объемов туристических потоков, старения основных фондов, отсутствия инвестиций на их обновление. Цель статьи заключается в разработке оптимального механизма управления туристическими потоками, обосновании необходимости развития въездного

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

и внутреннего туризма. **Методика.** Теоретическую и методологическую основу исследования составляют системный анализ проблем обеспечения конкурентоспособности туристической отрасли в сфере пассажирских железнодорожных перевозок, теоретические положения экономической науки в области эффективности внутреннего и въездного туризма и управления туристическими потоками. **Результаты.** Автором разработан усовершенствованный механизм управления туристическими потоками, который отличается от существующего расширением сферы услуг туристам на территории Украины. Предложен анализ развития въездного и внутреннего туризма, восстановление узкоколеек, а также создание специальных туристических поездов. В результате выполнения поставленных задач должны быть достигнуты следующие результаты: 1) повышение доли сферы туризма и курортов в структуре валового внутреннего продукта до уровня развитых стран; 2) доведение количества работников сферы туризма и курортов до уровня развитых стран; 3) увеличение общего количества номерного фонда в гостиницах и других сертифицированных средствах размещения до уровня развитых стран; 4) создание эффективной системы мониторинга качества предоставляемых туристических услуг; 5) создание привлекательного инвестиционного климата для широкого привлечения инвестиций в развитие туристической, инженерно-транспортной и коммунальной инфраструктуры, 6) повышение безопасности туристов, обеспечение действенной защиты их прав, законных интересов и сохранности имущества. **Научная новизна.** Автором приведено теоретическое обобщение и новое решение научной задачи. Они проявляются в разработке теоретических и методологических подходов к обоснованию организации туристических перевозок железнодорожным транспортом, и активизацию работ по реализации проекта по восстановлению эффективного функционирования горных железных дорог шириной 750 мм в Карпатском регионе Украины, с последующими возможностями их присоединения к разветвленной международной туристической сети. **Практическая значимость.** Рационально принятые меры согласно предложенным автором направлениям управления туристическими потоками позволят существенно повысить поступления в бюджет страны от туризма.

*Ключевые слова:* туризм; туристический поток; туристический маршрут; туристический поезд; узкоколейка

L. V. MARTSENIUK<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Economics and Management», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St. 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (093) 934 18 03, e-mail rwinform1@rambler.ru, ORCID 0000-0003-4121-8826

## DIRECTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF DOMESTIC TOURISM IN UKRAINE

**Purpose.** Each country of the world pays great attention to the development of tourism in the country, since a significant part of revenues comprises the revenues from providing the tourist services. Ukraine faced the problem of a significant reduction in the volume of tourist flows, aging of capital fund, lack of investments for its renovation. Purpose of the article is to develop an optimal control mechanism of tourist flows, justifying the need for the development of inbound and domestic tourism. **Methodology.** A system analysis of the competitiveness problem of the tourism industry in the area of passenger rail transportations, theoretical principles of economics in the field of domestic tourism efficiency and management of tourist flows are the theoretical and methodological basis of the research. **Findings.** The authors developed an improved mechanism for managing tourist flows. It differs from the existing one by the expansion of services for tourists in the territory of Ukraine. The development analysis of inbound and domestic tourism, restoration narrow-gauge railways, as well as the creation of special tourist trains were proposed. As a result the following objectives should be achieved: 1) increase in the share of tourism and resorts in the structure of gross domestic product up to the level of developed countries; 2) the number of employees in tourism and resorts equal to the level of developed countries; 3) increase in total number of rooms in hotels and other certified accommodation facilities up to the level of developed countries; 4) creation of the effective system of monitoring the quality of tourist services; 5) creating an investment climate to attract the investments into development of the tourism, engineering, transport and communal infrastructure; 6) improvement of tourists safety, providing effective protection of their rights, legal interests and property. **Originality.** The author presented the theoretical generalization and new solution of the scientific problem. They lie in the development of theoretical and methodological approaches to justification of the organization of tourist rail transportations and activation of measures to realize the project to restore the effective functioning of the mountain railways with 750 mm width in the Carpa-

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

thian region of Ukraine, with the possibility to incorporate them to the extensive international tourism network. **Practical value.** The rational measures according to the directions of tourism flows management proposed by the author will significantly increase the country revenues from tourism.

*Keywords:* tourism; tourist flow; tourist route; tourist train; narrow gauge railway

## REFERENCES

1. Abdurazakova Ya.M. Sovremennyy mezhdunarodnyy turizm: tendentsii i perspektivy [Modern intrnational tourism: tendencies and prospects]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya : Ekonomika – Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Economics*, 2010, no. 2, pp. 159-166.
2. Birzhakov M.B., Nikiforov V.I. *Industriya turizma: perevozki* [The tourism industry: transportations]. Saint-Petersburg, Gerda Publ., 2007. 528 p.
3. Martseniuk L.V. Vplyv zaliznychnoho transportu na ekonomiku Ukrainy [Impact of railway transport in the development of the national economy of Ukraine]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 274-278.
4. Martseniuk L.V., Teslenko T.V., Proskurnia Yu.M. Mekhanizm stvorennia proektu z vidkryttia fermy v konteksti rozvytku silskoho turyzmu [Creation mechanism on the project on farm opening in the context of rural tourism development]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 4 (52), pp. 43-51.
5. Martseniuk L.V. Osnovni zasady rozvytku transportnoho turyzmu v Ukraini (Basic principles of transport tourism development in Ukraine). *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 5 (47), pp. 24-32.
6. Novgorodtseva A.N. Stanovleniye teorii turizma v zarubezhnoy i otechestvennoy praktike [Formation of the tourism theory in foreign and domestic practice]. *Izvestiya Rossiyskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni A. I. Gertsena – Proc. of the Russian State Pedagogical University named after A. I. Hertsen*, 2009, no. 115. Available at : <http://cyberleninka.ru/article/n/stanovlenie-teorii-turizma-v-zarubezhnoy-i-otechestvennoy-praktike> (Accessed 15 July 2014).
7. Petrenko Ye.A. Reformirovaniye zheleznodorozhnogo transporta Ukrainy: sostoyanie i perspektivy [Railway transport reforming of Ukraine: State and Prospects]. *Vagonnyy park – Car fleet*, 2010, no. 1, pp. 41-43.
8. *Pro turizm: zakon Ukrainy* (On the tourism: Ukrainian law). Available at: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/324/95-vr> (Accessed 15 July 2014).
9. Radionova N.V. Suchasni instrumenty marketynhu vantazhnykh perevezen u rynkovykh umovakh Ukrainy [Modern marketing tools freight market conditions in Ukraine]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 38, pp. 287-290.
10. *Rozvytok turyzmu v Ukraini* (Tourism development in Ukraine). Available at: <http://www.marshruty.in.ua/index.php/rozvytok-turyzmu-v-ukraini.php> (Accessed: 15 July 2014).
11. European Tourism 2013: Trends & Prospects. Available at: <https://abouttourism.wordpress.com>. (Accessed 15 July 2014).
12. Brida J.G., Deidda M., Pulina M. Tourism and transport systems in mountain environments: analysis of the economic efficiency of cableways in South Tyrol. *Journal of Transport Geography*, 2004, vol. 36, pp. 1-11.
13. Slack B. Comtois C., Rodrigue J.-P. *The geography of transport systems*. New York, Routledge Publ., 2013. 416 p.

*Стаття рекомендована до публікації д.е.н., проф. Ю. С. Барашем (Україна); д.е.н., проф. Л. М. Тимошенко (Україна)*

Надійшла до редколегії: 02.09.2014

Прийнята до друку: 29.10.2014

## УДК 330.322.658

С. В. МЯМЛИН<sup>1</sup>, К. В. ЖИЖКО<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (0562) 47 18 66, эл. почта sergeyuyamlin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

<sup>2\*</sup>Каф. «Экономика и менеджмент», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (0562) 47 18 66, эл. почта gigka\_06@mail.ru, ORCID 0000-0001-5103-5738

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИЙ

**Цель.** Основной целью исследования, проведенного в данной работе, является повышение эффективности инвестиций при развитии, как конкретных предприятий промышленности, так и отраслей экономики в целом. **Методика.** С помощью использования методов анализа и синтеза, а также методов математико-экономического моделирования авторам удалось усовершенствовать методические подходы к оценке показателей эффективности использования инвестиций. **Результаты.** В результате был создан и апробирован действенный механизм, который может применяться для оценки степени рациональности использования инвестиционных средств в зависимости от основных факторов. Это позволяет определить рациональное соотношение между основными составляющими инвестиционного процесса, а именно: приростом выручки, объемом инвестиций и временем реализации инвестиционного проекта. **Научная новизна.** С целью рационального распределения финансовых ресурсов в период дефицита капитала авторами разработан экономико-математический подход, в основу которого было положено решение задачи векторной оптимизации с использованием функции множеств. Применение данного подхода особенно актуально ввиду нестабильной экономической ситуации, в которой сегодня оказалась Украина. **Практическая значимость.** В результате использования разработанного авторами экономико-математического подхода можно определить рациональные варианты использования инвестиций при развитии как отдельных предприятий, так и целых отраслей экономики. Разработанный инструмент определения рациональных вариантов использования инвестиций значительно упрощает процесс принятия решения для потенциального инвестора. Он позволяет сократить множество вариантов вложения инвестиционных средств до нескольких наиболее перспективных инвест-проектов, которые способны принести их владельцу максимальный эффект. Разработанный подход также может быть использован в процессе формирования основ модели высокоэффективной национальной экономики.

*Ключевые слова:* рациональное инвестирование; функции множеств; векторная оптимизация; прирост выручки; объем инвестиций; время реализации проекта; высокоэффективная национальная экономика

### Введение

Одним из направлений повышения эффективности экономики в целом и отдельного предприятия в частности принято считать инвестирование, то есть целевое финансирование предприятий определенных отраслей экономики, что, как правило, связано с техническим и технологическим переоснащением предприятия или с расширением производственных возможностей. При этом всегда существует задача, связанная с повышением эффективности использования инвестиций. Необходимость и важность инвестиций в реальный сектор экономики объясняется тем, что это способствует ускорению

темпов развития производственной сферы. Но оценка эффективности инвестиций представляет собой сложную научно-прикладную задачу, решение которой связано с целым рядом дополнительных исследований, в том числе с рассмотрением возможных вариантов реализации инвестиционной процедуры и достижением максимального эффекта. Поэтому актуальным является направление исследований, связанное с усовершенствованием теоретических основ рационального использования инвестиций.

*Анализ последних научных исследований.* Использованию инвестиций при расширении производства и инвестиционной деятельности

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

в целом свое внимание уделяют многие исследователи и ведущие ученые, но усовершенствованию процесса инвестирования с возможностью перебора вариантов использования средств посвящены только те исследования, в которых применяются экономико-математические методы [3–5, 7–8, 11, 15–18]. Значительный вклад в этом направлении принадлежит таким ученым: Витлинскому В. В., Великоиваненко Г. И., Крючковой В., Егоровой Н. Е., Смулову А. М., Лугинину О. Е., Шелобаеву С. И., Монахову А. В., Босову А. А. и др. При этом часть работ раскрывает общую сущность и особенности использования моделирования в прикладных задачах экономики [3–5]. А часть исследований посвящена использованию экономико-математических методов и соответствующим математическим моделям [7–9, 11, 14–16]. Немаловажным является возможность использования разработок, полученных авторами при анализе и усовершенствовании основных положений «высокоэффективной национальной экономики», которая все активнее в последнее время обсуждается разными авторитетными учеными [12–13]. При этом не хватает разработок, которые давали бы возможность связать между собой основные составляющие инвестиционного процесса и помогали бы выбрать оптимальный вариант использования инвестиций.

## Цель

Разработка экономико-математического подхода для определения рационального соотношения между составляющими инвестиционного процесса – объемом инвестиций, размером прибыли и временем реализации определенных проектов и выбор наиболее приемлемого и эффективного варианта их использования и является целью данной работы.

## Методика

Формирование экономико-математического подхода предлагается осуществлять при помощи функции множеств, что дает возможность для формулировки и решения задачи векторной оптимизации касательно оценки эффективности инвестиционных объектов. При этом объекты будем считать независимыми, то есть финансирование проектов по одному из объектов не влияет на результаты финансирования и срок реали-

зации по другим объектам. Далее опишем алгоритм решения задачи по оценке рационального использования инвестиций в независимые объекты или независимые направления деятельности. При формировании математического описания предложенного подхода используются базовые математические выражения и зависимости [2, 10].

## Результаты

Далее последовательно изложен алгоритм формирования математической части предложенного экономико-математического подхода.

Рассматривается  $n$  объектов (заводов, цехов, хозяйств и т.п.) и для каждого объекта указан перечень проектов для его усовершенствования  $Q_i, i = \overline{1, n}$ .

Проект  $w_{ij}$ , который принадлежит к перечню  $Q_i$ , характеризуем тремя показателями  $c_{ij}$  – объем затрат на реализацию проекта  $w_{ij}$ ;  $t_{ij}$  – время реализации проекта  $w_{ij}$ ;  $b_{ij}$  – прирост выручки после реализации проектов.

Основные допущения:

1. Хозяйственная деятельность объектов независимая;
2. Проект  $w_{ij}$  осуществляется независимо от других проектов из перечня  $Q_i$ .

Введем в рассмотрение список:

$$\gamma = [V_1, V_2, \dots, V_n],$$

где:  $V_i \subseteq Q_i, i = \overline{1, n}$ .

Список  $\gamma$  отображает, какие проекты будут реализовываться на соответствующих объектах.

В список  $\gamma$  поставим соответствующие три числа:

$B(\gamma) = \sum_{i=1}^n \sum_{w \in V_i} b(w)$  – суммарный прирост выручки по  $n$  объектам;

$C(\gamma) = \sum_{i=1}^n \sum_{w \in V_i} c(w)$  – суммарный объем инвестиций на реализацию  $\gamma$ .

$T(\gamma) = \max_{1 \leq i \leq n} \max_{w \in V_i} t_{ij}$  – время реализации проектов (программы  $\gamma$ ).

Обозначим через  $\Gamma$  множество возможных вариантов программы  $\gamma$ . Очевидно, что  $\Gamma$  дискретное множество, которое содержит:

$$|\Gamma| = \prod_{i=1}^n 2^{Q_i}$$

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

разнообразных  $\gamma$ , где  $|Q_i|$  – число проектов на  $i$ -том объекте.

Рассмотрим задачу векторной оптимизации:

$$\begin{pmatrix} -B(\gamma) \\ C(\gamma) \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad (1)$$

при условии, что  $\gamma \in \Gamma$ .

Под решением задачи (1) будем понимать такое множество  $\Gamma^* \subseteq \Gamma$ , где каждое  $\gamma \in \Gamma^*$  является эффективным, а любые две программы из  $\Gamma^*$  между собой являются несравнимыми.

Введем функцию Лагранжа, которая равняется:

$$L(\gamma) = -B(\gamma) + \lambda C(\gamma),$$

где  $\lambda \geq 0$ , неопределенный множитель Лагранжа. Отметим, что  $L$  является многофакторной функцией множеств, то есть

$$L(\gamma) = F(V_1, V_2, \dots, V_n).$$

И рассматривается задача с определением таких  $V_i^*$ ,  $i = \overline{1, n}$ , чтобы при фиксированном  $\lambda$  функция Лагранжа была бы минимальной.

Для решения этой задачи используем необходимое условие (1).

$$\frac{\partial L}{\partial \mu_i} \Big|_{\{B\} \rightarrow \{\bar{w}_{ij}\} \in V_i^*} \leq 0; i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

В соотношении (2) описана частная производная по мере последовательности  $\{B\}$ , которая стремится к  $\{w_{ij}\}$ .

В нашем случае получаем:

$$\frac{\partial L}{\partial \mu_i} \Big|_{\{B\} \rightarrow \{\bar{w}_{ij}\} \in V_i^*} = -B_{ij} + \lambda C_{ij} \leq 0.$$

Откуда получаем, что множество  $V_i^*$  зависит от  $\lambda$  и является:

$$V_i^*(\lambda) = \left\{ w_{ij} \in Q_i : \frac{B_{ij}}{C_{ij}} \geq \lambda \right\}, i = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Таким образом, если перечень проектов из  $Q_i$  упорядочены соотношением (им описаны):

$$\frac{B_{ij}}{C_{ij}} \geq \frac{B_{ij+1}}{C_{ij+1}}, j = \overline{1, |Q_i| - 1},$$

то определяем такое  $j$  при заданном  $\lambda$ , что

doi 10.15802/stp2014/32656

$$\frac{B_{ij}}{C_{ij}} > \lambda, \text{ а } \frac{B_{ij+1}}{C_{ij+1}} < \lambda.$$

Это значение  $j$  будет записью  $j(\lambda)$ .

И тогда

$$V_i^*(\lambda) = \{w_{ij} : j = \overline{1, j(\lambda)}\}; i = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Что позволяет определить  $\gamma(\lambda) = [V_1^*(\lambda), V_2^*(\lambda), \dots, V_n^*(\lambda)]$  программу  $\gamma(\lambda)$  и соответственно все составляющие инвестиционного процесса:

$$B(\lambda), C(\lambda), T(\lambda), \gamma(\lambda),$$

перебирая  $\lambda \geq 0$ , имеем возможность соответственно построить зависимости, которые приведены на рис. 1 и 2.

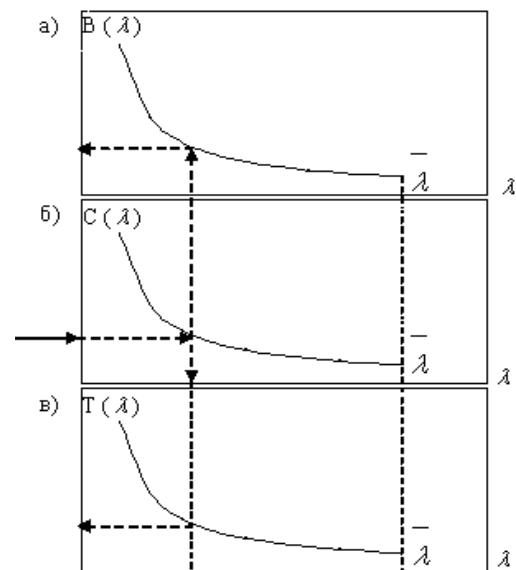


Рис. 1. Алгоритм определения объема выручки и времени реализации при заданном объеме инвестиций, где  $B(\lambda)$  – зависимость суммарного прироста выручки (а),  $C(\lambda)$  – суммарного объема инвестиций (б) и  $T(\lambda)$  – времени реализации проектов (в) от изменения множителя Лагранжа

Fig. 1. Determination algorithm for the volume of revenues and realization time for a given volume of investment, where  $B(\lambda)$  – the dependence of the total revenue growth (a),  $C(\lambda)$  – the total volume of investments (b) and  $T(\lambda)$  – the projects realization time (c) on the change of Lagrange multiplier

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

На рис. 1 приведен алгоритм решения задачи (1), когда для заданного объема инвестиций возможно определение соответствующего прироста выручки и времени реализации программы  $\gamma(\lambda)$ .

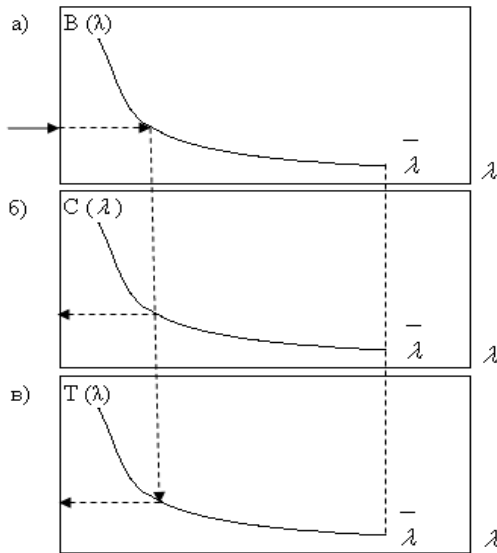


Рис. 2. Алгоритм определения необходимых инвестиций и времени реализации при заданном объеме прироста выручки, где  $B(\lambda)$  – зависимости суммарного объема выручки (а),  $C(\lambda)$  – объема инвестиций (б) и  $T(\lambda)$  – времени реализации соответственно (в)

Fig. 2. Determination algorithm for the necessary investments and realization time for a given volume of revenue growth, where  $B(\lambda)$  – the dependences of the total volume of revenue (a),  $C(\lambda)$  – volume of investments (b) and  $T(\lambda)$  – realization time, respectively (c)

$$1, t =, 3, [[w_{1,1}], [ ], [ ], [ ], [ ]], 1, 3, 7$$

$$2, t =, 2, [[w_{1,1}, w_{1,2}], [ ], [ ], [ ], [ ]], 4, 9, 12$$

$$3, t =, \frac{9}{5}, [[w_{1,1}, w_{1,2}, w_{1,3}], [ ], [ ], [ ], [ ]], 9, 18, 15$$

$$4, t =, \frac{7}{4}, [[w_{1,1}, w_{1,2}, w_{1,3}], [w_{2,1}], [ ], [ ], [ ]], 13, 25, 19$$

$$5, t =, \frac{3}{2}, [[w_{1,1}, w_{1,2}, w_{1,3}], [w_{2,1}], [ ], [ ], [w_{5,1}]], 15, 28, 24$$

$$6, t =, \frac{10}{7}, [[w_{1,1}, w_{1,2}, w_{1,3}], [w_{2,1}, w_{2,2}], [ ], [ ], [w_{5,1}]], 22, 38, 26$$

### Научная новизна и практическая значимость

Для практической реализации экономико-математической модели оценки эффективности инвестиций авторами разработана специальная компьютерная программа в среде программирования Maple 6 [6] под названием «Рациональное инвестирование». Для примера, приведена соответствующая программная реализация для транспортного предприятия, которое состоит из 5 подразделений (цехов), деятельность которых между собой не связана. Следовательно объем инвестиций и время реализации соответствующих проектов для одних цехов не оказывает влияние на аналогичные показатели для других цехов. Количество мероприятий, требующих финансирования, заданы следующим образом: в цехе № 1 – три проекта; в цехе № 2 – два, в цехе № 3 – пять, в цехе № 4 – один, в цехе № 5 – четыре проекта.

Все они объединены в вектор числа мероприятий по цехам. Матрица  $C$  представляет собой матрицу затрат по проектам в каждом цехе,  $T$  – матрица затрат времени на реализацию каждого проекта;  $B$  – матрица прироста выручки по цехам в соответствии с реализацией проектов. На рис. 1 и 2 приведены основные зависимости между параметрами процесса инвестирования, которые позволяют качественно оценить эффективность инвестиций в зависимости от выбранного алгоритма финансирования. Далее приведем фрагмент программной реализации для примера, который рассматривается:

$$7, t = \frac{5}{4}, [[w_{1,1}, w_{1,2}, w_{1,3}], [w_{2,1}, w_{2,2}], [w_{3,1}], [w_{5,1}]], 30, 48, 32$$

$$8, t = \frac{20}{17}, [[w_{1,1}, w_{1,2}, w_{1,3}], [w_{2,1}, w_{2,2}], [w_{3,1}], [w_{4,1}], [w_{5,1}]], 47, 68, 33.7$$

$$9, t = \frac{11}{10}, [[w_{1,1}, w_{1,2}, w_{1,3}], [w_{2,1}, w_{2,2}], [w_{3,1}, w_{3,2}], [w_{4,1}], [w_{5,1}]], 57, 79, 37.7$$

$$10, t = 1, [[w_{1,1}, w_{1,2}, w_{1,3}], [w_{2,1}, w_{2,2}], [w_{3,1}, w_{3,2}, w_{3,3}], [w_{4,1}], [w_{5,1}, w_{5,2}]], 68, 90, 44.2$$

$$11, t = \frac{7}{9}, [[w_{1,1}, w_{1,2}, w_{1,3}], [w_{2,1}, w_{2,2}], [w_{3,1}, w_{3,2}, w_{3,3}], [w_{4,1}], [w_{5,1}, w_{5,2}, w_{5,3}]], 77, 97, 46.3$$

$$12, t = \frac{11}{15}, [[w_{1,1}, w_{1,2}, w_{1,3}], [w_{2,1}, w_{2,2}], [w_{3,1}, w_{3,2}, w_{3,3}], [w_{4,1}], [w_{5,1}, w_{5,2}, w_{5,3}, w_{5,4}]], 92, 108, 47.8$$

$$13, t = \frac{13}{20}, [[w_{1,1}, w_{1,2}, w_{1,3}], [w_{2,1}, w_{2,2}], [w_{3,1}, w_{3,2}, w_{3,3}, w_{3,4}], [w_{4,1}], [w_{5,1}, w_{5,2}, w_{5,3}, w_{5,4}]], 112, 121, 50.8$$

$$14, t = \frac{3}{10}, [[w_{1,1}, w_{1,2}, w_{1,3}], [w_{2,1}, w_{2,2}], [w_{3,1}, w_{3,2}, w_{3,3}, w_{3,4}, w_{3,5}], [w_{4,1}], [w_{5,1}, w_{5,2}, w_{5,3}, w_{5,4}]], 162, 136, 53.3$$

$nn := 14$

Получено 14 вариантов возможного использования инвестиций, из которых программным способом по критерию оптимальности определяется наиболее приемлемый. Таким образом, достигнута основная цель исследования по усовершенствованию метода оценки рационального использования инвестиций.

Возможно также использование предложенного алгоритма для определения соотношения только двух из трех основных составляющих инвестиционной деятельности, например по типу двухпараметрической оптимизации [1]. Но предложенный экономико-математический подход позволяет решить и такую задачу, путем фиксации численного значения одной из трех составляющих и вариацией двух других. Это позволяет рассмотреть различные варианты использования инвестиций и выбрать наиболее оптимальный, исходя из поставленных условий.

## Выводы

Таким образом, предложен оригинальный экономико-математический подход к оценке рационального использования инвестиций в виде постановки и решения задачи векторной оптимизации соотношения суммарного объема инвестиций, суммарного объема выручки (дохода) и времени реализации финансируемых проектов. Для проведения теоретических исследований по оценке рационального использования инвестиций авторами разработана также соответствующая компьютерная программа вычислений. В результате получен действенный экономико-математический аппарат для осуществления анализа эффективности инвестиционной деятельности.

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Босов, А. А. Векторная оптимизация по двум показателям / А. А. Босов, Г. Н. Кодола, Л. Н. Савченко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 17. – С. 134–138.
2. Ван дер Варден, Б. Л. Алгебра / Б. Л. Ван дер Варден. – Москва : Наука, 1976. – 648 с.
3. Вітлінський, В. В. Моделювання економіки : навч.-метод. посіб. для самост. вивч. дисц. / В. В. Вітлінський, Г. І. Великоіваненко. – Київ : КНЕУ, 2005. – 306 с.
4. Лугінін, О. Є. Економіко-математичне моделювання : навч. посіб. / О. Є. Лугінін, В. М. Фомішина. – Київ : Знання, 2011. – 342 с.
5. Макроекономічне моделювання та короткострокове прогнозування : за ред. І. В. Крючкової. – Харків : Форт, 2007 – 488 с.
6. Матросов, А. В. Марле 6. Решение задач высшей математики и механики / А. В. Матросов. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2001. – 528 с.
7. Міксюк, С. Ф. Економіко-математичні методи і моделі / С. Ф. Міксюк, В. М. Комкова. – Минск : БГЭУ, 2006 – 220 с.
8. Монахов, А. В. Математические методы анализа экономики / А. В. Монахов. – Санкт-Петербург : Питер, 2002. – 101 с.
9. Мямлин, С. В. Теоретические основы оценки рационального использования инвестиций / С. В. Мямлин, К. В. Жижко, В. А. Федорова // 3б. наук. пр. Придніпров. держ. акад. буд-ва та арх-ри «Економічний простір». – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 61. – С. 212–219.
10. Ногин, В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / В. Д. Ногин. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 144 с.
11. Пинегина, М. В. Математические методы и модели в экономике / М. В. Пинегина. – Москва : Экзамен, 2002. – 127 с.
12. Пшинько, А. Н. Влияние скорости обращения денежной массы на эффективность национальной экономики / А. Н. Пшинько, В. В. Мямлин, С. В. Мямлин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 42. – С. 292–299.
13. Пшинько, А. Н. К вопросу о научной обоснованности процентов по депозитам и кредитам / А. Н. Пшинько, В. В. Мямлин, С. В. Мямлин // Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 1 (43). – С. 82–103.
14. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 43911. Економіко-математичний підхід до оцінки раціонального використання інвестицій / С. В. Мямлін, К. В. Жижко ; зареєстр. 21.05.2012.
15. Шелобаев, С. И. Математические методы и модели в экономике, финансах, бизнесе : учеб. пособие для вузов / С. И. Шелобаев. – Москва : ЮНИТИ – ДАНА, 2000. – 367 с.
16. Шикін, Є. В. Математичні методи і моделі в управлінні : навч. посіб. / Є. В. Шикін, А. Г. Чхартішвілі. – Москва : Справа, 2000. – 439 с.
17. Aliyev, A. G. Economic-Mathematical Methods and Models under Uncertainty. – New Jersey : Apple Academic Press, 2013. – 302 p. doi : 10.1201/b16301.
18. Mikulás, L. Mathematical Optimization and Economic Analysis: Series: Springer Optimization and Its Applications / L. Mikulás. – New York : Springer, 2010. – Vol. 36. – 294 p. doi: 10.1007/978-0-387-89552-9.

С. В. МЯМЛИН<sup>1</sup>, К. В. ЖИЖКО<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (0562) 47 18 66, ел. пошта sergeyuyamlin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

<sup>2\*</sup>Каф. «Економіка та менеджмент», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (0562) 47 18 66, ел. пошта gigka\_06@mail.ru, ORCID 0000-0001-5103-5738

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ЕКОНОМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ІНВЕСТИЦІЙ

**Мета.** Головною метою дослідження, що було проведено в роботі, є підвищення ефективності інвестицій при розвитку, як безпосередньо промислових підприємств, так і галузей економіки в цілому. **Методика.** За допомогою використання методів аналізу та синтезу, а також методів математико-економічного моделювання,

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

авторам вдалось удосконалити методичні підходи до оцінки показників ефективності використання інвестицій. **Результати.** В результаті дослідження було створено та апробовано дієвий механізм, що застосовується для оцінки ступеню раціональності використання інвестиційних коштів в залежності від основних факторів. Це дозволяє визначити раціональне співвідношення між основними складовими інвестиційного процесу, а саме: приростом виручки, обсягом інвестицій та часом реалізації інвестиційного проекту. **Наукова новизна.** З метою раціонального розподілу фінансових ресурсів в період дефіциту капіталу авторами розроблено економіко-математичний підхід, в основу якого було покладено вирішення задачі векторної оптимізації за допомогою використання функції множин. Застосування цього підходу особливо актуально в зв'язку з нестабільною економічною ситуацією, в якій сьогодні опинилась Україна. **Практична значимість.** В результаті використання розробленого авторами економіко-математичного підходу можна визначити раціональні варіанти використання інвестицій при розвитку, як окремих підприємств, так і галузей економіки в цілому. Розроблений інструмент визначення раціональних варіантів використання інвестицій значно спрощує процес прийняття рішення для потенційного інвестора. Він дозволяє скоротити величезну кількість варіантів вкладання інвестиційних коштів до декількох найбільш перспективних інвестиційних проектів, що здатні надати їх власнику максимальний ефект. Розроблений підхід також може бути використаний у процесі формування основ моделі високоефективної національної економіки.

*Ключові слова:* раціональне інвестування; функції множин; векторна оптимізація; приріст виручки; обсяг інвестицій; час реалізації проекту; високоефективна національна економіка

S. V. MYAMLIN<sup>1</sup>, K. V. ZHYZHKO<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Dep. «Cars and Car Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (0562) 47 18 66, e-mail sergeymyamin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

<sup>2\*</sup>Dep. «Economics and Management», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (0562) 47 18 66, e-mail gigka\_06@mail.ru, ORCID 0000-0001-5103-5738

## UPGRADING OF ECONOMIC SIMULATION METHODS FOR INCREASING EFFICIENCY OF INVESTMENTS

**Purpose.** Main aim of research is improving the investment's efficiency of industrial's enterprises and economic sectors. **Methodology.** Methodological approaches to estimation of investment's efficiency are improved by means of insights and analysis methods as well as by the methods of mathematical and economic modeling. **Findings.** Efficient mechanism for estimation rational level of using of investments was created and tested. The approach allows defining rational dependence between basic components of investment process (increase of income, volume of involving investment and time of investment project realization). **Originality.** Authors developed new economic-mathematical approach with aim of rational using of financial resources during the period of capital deficit. Approach based on solving problem of multi-objective optimization by means of using of set function. Application of proposed approach is up-to-date because of unstable economic situation in Ukraine. **Practical value.** As a result of using the developed economic-mathematical approach the rational options of investment can be found. The approach provides an opportunity to analyze a large number of possible investment projects and reduce it to the most profitable for investor. Developed approach also can be used in forming process of principles of highly efficient national economy.

*Keywords:* rational investment; set function; multi-objective optimization; income increase; investment volume; time of project realization; highly efficient national economy

### REFERENCES

1. Bosov A.A., Kodola G.N., Savchenko L.N. Vektornaya optimizatsiya po dvum pokazatelyam [Vector optimization for two indicators]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 17, pp. 134-138.
2. Van der Varden B. L. *Algebra* [Algebra]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 648 p.
3. Vitlinskyi V.V., Velykoivanenko H.I. *Modeliuvannia ekonomiky* [Modeling of economics]. Kyiv, KNEU Publ., 2005. 306 p.

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

4. Luhinin O.Ye., Fomishyna V.M. *Ekonomiko-matematychnye modeliuvannia* [Economic and mathematic modeling]. Kyiv, Znannia Publ., 2011. 342 p.
5. Kriuchkova I.V. *Makroekonomichne modeliuvannia ta korotkostrokovye prohozuvannia* [Macroeconomic modeling and short-term forecasting]. Kharkiv, Fort Publ., 2007. 488 p.
6. Matrosov A.V. *Maple 6. Resheniye zadach vysshey matematiki i mekhaniki* [Maple 6. Solving the tasks of Higher Mathematics and Mechanics]. Sankt-Peterburg, BKhV-Peterburg Publ., 2001. 528 p.
7. Miksiuk S.F., Komkova V.M. *Ekonomiko-matematychni metody i modeli* [Economic and mathematic methods and models]. Minsk, BHEU Publ., 2006. 220 p.
8. Monakhov A.V. *Matematicheskiye metody analiza ekonomiki. Seriya «Korotkyi kurs»* [Mathematical methods of economics analysis. Series «Short course»]. Sankt-Peterburhm, Piter Publ., 2002. 101 p.
9. Myamlin S.V., Zhizhko K.V., Fedorova V.A. Teoreticheskiye osnovy otsenki ratsionalnogo ispolzovaniya investitsiy [Theoretical bases of estimation of the rational use of investments]. *Zbirnyk naukovykh prats Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnitsva ta arkhitekturi «Ekonomichnyi prostir»* [Proc. of Prydniprovsk State Academy of Construction and Architecture «Economic Space»], 2012, issue 61, pp. 212-219.
10. Nogin V.D. *Prinyatiye resheniy v mnogokriterialnoy srede: kolichestvennyy podkhod* [Decision-making in multi-criterion environment: a quantitative approach]. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2002. 144 p.
11. Pinegina M.V. *Matematicheskiye metody i modeli v ekonomike* [Mathematic methods and models in economics]. Moscow, Ekzamen Publ., 2002. 127 p.
12. Pshinko A.N., Myamlin V.V., Myamlin S.V. Vliyaniye skorosti obrashcheniya denezhnoy massy na effektivnost natsionalnoy ekonomiki [Influence of the speed of money supply circulation on the efficiency of the national economics]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 292-299.
13. Pshinko A.N., Myamlin S.V. K voprosu o nauchnoy obosnovannosti protsentov po depozitam i kreditam [On the issue of the scientific validity of deposits and credits interests]. *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. 82-103.
14. Miamlin S.V., Zhyzhko K.V. Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir. Ekonomiko-matematychnyi pidkhid do otsinky ratsionalnoho vykorystannia investytsii [Certificate of copyright registration on the invention. Economic and mathematic approach to the estimation of rational use of investments], no. 43911, 2012.
15. Shelobayev S.I. *Matematicheskiye metody i modeli v ekonomike, finansakh, biznese* [Mathematic methods and models in economics, finance and business]. Moscow, YuNITI – DANA Publ., 2000. 367 p.
16. Shykyn Ye.V., Chkhartishvili A.H. *Matematychni metody i modeli v upravlinni* [Mathematic methods and models in management]. Moscow, Sprava Publ., 2000. 439 p.
17. Aliyev A.G. *Economic-Mathematical Methods and Models under Uncertainty*. New Jersey, Apple Academic Press Publ., 2013. 302 p. doi: 10.1201/b16301.
18. Mikuláš Luptácik. *Mathematical Optimization and Economic Analysis: Series: Springer Optimization and Its Applications*. New York, Springer Publ., 2010, vol. 36. 294 p. doi: 10.1007/978-0-387-89552-9.

*Статья рекомендована к публикации д.э.н., проф. О. Н. Гненным (Украина)*

Поступила в редколлегию: 02.09.2014

Принята к печати: 21.10.2014

## УДК 338.47 658.14/.16-047.56

А. О. НОВІКОВ<sup>1\*</sup>, М. М. НОВІКОВА<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup>Управління транспортної інфраструктури і зв'язку, Харківська обласна державна адміністрація, пл. Свободи, 6, Харків, Україна, 61001, тел. +38 (067) 913 20 34, ел. пошта [maruна\\_novikova@mail.ru](mailto:maruна_novikova@mail.ru), ORCID 0000-0001-8623-9431

<sup>2\*</sup>Каф. «Менеджмент і маркетинг в міському господарстві», Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, вул. Маршала Бажанова, 12, Харків, Україна, 61001, тел. +38 (067) 913 20 34, ел. пошта [maruна\\_novikova@mail.ru](mailto:maruна_novikova@mail.ru), ORCID 0000-0002-1238-4262

## МОДЕЛЮВАННЯ ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ НА ОСНОВІ ФАКТОРНОГО АНАЛІЗУ

**Мета.** Фінансово-економічна безпека зумовлює стійкий (збалансований і безупинний) фінансовий розвиток підприємства, що обґрунтовує необхідність її досягнення на основі ефективного використання усіх видів наявних ресурсів. Мета статті полягає у вдосконаленні методичних основ оцінювання стану фінансово-економічної безпеки транспортних підприємств із урахуванням галузевої специфіки для забезпечення прийняття ефективних управлінських рішень. **Методика.** Теоретичну та методичну основу дослідження становлять системний аналіз процесів оцінювання та моделювання фінансово-економічної безпеки підприємств транспортної галузі, теоретичні положення економічної науки в галузі оцінювання фінансової ефективності господарської діяльності в умовах мінливого навколишнього середовища. **Результати.** Досліджено структуру фінансово-економічної безпеки підприємств транспортної галузі. Визначено внутрішні зв'язки між частинними показниками досліджуваного процесу для виділення необхідної та достатньої кількості найбільш індикативних факторів. Систематизовано частинні складові фінансово-економічної безпеки на основі моделювання процесу її формування на підприємствах транспортної галузі, використовуючи методи факторного аналізу. **Наукова новизна.** Авторами вдосконалені методичні основи щодо кількісної оцінки рівня фінансово-економічної безпеки підприємств транспортної галузі на основі побудованої сукупності частинних показників окремих складових, які сформовані з урахуванням галузевої специфіки. Це дозволяє здійснити комплексну оцінку ступеня впливу зовнішніх та внутрішніх факторів на рівень фінансово-економічної безпеки підприємств для забезпечення прийняття ефективних управлінських рішень щодо досягнення запланованих фінансових показників результативності їх діяльності. **Практична значимість.** Визначені тенденції формування спроможності транспортних підприємств щодо захисту своїх фінансових інтересів є загальними для досліджуваних об'єктів, пояснюють 72 % загальної мінливості частинних характеристик та відображають особливості сучасного процесу управління фінансово-економічною безпекою. Це обґрунтовує доцільність використання сформованої сукупності частинних показників фінансово-економічної безпеки як базисних параметрів інтегрального оцінювання її стану на підприємствах транспортної галузі для забезпечення своєчасного виявлення та уникнення можливих загроз функціонуванню підприємства у фінансовому середовищі.

**Ключові слова:** фінансово-економічна безпека; транспортні підприємства; моделювання фінансово-економічної безпеки; факторний аналіз

### Вступ

Ефективність процесу забезпечення необхідного стану фінансово-економічної безпеки підприємства зумовлена наявністю необхідних умов для своєчасного виявлення і уникнення можливих загроз функціонуванню підприємства у фінансовому середовищі, ліквідування негативних наслідків певних факторів на мезо та макрорівнях фінансових відносин.

У ході аналізу наукових джерел було з'ясовано, що фінансово-економічна безпека підпри-

ємства транспортної галузі характеризується різноманітністю та важко піддається структуризації, існує значна кількість методичних підходів для її виявлення та оцінювання [1–13]. Однак, єдиний алгоритм реалізації оцінювання її рівня на підприємствах транспортної галузі, який би створив необхідний методичний базис для досягнення цілей підприємства щодо забезпечення необхідного стану його фінансово-економічної безпеки, і досі відсутній.

Це актуалізує завдання формування необхідних методичних основ для оцінювання стану

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

фінансово-економічної безпеки підприємств транспортної галузі.

### Мета

Метою роботи є вдосконалення методичних основ оцінювання стану фінансово-економічної безпеки транспортних підприємств з врахуванням галузевої специфіки на основі її моделювання для забезпечення прийняття ефективних управлінських рішень щодо досягнення запланованих фінансових показників результативності їх діяльності.

### Методика

Завдання щодо виявлення і оцінювання стану та рівня фінансово-економічної безпеки на підприємстві є об'єктом дослідження багатьох вчених, які сформуvalи різноманітні погляди на виділення сукупності частинних індикаторів фінансово-економічної безпеки підприємств.

Аналіз і узагальнення існуючих методичних підходів дозволяє зробити висновки, що більшість з них ґрунтується на принципах порівняння розрахованих значень частинних показників із встановленими нормативами, які були визначені науковцями на основі даних щодо діяльності установ у відповідних економічних умовах. Однак, ці умови не завжди відповідають сучасній економічній ситуації, в якій функціонують підприємства транспортної галузі України [5, с. 54].

Так, багато вчених наголошують на важливості врахування галузевих особливостей, стадій життєвого циклу підприємств та стратегії їхнього розвитку, встановлюючи певні критеріальні значення як базу для визначення рівня їх фінансово-економічної безпеки. Однак, найчастіше, ці критеріальні значення відповідають загальновідомим нормативам та в умовах високої мінливості умов функціонування підприємств транспортної галузі в Україні не можуть бути однаковими для всіх суб'єктів фінансових відносин, а, отже, й використовуватися як еталон порівняння [5; 10, с. 84, 85].

Також слід зазначити, що у більшості випадків в аналізованих методичних підходах до оцінювання фінансово-економічної безпеки підприємств запропоновані системи частинних її показників, що характеризують саме фінансову стійкість підприємств, а не рівень їх фі-

нансово-економічної безпеки, що не завжди забезпечує необхідну для ефективного процесу управління підприємством можливість кількісного і якісного оцінювання впливу загроз макро та мезосередовищ на стан його фінансово-економічної безпеки.

Таким чином, можна зробити висновки, що існують певні розбіжності між існуючими методичними підходами, запропонованими вченими-економістами, щодо оцінювання рівня фінансово-економічної безпеки підприємства, пов'язані як з вибором первісних частинних показників, обґрунтуванням оцінних критеріїв, так і застосуванням різних процедур згортання інформаційного простору ознак та виділенням певних станів фінансово-економічної безпеки підприємства.

Це обґрунтовує необхідність вдосконалення методичних засад оцінювання рівня фінансово-економічної безпеки підприємства транспортної галузі як суб'єкта фінансових відносин на основі розроблення комплексного підходу.

### Результати

Від ступеню об'єктивності і адекватності результатів процесу оцінювання діяльності підприємств залежить ефективність роботи з підвищення ефективності системи управління фінансово-економічною безпекою як на мезо, так і макрорівні. Складність такого процесу оцінювання обґрунтовується тим, що самі показники результатів діяльності підприємств часто є суперечливими, що пояснюється нестабільністю середовища функціонування підприємства [4, с. 11].

Недостатня інформаційна відкритість зовнішніх економічних суб'єктів господарської діяльності, наявність дублювання внутрішньою інформаційною базою певних фінансових аспектів діяльності самого підприємства ускладнюють процес оцінювання рівня фінансово-економічної безпеки підприємства та процедуру аналізу впливу зовнішніх негативних факторів на забезпечення її необхідного стану. Все це обґрунтовує необхідність визначення внутрішніх зв'язків між частинними показниками досліджуваного процесу для виділення необхідної та достатньої кількості найбільш індикативних факторів [5, с. 55].

З урахуванням функцій результатів процесу оцінювання, актуалізація інформаційної бази

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

визначення і оцінювання стану фінансово-економічної безпеки підприємства передбачає формування сукупності показників, що має будуватися на принципах системності, тобто усі показники є взаємопов'язаними, але не дублюючими один одного, що дозволить в повному обсязі охарактеризувати реальні процеси та явища функціонування економічного суб'єкта у системі фінансових відносин. Оскільки діяльність суб'єкта господарювання характеризується безліччю різноманітних процесів, виникає потреба врахування значної кількості показників під час оцінювання стану його фінансово-економічної безпеки [5].

Тому у роботі запропонована сукупність показників окремо для підприємств транспортної галузі, що була сформована з урахуванням галузевої специфіки. Сукупність показників забезпечує основу для реалізації комплексного оцінювання стану частинних показників та інтегрального рівня фінансово-економічної безпеки підприємств, що дозволяє здійснити комплексне вимірювання впливу зовнішніх та внутрішніх загроз на рівень фінансово-економічної безпеки підприємств та забезпечує прийняття ефективних управлінських рішень у майбутньому.

Результати аналізу існуючих методичних основ, що присвячені досліджуваній тематиці, дозволили сформувати сукупність з 43-х показників, за якими доцільно виконувати оцінювання стану фінансово-економічної безпеки підприємств транспортної галузі [1, с. 125–137; 3, с. 10; 7, с. 163].

На відміну від існуючих сукупностей оцінних показників фінансово-економічної безпеки, запропонована у роботі для підприємств транспортної галузі, характеризується уточненим переліком показників кожної складової та доповненнями показниками, що враховують певні особливості функціонування підприємств у вказаній системі в умовах невизначеності зовнішнього середовища з урахуванням принципів системності, повноти та достатності.

Наступним етапом після визначення сукупності первісних частинних показників фінансово-економічної безпеки підприємства для забезпечення можливості застосування у дослідженні методів багатомірного статистичного аналізу необхідним є виконання попереднього аналізу даних на існування «викидів» та підпорядкування нормальному закону розподілу [5].

Перевірка значень сформованої сукупності первісних частинних показників фінансово-економічної безпеки на базі статистичних даних щодо діяльності 5 підприємств транспортної галузі Харківського регіону за 2009–2013 рр. відбувалася з використанням критеріїв MAO, Смірнова-Грабса та Тітьєн-Мура [2, с. 3–7; 9].

Наступним є актуалізація інформаційної бази процесу оцінювання фінансово-економічної безпеки підприємств, який доцільно реалізувати на основі застосування факторного аналізу як одного з найбільш результативних методів багатомірного статистичного аналізу [5; 9]. Результати аналізу дозволяють на основі кореляційних зв'язків між частинними показниками, що характеризують рівень фінансово-економічної безпеки підприємств, згенерувати нові комплексні фактори, що характеризують основні тенденції динаміки її рівня.

Використання факторного аналізу дозволяє постійно уточнювати склад показників, що характеризують рівень фінансово-економічної безпеки підприємств в умовах швидкозмінного трансформаційного середовища; не спотворює статистичну інформацію і дозволяє зробити науково обґрунтовані висновки; синтезує сукупність значимих показників, що притаманні загальним тенденціям рівня фінансово-економічної безпеки підприємства [2; 5].

Основним завданням факторного аналізу є об'єднання вихідної кількості первісних показників, якими характеризується процес забезпечення фінансово-економічної безпеки підприємств транспортної галузі, в меншу кількість штучно побудованих на їх основі факторів. До отриманої в результаті реалізації аналізу сукупності факторів висуваються вимоги адекватності змістовної інтерпретації та точності характеристики вибіркового даних. Для оптимального вирішення цього завдання під час реалізації факторного аналізу широко використовуються специфічні методи та прийоми.

Обґрунтуванням числа факторів, що беруть участь у подальшому дослідженні, є той факт, що наступний фактор не є достатньо інформативним щодо функціонування економічних систем, оскільки пояснює менш, ніж 5 відсотків мінливості (розкид значень показників суттєво не змінюється зі зміною значення фактора). До фактора включають змінні, які мають найбільш значущі значення коефіцієнтів кореляції з фак-

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

тором, залежно від чого надається його економічна інтерпретація [9, с. 109].

Таким чином, скорочення простору ознак, що описують досліджуване явище методами факторного аналізу, дозволяє визначити найістотніші риси, які характеризують об'єкт та латентні зв'язки, що відображають внутрішні механізми його функціонування.

З огляду на багатоітеративність запропонованого методу та з метою оптимізації, усі необхідні розрахунки було реалізовано у пакеті STATISTICA 10.0.

Первинні результати реалізації факторного аналізу дозволили зробити висновки про те, що на сучасному етапі функціонування підприємств транспортної галузі не всі показники оцінювання рівня їх фінансово-економічної безпеки як суб'єктів фінансових відносин є достатньо інформативними та актуальними. Ці висновки ґрунтуються на отриманих значеннях факторних навантажень для таких показників, що є меншими за рівень 0,7, а, отже, не є достатньо впливовими і фактороутворюючими. Застосування ітеративних процедур факторного аналізу дозволило отримати результати, що наведені у табл. 1.

Таблиця 1

**Навантажувальні характеристики частинних показників фінансово-економічної безпеки транспортних підприємств**

Table 1

**Load characteristics of partial indicators of financial and economic security at transport enterprises**

Частинні показники фінансово-економічної безпеки підприємства	Навантажувальні характеристики		
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Коефіцієнт придатності необоротних активів	-0,522	-0,428	0,718
Частка оборотних коштів у активах	0,291	-0,163	0,754
Коефіцієнт зносу основних засобів	0,520	0,408	-0,788
Коефіцієнт залучення власних коштів (коефіцієнт фінансової залежності)	-0,752	0,381	0,275

Закінчення табл. 1

End of Table 1

Частинні показники фінансово-економічної безпеки підприємства	Навантажувальні характеристики		
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Коефіцієнт концентрації залученого капіталу	0,128	0,355	0,716
Коефіцієнт співвідношення залучених та власних коштів	-0,739	0,407	0,315
Коефіцієнт структури залученого капіталу	-0,491	0,720	-0,083
Коефіцієнт оборотності кредиторської заборгованості	0,899	0,128	0,055
Коефіцієнт оборотності активів	0,753	-0,502	0,031
Тривалість операційного циклу	0,295	0,700	-0,106
Коефіцієнт оборотності власного капіталу	0,927	0,012	0,265
Коефіцієнт оборотності основного капіталу	-0,653	0,702	0,031
Коефіцієнт стійкості економічного зростання	0,917	-0,148	0,222
Рентабельність активів	-0,295	0,767	-0,290
Рентабельність власного капіталу	0,917	-0,148	0,222
Рентабельність основного капіталу	-0,391	0,751	-0,281

Таким чином, отримані результати факторного аналізу обґрунтовують таку модель фінансово-економічної безпеки транспортних підприємств:

$$Y = 6,53 F_1 + 2,94 F_2 + 2,13 F_3,$$

де  $F_1$  – фактор, що характеризує фінансову автономність та стійкість діяльності підприємства (41 % загальної мінливості). Структуру визначають такі показники, як коефіцієнт фінансової

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

залежності; коефіцієнт співвідношення залучених та власних коштів; коефіцієнт оборотності кредиторської заборгованості; коефіцієнт оборотності активів; оборотність власного капіталу; коефіцієнт стійкості економічного зростання; рентабельність власного капіталу;  $F_2$  – фактор, що характеризує ефективність і оперативність діяльності підприємства (18 % загальної мінливості). Структуру визначають такі показники, як коефіцієнт структури залученого капіталу рентабельність активів; рентабельність основного капіталу; коефіцієнт структури залученого капіталу, оборотність основного капіталу і тривалість операційного циклу;  $F_3$  – фактор, що характеризує майновий стан підприємства (13 % загальної мінливості). Структуру визначають такі показники, як коефіцієнт зносу основних засобів; коефіцієнт придатності необоротних активів; частка оборотних коштів у активах і коефіцієнт концентрації залученого капіталу.

### Наукова новизна та практична значимість

Обґрунтована структура факторів та значення їх навантажень на часткові показники дозволяє реалізувати економічну інтерпретацію складових фінансово-економічної безпеки, яка є притаманною підприємствам транспортної галузі Харківського регіону.

Спираючись на економічну сутність зазначених показників, перший фактор можна інтерпретувати як складову, що характеризує фінансову автономність та стійкість діяльності підприємства під впливом зміни зовнішніх чинників, а особливо мінливості зовнішніх джерел фінансування його діяльності. Значний відсоток пояснювальної мінливості та високі навантаження першого фактора на зазначені показники свідчать, що для аналізованих підприємств транспортної галузі саме власні джерела фінансування як операційної, так і інвестиційної діяльності є найбільш значимим підґрунтям щодо їх спроможності захищати фінансові інтереси від впливу загроз мезо- та макросередовищ.

Усі показники, що визначили структуру першого фактора, є тісно взаємозв'язаними та визначають спроможність промислового підприємства щодо підтримання високого рівня фінансової автономії та спроможності адаптації до дій зовнішніх економічних суб'єктів в загальній системі фінансових відносин.

Структуру другого фактора визначають показники, для яких характерним є стимулюючий вплив на динаміку досліджуваного явища. Склад фактора дозволяє трактувати його як складову, що характеризує саме ефективність і оперативність діяльності підприємства. Його частинні показники є одними з першочергових індикаторів зміни рівня фінансово-економічної безпеки підприємства транспортної галузі, оскільки, поєднуючи сукупність частинних характеристик ефективності, описують різні сторони його функціонування. Аналіз їх взаємозв'язку дозволяє виокремити чинники, що спричиняють як позитивний, так і негативний вплив на спроможність підприємства щодо захисту фінансових інтересів, а, отже, й у разі дестабілізуючої дії, розробити відповідний комплекс протидій [5, с. 63].

Стосовно третього фактора слід відзначити, що його доцільно інтерпретувати як складову, що характеризує майновий стан підприємства транспортної галузі. З урахуванням того факту, що однією з найважливіших проблем підприємств транспортної галузі є моральна та фізична застарілість основних фондів, реалізація ефективної інвестиційної політики набуває все більшого значення і має бути націлена на зміцнення позицій суб'єкта господарювання при взаємодії з зовнішнім оточенням. Високе значення загальної дисперсії цієї складової свідчить, що сьогодні актуальності набуває проблема приведення масштабів капітальних вкладень відповідно до реальних фінансових можливостей підприємства.

### Висновки

Таким чином, реалізація ітеративних процедур факторного моделювання дозволило виявити агреговані чинники, що характеризують ступінь впливу сукупності частинних показників на формування фінансово-економічної безпеки підприємств транспортної галузі. Визначені тенденції формування їх спроможності щодо захисту своїх фінансових інтересів є загальними для досліджуваних транспортних підприємств, пояснюють 72 % загальної мінливості частинних характеристик та відображають особливості сучасного процесу управління нею. Це обґрунтовує доцільність використання сформованої сукупності частинних показників як базисних параметрів інтегрального оцінювання стану фінансово-економічної безпеки підприємств транспортної галузі.

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бланк, И. А. Управление финансовой безопасностью предприятия / И. А. Бланк. – Киев : Ника – Центр, 2004. – 784 с.
2. Грибовский, С. В. О повышении достоверности оценки рыночной стоимости методом сравнительного анализа / С. В. Грибовский, Н. П. Баринов, И. Н. Анисимова // Вопр. оценки. – 2002. – № 1. – С. 2–10.
3. Кракос, Ю. Б. Подход к оценке уровня финансовой составляющей экономической безопасности предприятия / Ю. Б. Кракос // Економіка. Фінанси. Право. – 2006. – № 12. – С. 7–12.
4. Кучеренко, О. О. Управление экономичною безпекою підприємств залізничного транспортного машинобудування : автореф. дис. ... канд. екон. наук : 08.00.04 / Кучеренко Олександр Олександрович ; Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Харків, 2010. – 21 с.
5. Медведєва, І. Б. Діагностування безпеки промислового підприємства у тривірневій системі фінансових відносин : монографія / І. Б. Медведєва, М. Ю. Погосова. – Харків : ХНЕУ, 2011. – 264 с.
6. Мілай, О. І. Фінансова безпека на підприємствах залізничного транспорту / О. І. Мілай // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 38. – С. 263–269.
7. Моделирование экономической безопасности : монография / В. М. Гесць, М. О. Кизим, Т. С. Клебанова, О. І. Черняк. – Харків : ІНЖЕК, 2006. – 240 с.
8. Петренко, Л. М. Моделирование процесів управління фінансовою безпекою підприємства : автореф. дис. ... канд. екон. наук : 08.00.11 / Петренко Людмила Миколаївна ; Київ. нац. екон. ун-т ім. В. Гетьмана. – Київ, 2010. – 19 с.
9. Плюта, В. Сравнительный многомерный анализ в эконометрическом моделировании / В. Плюта [пер. В. В. Иванова]. – Москва : Финансы и статистика, 1989. – 176 с.
10. Фінансова безпека підприємства і банківських установ : монографія / за заг. ред. А. О. Єпіфанова. – Суми : ДВНЗ УАБС НБУ, 2009. – 296 с.
11. A new economic instrument for financing accelerated landfill aftercare / R. P. Beavena, K. Knoxh, J. R. Gronowc [et al.] // Waste Management. – 2014. – Vol. 34. – Iss. 7. – P. 1191–1198.
12. Chauhan, M. 3 Pillars of Financial Security / M. Chauhan. – Mumbai : Network 18 Publications Ltd, 2014. – 49 p.
13. Stachowiak, Z. Teoria i praktyka mechanizmu bezpieczeństwa ekonomicznego państwa : ujęcie instytucjonalne / Z. Stachowiak. – Warszawa : Wydawnictwo Akademii Obrony Narodowej, 2012. – 406 p.

А. А. НОВИКОВ<sup>1\*</sup>, М. Н. НОВИКОВА<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup>Управление транспортной инфраструктуры и связи, Харьковская областная государственная администрация, пл. Свободы, 6, Харьков, Украина, 61001, тел. +38 (067) 913 20 34, эл. почта [maryna\\_novikova@mail.ru](mailto:maryna_novikova@mail.ru), ORCID 0000-0001-8623-9431

<sup>2\*</sup>Каф. «Менеджмент и маркетинг в городском хозяйстве», Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, ул. Маршала Бажанова, 12, Харьков, Украина, 61001, тел. +38 (067) 913 20 34, эл. почта [maryna\\_novikova@mail.ru](mailto:maryna_novikova@mail.ru), ORCID 0000-0002-1238-4262

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА

**Цель.** Финансово-экономическая безопасность определяет устойчивое (сбалансированное и непрерывное) финансовое развитие предприятия, что обосновывает необходимость ее достижения на основе эффективного использования всех видов имеющихся ресурсов на предприятии. Цель статьи заключается в совершенствовании методических основ оценки состояния финансово-экономической безопасности транспортных предприятий с учетом отраслевой специфики для обеспечения принятия эффективных управленческих решений. **Методика.** Теоретическую и методическую основу исследования составляют системный анализ процессов оценивания и моделирования финансово-экономической безопасности предприятий транспортной отрасли, теоретические положения экономической науки в области оценивания финансовой эффективности хозяйственной деятельности в условиях меняющейся окружающей среды. **Результаты.** Исследована структура финансово-экономической безопасности предприятий транспортной отрасли. Определены внутренние связи между частными показателями исследуемого процесса для выделения необходимого

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

и достаточного количества наиболее индикативных факторов влияния. Систематизированы частные составляющие финансово-экономической безопасности на основе результатов моделирования процесса ее формирования на транспортных предприятиях при помощи методов факторного анализа. **Научная новизна.** Авторами усовершенствованы методические основы количественного оценивания уровня финансово-экономической безопасности предприятий транспортной отрасли на основе обоснованной совокупности частных показателей отдельных составляющих, которые были сформированы с учетом отраслевой специфики. Это позволяет осуществить комплексное оценивание степени влияния внешних и внутренних факторов на уровень финансово-экономической безопасности предприятий для обеспечения принятия эффективных управленческих решений по достижению запланированных финансовых показателей результативности их деятельности. **Практическая значимость.** Определены тенденции формирования способности транспортных предприятий к защите своих финансовых интересов, которые являются общими для исследуемых объектов, объясняют 72 % общей изменчивости частных характеристик и отражают особенности современного процесса управления финансово-экономической безопасностью. Это обосновывает целесообразность практического использования сформированной совокупности частных показателей финансово-экономической безопасности в качестве базисных параметров интегральной оценки ее состояния на предприятиях транспортной отрасли для обеспечения своевременного выявления и предотвращения возможных угроз функционированию предприятия в финансовой среде.

*Ключевые слова:* финансово-экономическая безопасность; транспортные предприятия; моделирование финансово-экономической безопасности; факторный анализ

A. O. NOVIKOV<sup>1\*</sup>, M. M. NOVIKOVA<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup>Management of Transport and Communication Infrastructure, Kharkiv Regional State Administration, Svoboda Sq., 6, Kharkiv, Ukraine, 61001, tel. +38 (067) 913 20 34, e-mail maryna\_novikova@mail.ru, ORCID 0000-0001-8623-9431

<sup>2\*</sup>Dep. «Management and Marketing in the Urban Economy», O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Marshal Bazhanov St., 12, Kharkiv, Ukraine, 61001, tel. +38 (067) 913 20 34, e-mail maryna\_novikova@mail.ru, ORCID 0000-0002-1238-4262

## MODELING OF FINANCIAL AND ECONOMIC SECURITY OF TRANSPORT ENTERPRISES BASED ON FACTOR ANALYSIS

**Purpose.** Financial and economic security defines sustainable financial development of the enterprise, that is balanced and sustained, it justifies the necessity to achieve it through the effective use of all kinds of resources that are available at the enterprise. The purpose of the article is to improve the methodical estimation bases of the financial and economic security state at the transport enterprises, taking into account sector specificity for making the effective management decisions. **Methodology.** Theoretical and methodical basis of the research is in the systematic analysis of the process of assessing and modeling of the financial and economic security of enterprises in transport sector, theoretical principles of economic science in the sphere of financial efficiency evaluation of economic activities in a changing environment. **Findings.** The structure of the financial and economic security of the enterprises in transport industry was studied. The internal communication between the partial indicators of the investigated process for selection of necessary and sufficient quantities of the most indicative factors of influence were defined. Partial components of the financial and economic security based on the results of its modeling formation at the transport enterprises using factor analysis methods were systematized. **Originality.** Authors improved the methodological basis of quantitative evaluation of the financial and economic security level at the transport enterprises on the basis of the aggregate partial indicators, which was formed with industry specificity. This allows evaluating complex estimation of the degree of external and internal factors influence on the financial and economic security at the enterprises to ensure the effective management decisions making in order to achieve planned financial performance indicators of their activity. **Practical value.** Certain trends of forming ability of the transport companies to protect their financial interests are common for the studied objects. They explain 72% of the total variability of partial characteristics and reflect the modern process features of financial management and economic security. This justifies practical use expediency of the formed aggregate of the partial indicators of the financial and economic security as the basic parameters of the integrated assessment of its state at the transport industry enterprises for providing timely detection and prevention possible threats of company functioning in the financial environment.

*Keywords:* financial and economic security; transport companies; modeling of financial and economic security; factor analyses

## REFERENCES

1. Blank Y.A. *Upravleniye finansovoy bezopasnostyu predpriyatiya* [Management of company financial security]. Kyiv, Nauka –Tsentrl Publ., 2004. 784 p.
2. Gribovskiy S.V. O povyshenii dostovernosti otsenki rynochnoy stoimosti metodom sravnitel'nogo analiza [On increase the reliability of the market value estimate with comparative analysis method]. *Voprosy otsenki – Evaluation problems*, 2002, issue 1, pp. 2-10.
3. Krakos Yu.B. Podkhod k otsenke urovnya fynansovoy sostavlyayushchey ekonomicheskoy bezopasnosti predpriyatiya [Approach to the level estimate of financial component of economic security at the enterprise]. *Ekonomika. Fiansy. Pravo – Busines, Finance. Law*, 2006, issue 12, pp. 7-12.
4. Kucherenko O.O. *Upravlinnia ekonomichnoiu bezpekoiu pidpriemstv zaliznychnoho transportnoho mashynobuduvannia*. Avtoreferat Diss. [Economic security management at the railway transport enterprises in a mechanical engineering. Author's abstract]. Kharkiv, 2010. 21 p.
5. Medvedieva I.B. *Diahnostuvannia bezpeky promyslovoho pidpriemstva u tryrivnenvii systemi finansovykh vidnosyn* [Diagnosing of the industrial enterprises security in the three-level system of financial relations]. Kharkiv, KhNEU Publ., 2011. 264 p.
6. Milai O.I. *Finansova bezpeka na pidpriemstvakh zaliznychnoho transportu* [Financial security at the railway enterprises]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 38, pp. 263-269.
7. Heiets V.M., Kyzym M.O., Klebanova T.S., Cherniak O.I. *Modeliuvannia ekonomichnoi bezpeky* [Simulation of economic security]. Kharkiv, INZhEK Publ., 2006. 240 p.
8. Petrenko L.M. *Modeliuvannia protsesiv upravlinnia finansovoiu bezpekoiu pidpriemstva*. Avtoreferat Diss. [Management modeling of financial security at the enterprise. Author's abstract]. Kyiv, 2010. 19 p.
9. Plyuta V. *Sravnitel'nyy mnogomernyy analiz v ekonometricheskom modelirovanii* [Comparative multivariate analysis in econometric modeling]. Moscow, Fynansy i statistika Publ., 1989. 176 p.
10. Yepifanov A.O. *Finansova bezpeka pidpriemstva i bankivskykh ustanov* [Financial security of enterprises and bank institutions]. Sumy, DVNZ UABS NBU Publ., 2009. 296 p.
11. Beavena R.P., Knox K., Gronowc J.R., Hjelmard O., Greedy D., Scharfff H. A new economic instrument for financing accelerated landfill aftercare. *Waste Management*, 2014, vol. 34, issue 7, pp. 1191-1198.
12. Chauhan M. *3 Pillars of Financial Security*. Mumbai, Network 18 Publications Ltd Publ., 2014. 49 p.
13. Stachowiak Z. *Teoria i praktyka mechanizmu bezpieczenstwa ekonomicznego państwa: ujęcie instytucjonalne*. Akademia Obrony Narodowej. Warszawa, Wydawnictwo Akademii Obrony Narodowej, 2012. 406 p.

*Стаття рекомендована до публікації д.е.н., проф. Н. О. Кондратенком (Україна); д.е.н., проф. Ю. С. Барашем (Україна)*

Надійшла до редколегії: 12.09.2014

Прийнята до друку: 03.11.2014

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 629.4.053

О. М. ГОРОБЧЕНКО<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Експлуатація і ремонт рухомого складу», Українська державна академія залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61500, тел. +38 (063) 580 27 13, ел. пошта superteacher@yandex.ru, ORCID 0000-0002-9868-3852

### МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПАРАМЕТРА СКЛАДНОСТІ НЕШТАТНОЇ СИТУАЦІЇ ПІД ЧАС ВЕДЕННЯ ПОЇЗДА

**Мета.** При розробці інтелектуальних систем керування локомотивом постає необхідність в оцінці поточної поїзної ситуації з точки зору безпеки руху. Для того, щоб оцінити ймовірність розвитку різних нештатних ситуацій в транспортні події, необхідно визначити їх складність. Метою статті є розробка методології визначення складності нештатних ситуацій при керуванні локомотивом. **Методика.** Для досягнення поставленої мети накопичено статистичний матеріал порушень безпеки руху; причини порушень розділені на групи: технічний фактор, людський фактор та зовнішні впливи. За допомогою теорії гібридних мереж отримана модель, яка на виході дає параметр складності нештатної ситуації. Тип мережі: багатoshаровий персеPTRон із гібридними нейронами першого шару та сигмоїдною функцією активації. З використанням методів теорії ймовірності проведено аналіз отриманих результатів. **Результати.** Розроблено підхід до формалізації виробничих ситуацій, які можуть бути описані тільки лінгвістично, що дозволило використати їх в якості вхідних даних моделі нештатної ситуації. Встановлено та обґрунтовано, що показник складності нештатної ситуації при веденні поїзду є величиною випадковою й підпорядковується нормальному закону розподілення. Отримано графік інтегральної функції розподілення, на якому визначені зони безпечної роботи та підвищеної небезпеки виникнення транспортної події. **Наукова новизна.** Запропоновано теоретичне підґрунтя визначення складності нештатних ситуацій в поїзній роботі, отримано максимальне значення параметру складності нештатної ситуації, що може бути допущено в умовах експлуатації. **Практична значимість.** Постійний моніторинг цієї величини дозволяє вчасно реагувати на загрозу виникнення небезпеки, а отримання її в чисельній формі – використовувати як один із вхідних параметрів для роботи інтелектуальної системи керування локомотивом, на підставі якого буде прийматися рішення про подальші керуючі дії.

*Ключові слова:* безпека руху; нештатна ситуація; локомотивна бригада; інтелектуальна система

#### Вступ

Постановка проблеми. Для впровадження інтелектуальних систем керування (ІСК) рухомим складом необхідно формалізувати процес оцінювання машиністом локомотива поточної поїзної ситуації з точки зору безпеки. Тоді система буде повною і зможе взяти на себе функцію оперативного моніторингу безпеки під час поїздки. Складність тут полягає в тому, що локомотивна бригада в своїх судженнях спирається не на цифри та формули, а на суб'єктивний досвід та знання.

Аналіз досліджень та публікацій. Безпека руху та надійність ергатичних систем на транспорті є предметом постійного вивчення і досліджень [2, 5, 9]. ІСК все більше використовуються і поширюються в технічних системах та при керуванні складними технічними об'єктами [4, 6]. На залізничному транспорті вони також мають свої перспективи впровадження [12, 13]. Теоретична база для цього постійно поглиблюється, зокрема формалізована за допомогою гібридних мереж задача визначення складності нештатних ситуацій, що виникають під час керування локомотивом [3].

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

**Мета**

Для практичного застосування в системах інтелектуального керування локомотивами блоків оцінювання складності поточної нештатної ситуації (НС) потрібно формалізувати і визначити величину цього параметра. Важливим завданням також є обґрунтування його граничного значення, при якому складність НС потрібно вважати небезпечною і застосовувати необхідні заходи запобігання можливої небезпеки.

**Методика**

Методологія оцінювання складності НС при керуванні локомотивом розроблена з використанням обставин реальних випадків порушення безпеки руху. Як приклад використання запропонованої моделі оцінимо складність нештатної ситуації, що сталася 9 червня 2008 року. Під час виконання маневрової роботи по станції Тернопіль-Вантажний [1] тепловозом 2М62-0765 допущено зіткнення з краном колійного укладчика УК-25. В результаті зіткнення смертельно травмовано електрогазозварювальника, пошкоджений рухомий склад. Машиніст отримав команду ДСП: з 31-ї колії заїхати за маневровий світлофор М12 і чекати команду подальших маневрових пересувань. Локомотивна бригада за 2,5 хв змінила кабінку управління і при прямуванні по 31-ї колії за 150 м до сигналу Н31 з білим вогнем при швидкості 30 км/год машиніст застосував гальмування краном допоміжного гальма з наповненням гальмових циліндрів до 2,8 кг/см<sup>2</sup>, швидкість зменшилась повільно з причини роз'єднання міжсекційних рукавів системи допоміжного гальма. При подальшому прямуванні по ухилу 0,005 за 50 м до вагонів застосовано екстрене гальмування, але зіткненню машиніст не запобіг. Машиністом допущені такі порушення: вимоги п. 12.4 ПТЕ, Інструкції № ЦТ-0056 в частині приймання тепловоза в локомотивному депо щодо перевірки його технічного стану; вимоги п. 1.37.7 Наказу № 555/Н-2007 щодо переключення червоного вогню на білий вогонь локомотивного світлофора після прослідкування світлофора Н-31 та слідування із швидкістю 30 км/год при допустимій не більше 20 км/год; вимоги розділу 4 Інструкції № ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015 щодо виконання порядку зміни кабіни керування тепловозом: протягом трьох

хвилин локомотивною бригадою здійснена дворазова зміна кабіни управління, що унеможливило виконання встановленого порядку; вимоги п. 4.4 № ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015: після зміни кабіни управління та приведення в рух локомотива і слідуванні по 31-й колії локомотивна бригада не перевірила дію допоміжного гальма при швидкості руху 3–5 км/год до отримання початкового гальмівного ефекту; не застосування усіх засобів екстреної зупинки (контраструм).

Транспортною подією, що описується вище, є зіткнення. Цьому передувала нештатна ситуація, в якій опинилась локомотивна бригада – неможливість зупинити локомотив.

Моделювання виникнення НС виконано за допомогою гібридної мережі, що являє собою багаточаровий перцептрон (рис. 1) [3, 11].

Визначимо в цій ситуації сигнали, що повинні бути подані на нейрон ЛФ (людський фактор): 1 – порушення порядку перевірки технічного стану при прийманні тепловозу в депо; 2 – перевищення швидкості; 3 – порушення порядку зміни кабіни керування; 4 – незастосування усіх засобів екстреної зупинки.

Сигнал, що повинен бути поданий на нейрон ТФ (технічний фактор): 1 – роз'єднання міжсекційних рукавів системи допоміжного гальма.

Сигнал, що повинен бути поданий на нейрон ЗФ (зовнішній фактор): 1 – прямування по ухилу 0,005.

Тепер потрібно визначити вагу сигналів ( $w_i$ ), що є характеристичними функціями сигналів на вході. При цьому будемо користуватися нечіткими і лінгвістичними змінними.

Формалізація описання виразу «порушення порядку приймання тепловозу в депо» може бути проведена за допомогою наступної нечіткої змінної ( $\alpha$ , X, A) [10], де  $\alpha$  – перевірка технічного стану при прийманні локомотива виконана в повному обсязі; X = [0, 19]. Саме такий інтервал обраний на підставі Інструкції з технічного обслуговування електровозів і тепловозів в експлуатації № ЦТ-0056. В ній передбачено перелік операцій, що повинна виконати локомотивна бригада при прийманні локомотива, в кількості 19 найменувань (п. 2.2.2); A – нечітка множина на X, що описує характеристичну функцію  $\mu_A(x)$  [7].

Вигляд функції приналежності  $\mu_A(x)$  наведений на рис. 2.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

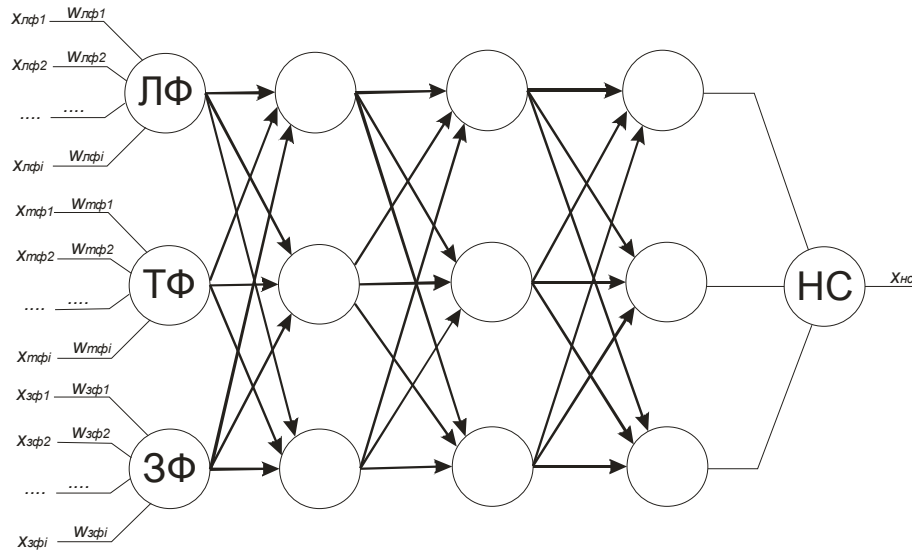
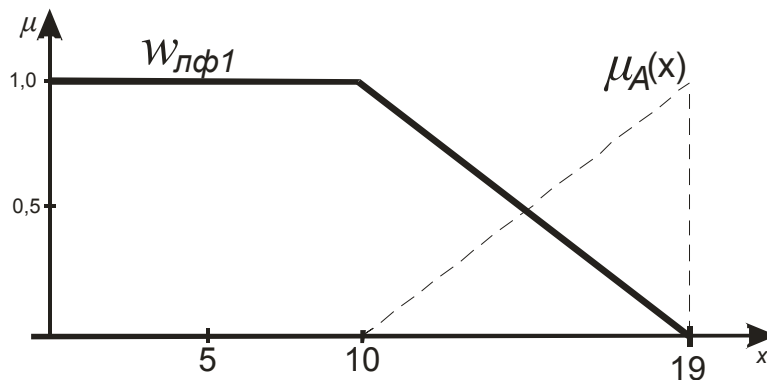


Рис. 1. Модель виникнення нештатної ситуації з багат шаровим перцептроном

Fig. 1. The model of the unforeseen situation with multilayer perceptron

Рис. 2. Залежність ваги  $w_{лф1}$  сигналу  $x_{лф1}$  = «порушення порядку перевірки технічного стану при прийманні тепловоза в депо» від фактичного обсягу перевіркиFig. 2. The dependence of the weight  $w_{лф1}$  signal  $x_{лф1}$  = «the violation of the checking procedure for the technical condition of the locomotive depot acceptance» from the actual verification volume

Для випадку, що розглядається, можна впевнено сказати, що перевірка технічного стану локомотива була виконана в значно скороченому обсязі, тобто можна припустити, що  $X \ll 10$ . Відповідно вага цього сигналу  $w_{лф1} = 1$ .

Аналогічним чином визначається вага сигналів, що наведені вище. Тоді множина ваги людського фактора:

$$W_{лф} = (w_{лф1}, w_{лф2}, w_{лф3}, w_{лф4}) = (1, 1, 0.3, 0.4);$$

множина ваги технічного фактора:

$$W_{тф} = (w_{тф1}) = (1);$$

множина ваги зовнішнього фактора:

$$W_{зф} = (w_{зф1}) = (0, 4).$$

Окремо потрібно сказати про присвоєння фактора «роз'єднання міжсекційних рукавів системи допоміжного гальма» ваги 1. Априорна інформація при її визначенні така: справність гальмівної системи поїзда (локомотива) є одним з вирішальних факторів безпеки руху. Цей фактор розглядався як складова частина термножини «Несправності гальмівного повітропроводу локомотива», до якої належать такі терми: «Відсутня витока повітря», «Незначна витока повітря» і так далі до крайнього випадку «Розрив ГМ». Навіть якщо б фактор характеризувався термом «Незначна витока повітря», то

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

і в цьому випадку вагу  $w_{\text{тф1}}$  потрібно було б призначати не нижче 0,8 з огляду на значущість фактора. Тому цілком природно, що фактор «роз'єднання міжсекційних рукавів системи допоміжного гальма» отримав максимальну вагу  $w_{\text{тф1}} = 1$ .

Підставляючи ці вихідні дані в гібридну мережу на рис. 1, після розрахунку маємо  $x_{\text{нс}} = 0,982$ . Це означає, що в результаті несприятливого збігу обставин, що описується в аналізі, утворилася майже найскладніша нештатна ситуація, імовірність перетворення якої в транспортну подію дуже велика.

Також проаналізуємо за допомогою гібридної мережі наступний випадок, оскільки тут відсутній технічний фактор, але є вплив зовнішніх факторів. І все залежало від дій локомотивної бригади.

02.10.2008 року о першій годині одній хвилині при маневровому пересуванні по станції Джанкой тепловозом 2ТЕ116 № 1582 секції «Б»

сталася зіткнення локомотива з головним вагоном поїзда № 615 за таких обставин. При виїзді з депо Джанкой машиніст отримав план роботи: від світлофора М70 за світлофор М30, потім від світлофора М30 на вільну колію 5Ю, з колії 5Ю за світлофор М34 та від світлофора М34 на зайняту колію 4Ю під состав. Перед прослідкуванням світлофора М34 заднім ходом тепловоза локомотивна бригада, порушуючи вимоги п. 3.15 ЦТ-0106, не отримала підтвердження ДСП про готовність маршруту прямування на зайняту колію 4Ю. Під час прямування на зайняту поїздом 615 колію 4Ю, порушуючи п. 15.24 ПТЕ, локомотивна бригада не слідкувала за вільністю колії та розміщенням рухомого складу, порушуючи п. 5.1 інструкції ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015, машиніст при під'їзді до состава не виконав зупинку локомотива на відстані 5–10 метрів від першого вагона. Внаслідок чого сталася зіткнення тепловоза з головним вагоном поїзда № 615 при швидкості 18 км/год.

Таблиця 1

## Несправності основного обладнання ТРС за 2007–2008 роки

Table 1

## Failures of basic equipment HDS for 2007-2008

Обладнання	Залізниця													
	Дон.		Львів.		Одес.		Півден.		П-Зах.		Придн.		Укрзал.	
	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007
Дизель	7	1	8	18	6	11	12	15	1	7	2	1	36	53
Головний генератор	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	3
Силкові транс. реакт.	0	0	0	0	0	4	0	0	2	2	0	0	2	6
ТЕД	1	3	5	4	11	12	2	2	4	9	4	8	27	38
Інші	2	0	1	0		0		0		0	2	0	5	0
Допом. мех. обладн.	1	0	2	2	1	8	0	4	2	0	3	2	9	16
Допом. ел. обладн.	1	0	1	2	3	0	0	2	1	2	0	2	6	8
Колісні пари	0	0	1	2	2	0	0	0	0	0	2	1	5	3
Букси колісних пар	1	0	1	1	6	5	1	1	7	5	3	6	19	18
Колісномоторн. блок	2	0	5	4	6	1	0	6	6	4	4	4	23	19
Силкові кола	4	13	2	3	12	7	4	3	10	10	11	14	43	50
Н/вольтні кола	5	4	9	0	18	15	8	1	9	14	5	6	54	40
Ел. ап-ра силова	4	1	1	1	4	0	1	0	1	1	1	2	12	5
Ел. ап-ра кіл упр-ня	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1

Закінчення табл. 1

End of Table 1

Обладнання	Залізниця													
	Дон.		Львів.		Одес.		Півден.		П-Зах.		Придн.		Укрзал.	
	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007
Акумулят. батарея	0	0	2	1	2	4	0	0	1	0	1	1	6	6
Гальмівне обладн.	1	0	5	0	2	5	2	0	5	3	6	0	21	8
Візок	0	1	0	1	0	2	0	1	0	2	2	1	2	8
Автозчеп	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	2	1
Дахове обладнання	2	1	1	3	4	5	1	1	6	7	4	5	18	22
Невірні дії бригад	1	6	7	8	10	8	1	2	7	6	6	9	32	39
Всього	32	30	51	51	88	88	34	38	63	74	56	63	324	344

Визначимо сигнали для подачі на нейрон ЛФ (людський фактор): 1 – бригада не отримала підтвердження ДСП про готовність маршруту прямування; 2 – локомотивна бригада не слідувала за вільністю колії та розміщенням рухомого складу; 3 – машиніст при під'їзді до состава не виконав зупинку локомотива.

Сигнали, що повинні бути подані на нейрон ТФ відсутні.

Сигнали, що повинні бути подані на нейрон ЗФ: 1 – недостатня видимість в темний час доби; 2 – недостатня видимість через прямування однією секцією кабіною назад; 3 – прямування на зайняту колію.

Згідно з наведеним вище порядком визначення ваги сигналів, встановлюємо:

$$W_{\text{лф}} = (w_{\text{лф}1}, w_{\text{лф}2}, w_{\text{лф}3}) = (0,8; 1, 1);$$

множина ваг зовнішнього фактора:

$$W_{\text{зф}} = (w_{\text{зф}1}, w_{\text{зф}2}, w_{\text{зф}3}) = (0,4; 0,8; 0,8).$$

В результаті розрахунку маємо  $x_{\text{нс}} = 0,262$ .

Ми бачимо, що порівняно з першим описаним випадком складність нештатної ситуації була значно нижче, але вона все ж таки призвела до транспортної події.

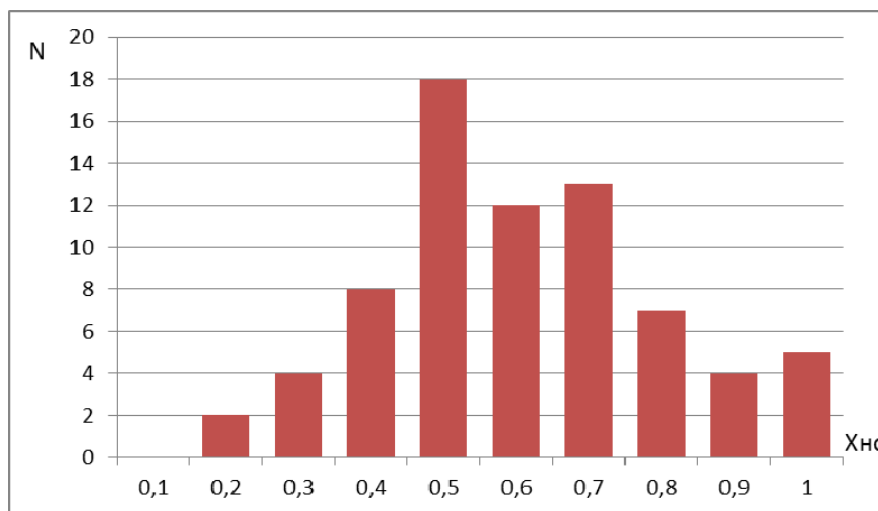


Рис. 3. Розподіл транспортних подій за складністю нештатної ситуації

Fig. 3. The distribution of accidents according to the complexity of the unforeseen situation

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Тому постає завдання визначити величину  $x_{нс}$ , при перевищенні якої імовірність виникнення транспортної події стає достатньо великою. Для цього потрібно використати статистичні дані. Незважаючи на такі випадки, які описані вище, де для уникнення транспортної події не потрібно було ніяких технічних засобів та додаткових заходів, а лише виконання локомотивною бригадою своїх обов'язків, все ж доля випадків з технічних причин залишається дуже великою. З даних про причини транспортних подій видно, що якість ремонту та утримання рухомого складу ще далека від ідеальної (табл. 1).

**Результати**

Загалом за допомогою розробленої гібридної мережі було розраховано складність нештатних ситуацій для 73 транспортних подій.

Розподілення параметра  $x_{нс}$  для цієї вибірки наведено на рис. 3.

Середнє значення показника складності нештатної ситуації з наведеної вибірки буде складати

$$\overline{x_{нс}} = \frac{\sum_1^n x_{нс}}{n}, \quad (1)$$

де  $x_{нс}$  – значення показника складності нештатної ситуації для цієї транспортної події;  $n$  – кількість транспортних подій, що розглядається.

$$\overline{x_{нс}} = 0,607.$$

Дисперсія показника складності

$$\sigma_{x_{нс}}^2 = \frac{\sum_1^n (x_{нсi} - \overline{x_{нс}})^2}{n} \quad (2)$$

$$\sigma_{x_{нс}}^2 = 0,0376.$$

Розподіл транспортних подій за складністю НС підпорядковується нормальному закону. Це перевірено за допомогою критерію Пірсона  $\chi^2$  [8]. Для нашої вибірки (рис. 3) критичне значення критерію  $\chi^2$  при числі ступенів свободи  $df = 7$  та рівню значущості  $0,05$ :  $\chi_{кр}^2(7; 0,05) = 14,068$ . В результаті розрахунків знайдено величину критерію, що спостерігається,  $\chi_{сп}^2 = 8,539$ . В нашому випадку  $\chi_{кр}^2 > \chi_{сп}^2$ , тому робимо висновок, що гіпотеза про нормальне розподілення даних на рис. 3 підтверджується.

**Наукова новизна та практична значимість**

Крива  $p(x_{нс})$  на рис. 4 характеризує складність нештатних ситуацій, що призводять до виникнення транспортних подій.

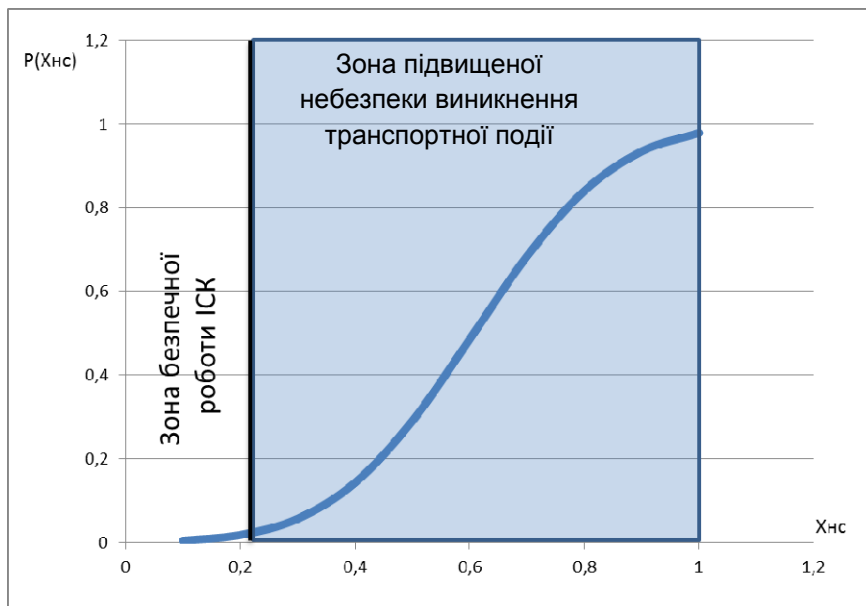


Рис. 4. Інтегральна функція розподілення  $p(x_{нс})$

Fig. 4. Cumulative distribution function  $p(x_{нс})$

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Потрібно визначити, при якому максимальному значенні  $x_{нсmax}$  нештатна ситуація стає достатньо загрозовою, щоб стати причиною виникнення транспортної події. Для визначення цього значення пропонується скористатися правилом «двох сигм», тому що правило «трьох сигм» завдає дуже жорсткі критерії до показника  $x_{нс}$ , коли практично всі ситуації при веденні поїзда з імовірністю 0,9973 будуть вважатися загрозовими для безпеки руху. Отже величина максимально можливого в експлуатації параметра  $x_{нс}$  може бути розраховано за формулою

$$x_{нсmax} = \overline{x_{нс}} - 2\sigma_{x_{нс}}, \quad (3)$$

де  $\overline{x_{нс}}$  – середнє значення складності нештатної ситуації згідно з статистичними даними;  $\sigma_{x_{нс}}$  – середньоквадратичне відхилення  $x_{нс}$ .

$$x_{нсmax} = 0,607 - 2 \times 0,194 = 0,219.$$

При досягненні цього значення НС потрібно вважати небезпечною і вживати заходів з усунення причин, що підвищують її складність.

### Висновки

В результаті розробки методології визначення складності НС отримано можливість введення цього параметра до вихідних даних роботи інтелектуальних систем керування локомотивом. Це дозволить внести до моделі керування поїздом важливі дані для поточного оцінювання стану безпеки. Отримане максимальне значення параметра  $x_{нс}$  потрібно для визначення моменту, коли навколишня поїзна ситуація стає настільки загрозовою, що необхідно вжити заходів з її корегування.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз стану безпеки руху поїздів у локомотивному господарстві України за 2008 рік : ЦТ-6/2. – Київ : Укрзалізниця, 2009. – 58 с.
2. Горобченко, О. М. Визначення імовірності виникнення транспортної події в локомотивному господарстві / О. М. Горобченко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 35. – С. 41–44.
3. Горобченко, О. М. Моделирование возникновения нештатной ситуации в эргатичной системе «локомотивная бригада – поезд» / О. М. Горобченко // Зб. наук. пр. ДонІЗТ. – Донецьк, 2014. – Вип. 38. – С. 144–147.
4. Ерофеев, А. А. Интеллектуальные системы управления / А. А. Ерофеев, А. О. Поляков. – Санкт-Петербург : СПб ГТУ, 1999. – 265 с.
5. Каменев, О. Ю. Проблематика підходів до дослідження безпеки використання ергатичних систем керування на залізничному транспорті / О. Ю. Каменев // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 44. – С. 7–16.
6. Колесников, А. В. Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки / А. В. Колесников. – Санкт-Петербург : СПб ГТУ, 2001. – 700 с.
7. Круглов, В. В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голубов. – Москва : Мир, 2004. – 224 с.
8. Леман, Э. Проверка статистических гипотез / Э. Леман. – Москва : Наука, 1979. – 408 с.
9. Макаренко, Л. М. Вплив людського чинника на безпеку руху залізничного транспорту : аналітичний огляд / Л. М. Макаренко // Залізн. трансп. України. – 2010. – № 1. – С. 46–51.
10. Хайкин, С. Нейронные сети / С. Хайкин. – Москва : Вильямс, 2006. – 1104 с.
11. Царегородцев, В. Г. Конструктивный алгоритм синтеза структуры многослойного перцептрона / В. Г. Царегородцев // Вестн. КазНУ им. Аль-Фараби. Серия : «Математика, механика, информатика». – 2008. – № 4 (59), ч. 3. – С. 308–315.
12. Li-min, JIA. The system architecture of Chinese railway intelligent transportation system / JIA Li-min, LI Ping // Proc. of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. – Beijing : IEEE, 2007. – Vol. 5. – P.1424–1432.
13. Deng, P. On intelligent automatic train control of railway moving automatic block systems based on multi-agent systems. / P. Deng, Z. Yingping, Z. Chuansheng // 29th Chinese Control Conference (CCC). – Beijing : IEEE, 2010. – Vol. 1. – P. 4471–4476.

А. Н. ГОРОБЧЕНКО<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Експлуатація і ремонт подвижного складу», Українська державна академія залізничного транспорту, площа Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61500, тел. +38 (063) 580 27 13. ел. пошта superteacher@yandex.ru, ORCID 0000-0002-9868-3852

## МЕТОДОЛОГІЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ПАРАМЕТРА СЛОЖНОСТИ НЕШТАТНОЙ СИТУАЦИИ ВО ВРЕМЯ ВЕДЕНИЯ ПОЕЗДА

**Цель.** При разработке интеллектуальных систем управления локомотивом возникает необходимость в оценке текущей поездной ситуации с точки зрения безопасности движения. Для того, чтобы оценить вероятность развития различных нештатных ситуаций в транспортные происшествия, необходимо определить их сложность. Целью статьи является разработка методологии определения сложности нештатных ситуаций при управлении локомотивом. **Методика.** Для достижения поставленной цели накоплен статистический материал нарушений безопасности движения; причины нарушений разделены на группы: технический фактор, человеческий фактор и внешние воздействия. С помощью теории гибридных сетей получена модель, которая на выходе дает параметр сложности нештатной ситуации. Тип сети: многослойный перцептрон с гибридными нейронами первого слоя и сигмоидной функцией активации. С использованием методов теории вероятности проведен анализ полученных результатов. **Результаты.** Разработан подход к формализации производственных ситуаций, которые могут быть описаны только лингвистически, что позволило использовать их в качестве входных данных модели нештатной ситуации. Установлено и обосновано, что показатель сложности нештатной ситуации при ведении поезда является величиной случайной и подчиняется нормальному закону распределения. Получен график интегральной функции распределения, на котором определены зоны безопасной работы и повышенной опасности возникновения транспортного происшествия. **Научная новизна.** Предложены теоретические основы определения сложности нештатных ситуаций в поездной работе, получено максимальное значение параметра сложности нештатной ситуации, которая может быть допущена в условиях эксплуатации. **Практическая значимость.** Постоянный мониторинг этой величины позволяет своевременно реагировать на угрозу возникновения опасности, а получение ее в численной форме – использовать как один из входных параметров для работы интеллектуальной системы управления локомотивом, на основании которого будет приниматься решение о дальнейших управляющих действиях.

*Ключевые слова:* безопасность движения; нештатная ситуация; локомотивная бригада; интеллектуальная система

О. М. HOROVCHENKO<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Operation and Maintenance of Rolling Stock», Ukrainian State Academy of Railway Transport, Feiierbakh Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61500, tel. +38 (063) 580 27 13, e-mail superteacher@yandex.ru, ORCID 0000-0002-9868-3852

## METHODOLOGY FOR DETERMINING THE VALUE OF COMPLEXITY PARAMETER FOR EMERGENCY SITUATION DURING DRIVING OF THE TRAIN

**Purpose.** During development of intelligent control systems for locomotive there is a need in the evaluation of the current train situation in the terms of traffic safety. In order to estimate the probability of the development of various emergency situations in to the traffic accidents, it is necessary to determine their complexity. The purpose of this paper is to develop the methodology for determining the complexity of emergency situations during the locomotive operation. **Methodology.** To achieve this purpose the statistical material of traffic safety violations was accumulated. The causes of violations are divided into groups: technical factors, human factors and external influences. Using the theory of hybrid networks it was obtained a model that gives the output complexity parameter of the emergency situation. Network type: multilayer perceptron with hybrid neurons of the first layer and the sigmoid activation function. The methods of the probability theory were used for the analysis of the results. **Findings.** The

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

approach to the formalization of manufacturing situations that can only be described linguistically was developed, that allowed to use them as input data to the model for emergency situation. It was established and proved that the exponent of complexity for emergency situation during driving the train is a random quantity and obeys to the normal distribution law. It was obtained the graph of the cumulative distribution function, which identified the areas for safe operation and an increased risk of accident. **Originality.** It was proposed theoretical basis for determining the complexity of emergency situations in the train work and received the maximum complexity value of emergency situations that can be admitted in the operating conditions. **Practical value.** Constant monitoring of this value allows not only respond to the threat of danger, but also getting it in numerical form and use it as one of the input parameters for the locomotive intelligent control system. The decision on further control actions will be based on it.

*Keywords:* safety; emergency situation; locomotive crew; intelligent system

## REFERENCES

1. *Analiz stanu bezpeky rukhu poizdiv u lokomotyvnomu hospodarstvi Ukrainy za 2008 rik* [Analysis of traffic safety in the locomotive sector of Ukraine in 2008]. Kyiv, Ukrzaliznyzia Publ., 2009. 58 p.
2. Horobchenko O.M. Vyznachennia imovirnosti vynyknennia transportnoi podii v lokomotyvnomu hospodarstvi [The probability of traffic accident determination in the locomotive department]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 35, pp. 41-44.
3. Horobchenko O.M. Modeliuvannia vynyknennia neshtatnoi sytuatsii v erhatychnii systemi «lokomotyvna bryhada – poizd» [Simulation of emergency situation in ergatic system «locomotive crew – the train»]. *Zbirnyk naukovykh prats DonIZT* [Proc. of Donetsk Institute of Railway Transport], 2014, issue 38, pp. 144-147.
4. Yerofeyev A.A., Polyakov A.O. *Intellektualnyye sistemy upravleniya* [Intelligent Control Systems]. Saint Petersburg, SPb GTU Publ., 1999. 265 p.
5. Kameniev O.Yu. Problematyka pidkhodiv do doslidzhennia bezpeky vykorystannia erhatychnykh system keruvannia na zaliznychnomu transporti [Problems approaches to study the safety of ergodic control systems for railways]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 44, pp. 7-16.
6. Kolesnikov A.V. *Gibridnyye intellektualnyye sistemy. Teoriya i tekhnologiya razrabotki* [Hybrid intelligent systems. Theory and technology of development]. Saint Petersburg, SPb GTU Publ., 2001. 700 p.
7. Kruglov V.V., Dli M.I., Golubov R.Yu. *Nechetkaya logika i iskusstvennyye neyronnyye seti* [Fuzzy logic and artificial neural networks], Moscow, Mir Publ., 2004. 224 p.
8. Leman E. *Proverka statisticheskikh gipotez* [Testing of statistical hypotheses]. Moscow, NaukaPubl., 1979. 408 p.
9. Makarenko L.M. Vplyv liudskoho chynnyka na bezpeku rukhu zaliznychnoho transportu [Influence of human factor on the safety of railway transportation]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2010, no. 1, pp. 46-51.
10. Khaykin S. *Neuronnyye seti. Polnyy kurs* [Neural networks. Full course]. Moscow, Vilyams Publ., 2006, 1104 p.
11. Tsaregorodtsev V.G. Konstruktivnyy algoritm sinteza struktury mnogoslonoynogo perseptrona [A constructive algorithm for the synthesis of multilayer perceptron structure]. *Vestnik Kazakhskogo natsionalnoho universytetu imeni al-Farabi. Seriya «Matematika, mekhanika, informatsiya» – Bulletin of Kazakh National University named after al-Farabi. Series «Mathematics, Mechanics, Information»*, 2008, no. 4 (59), part. 3, pp. 308-315.
12. Li-min JIA, Ping LI. The system architecture of Chinese railway intelligent transportation system. Proc. of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Beijing, 2007, vol. 5, pp. 1424-1432.
13. Deng P., Yingping Z., Chuansheng Z.. On intelligent automatic train control of railway moving automatic block systems based on multi-agent systems. 29th Chinese Control Conference (CCC). Beijing, 2010, vol. 1, pp. 4471-4476.

*Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. М. В. Паламарчуком (Україна); д.т.н., проф. Б. Є. Боднарем (Україна)*

Надійшла до редколегії: 02.09.2014

Прийнята до друку: 21.10.2014

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 621.316:656.1.025.2

В. В. АУЛІН<sup>1\*</sup>, І. О. ПЛОХОВ<sup>2</sup>, Д. В. ГОЛУБ<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Експлуатація та ремонт машин», Кіровоградський національний технічний університет, просп. Університетський, 8, Кіровоград, 25006, тел. + 38 (095) 055 74 11, ел. пошта aulin52@mail.ru, ORCID 0000-0003-2737-120X

<sup>2</sup>Каф. «Експлуатація та ремонт машин», Кіровоградський національний технічний університет, просп. Університетський, 8, Кіровоград, 25006, тел. + 38 (095) 938 99 54, ел. пошта plokhov89@gmail.com, ORCID 0000-0002-0238-3645

<sup>3</sup>Каф. «Експлуатація та ремонт машин», Кіровоградський національний технічний університет, просп. Університетський, 8, Кіровоград, 25006, тел. + 38 (066) 516 80 74, ел. пошта dimchik\_2004@mail.ru, ORCID 0000-0003-4984-1161

### ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРОЛЕЙБУСАМИ НА ОСНОВІ РІВНІВ СПОЖИТОЇ НИМИ ПОТУЖНОСТІ

**Мета.** В роботі розглянуті питання підвищення ефективності використання тролейбусів при перевезенні пасажирів на основі аналізу рівнів потужності споживаної електроенергії та коректування термінів їх технічного обслуговування (ТО). **Методика.** Для досягнення поставленої мети пропонується встановити відповідність потужності споживаної тролейбусом електроенергії перевезеній кількості пасажирів з урахуванням характеристик маршруту. При цьому основними показниками роботи тролейбуса є: швидкість руху на перегонах, кількість включень тягового двигуна, напруга та сила струму в мережі, які знімалися обліковцем з панелі приладів. Результати досліджень вносились в таблицю та фіксувалися відеореєстратором. Поряд з дослідженням витрати потужності споживаної тролейбусом електроенергії проводився й облік пасажиропотоку. **Результати.** Встановлено прямопропорційну залежність між рівнем спожитої тролейбусом енергії і кількістю перевезених пасажирів для незмінних характеристик маршруту. **Наукова новизна.** В якості критерію оцінки ефективності роботи тролейбусів на маршруті пропонується використовувати співвідношення між споживанням електроенергії та кількості перевезених пасажирів для даних характеристик маршруту. Експериментально це підтверджено. Отримані формули, які дають можливість збалансувати роботу сил і, відповідно, обсяг спожитої енергії при русі тролейбуса на підйом та на спуск. **Практична значимість.** Запропонований критерій можна використовувати для коректування термінів проведення ТО за індивідуальною програмою, тобто індивідуальне технічне обслуговування (ІТО). Вид виконуваних робіт при ІТО повинен визначатися на основі системи діагностичних даних транспортного засобу (ТЗ). Сформульовані принципи ІТО: 1) основною залишається планово-запобіжна стратегія виявлення і усунення пошкоджень і проведення технічних дій; 2) оперативне керування технічним станом ТЗ на основі прогнозування його стану за допомогою запропонованого критерію, що враховує залежність споживаної потужності від кількості пасажирів при визначених характеристиках маршруту; 3) індивідуальний підхід до оцінки технічного стану кожного конкретного ТЗ; 4) індивідуальне прогнозування періодичності ТО і технічного стану ТЗ.

**Ключові слова:** потужність; споживана електроенергія; тролейбус; моніторинг; пасажирські перевезення; характеристика маршруту

#### Вступ

Однією з найбільш суттєвих складових експлуатаційних витрат підприємств міського електротранспорту (МЕТ) є електроенергія [11].

doi 10.15802/stp2014/32645

У зв'язку з цим важливого значення набуває організація правильного планування витрат електроенергії, в основі якого лежать норми її споживання по різних складових. Виявлено, що основ-

© В. В. Аулін, І. О. Плохов, Д. В. Голуб, 2014

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

ним споживачем електроенергії на підприємствах МЕТ (90–95 %) є рухомий склад. Решта електроенергії витрачається в депо, в майстернях, під час ремонту різних механізмів і машин та інших технологічних потребах [7, 12].

Норма витрати електричної енергії – це плановий показник її питомого споживання. Як показник питомої витрати електроенергії доцільно застосовувати витрату електроенергії в кВт·год на 1 000 км транспортної роботи. Цей показник точно відображає енергетичні витрати на рух рухомого складу (РС) та на більшість інших процесів в експлуатації.

Нормуванню повинні підлягати усі витрати електричної енергії виробничо-експлуатаційних потреб, пов'язаних безпосередньо з перевезенням пасажирів, експлуатацією рухомого складу, систем електропостачання. Нормування електроенергії є однією із складових щодо її економії та ефективності використання електротранспорту [10].

Порівняння планових витрат з фактичними дозволяє проаналізувати і виявити напрями підвищення ефективності роботи електротранспорту по перевезенню пасажирів, раціонального розподілу пасажиропотоків та РС по маршрутній мережі міста.

Для вирішення питань зниження споживаної та визначення необхідної потужності, в першу чергу, слід виконати дослідження якісної структури споживачів електроенергії, а потім розробити систему цілеспрямованих заходів і впливу на споживачів з метою зниження рівня спожитої потужності і електроенергії МЕТ, наприклад тролейбусами [2]. Зазначене свідчить про необхідність створення системи моніторингу електроспоживання на підприємствах МЕТ.

Така система моніторингу на сьогодні відсутня. ТОВ «Слисаветградська транспортна компанія» (м. Кіровоград) веде облік споживання електроенергії з точки зору фінансових розрахунків, а дані по фактичній потужності кожного споживача (тролейбуса) у години максимуму енергоспоживання і пасажиропотоків та в інші періоди доби практично відсутні. Енергетичні обстеження на рівні РС не виконувалися і порівняльний аналіз даних не систематизувався і не зіставлявся. Тому є необхідність створення інформаційної системи, в яку були б внесені основні параметри електроспоживання (у тому числі потужність) по РС підприємства.

Потребує створення і база даних підприємства по використанню електроенергії РС в цілому. У базу необхідно включати показники, необхідні для порівняльного аналізу, контролю, нормування і прогнозу, по кожному з тролейбусу підприємства.

В першу групу показників, пов'язаних із споживанням енергоресурсів, включаються дані про фактичне споживання усіх енергоресурсів кожним тролейбусом. На першому етапі збирається інформація енергозатрат в години-пік, що є достатнім для первинного аналізу і рекомендацій. Надалі збір даних повинен йти систематично, з оптимальним періодом обстеження і охоплення всього парку РС [5].

Зазначимо, що відомості про споживання енергоресурсів самі по собі не дозволяють зробити висновки про ефективність їх використання, а тому у базі даних потрібна і друга група показників, що характеризують роботу РС. Так, наприклад, для тролейбуса – це кількість перевезених пасажирів, пасажиропотік та ін. Ці показники умовно називаються «технологічними» і по них можна встановлювати нормативи витрати енергоресурсів.

Створення бази даних – непросте, але у край необхідне завдання, без якого неможливе реальне здійснення енергозбереження. Частина даних може бути надана підприємством, наприклад ТОВ «Слисаветградською транспортною компанією», але повні відомості, і особливо за «технологічними» показниками, можуть бути отримані тільки безпосередньо на транспортних засобах (ТЗ). В зв'язку з цим важливо провести анкетування виділеної групи об'єктів і робити це слід постійно, щоб поповнювати базу даних.

Проведення моніторингу дозволить:

– визначити за нормативним принципом потенціал реального енергозбереження як для окремого ТЗ, так і по групах однотипних споживачів;

– здійснювати контроль за ефективністю використання споживаних ресурсів, організувати енергетичні обстеження, в першу чергу в ТЗ з максимальним споживанням [6];

– керувати процесом енергозбереження і регулювання максимуму навантаження, посилюючи нормування і поєднуючи його з ціновою і податковою політикою;

– організувати статистичний облік результатів енергозбереження;

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

– корегувати терміни проведення ТО тролейбуса.

**Мета**

Підвищення ефективності використання тролейбусів при перевезенні пасажирів на основі рівнів потужності споживаної електроенергії та корегування термінів їх технічного обслуговування.

**Методика**

*Методика визначення залежності потужності споживаної електроенергії тролейбусом від перевезеної кількості пасажирів і характеристик маршруту.* Обліком витрат електроенергії займалися Б. І. Грубер, В. А. Коровін, А. Г. Тішунов [13]. Вони здійснювали його шляхом вимірювання електричної потужності навантаження, перетворення сигналу електричної потужності в імпульсний сигнал з частотою дотримання імпульсів, пропорційної електричної потужності, а також підрахунку і реєстрації кількості цих імпульсів на транспортній одиниці (трамваї або тролейбусі).

Пристрій для реалізації цього способу містить перемножувач вхідної напруги і струму навантаження, перетворювач вихідного сигналу перемножувача в частоту, а також відліковий пристрій, що включає кроковий двигун і роликівий рахунковий механізм.

У відомому технічному рішенні вимірювання і реєстрація витрати електричної енергії здійснюються безпосередньо на транспортній одиниці [13], що не дає можливості здійснити індивідуальну об'єктивну оцінку витрати і економії електроенергії кожним водієм і відповідно ввести систему матеріальної зацікавленості водіїв в економії електроенергії.

Зазначеного недоліку не має запропонований спосіб обліку витрати електричної енергії на рухомому складі електричного транспорту шляхом виміру електричної потужності, споживаної тяговими електродвигунами ТЗ, перетворення сигналу електричної потужності в імпульсний сигнал з частотою дотримання імпульсів, пропорційній електричній потужності, підрахунку кількості цих імпульсів на ТЗ з одночасним формуванням сигналу управління рухом, а також наступного отримання даних про витрату електричної енергії шляхом реєстрації підрахованої кількості імпульсів в депо або в реєстраційному пункті.

Пристрій для реалізації відомого способу (лічильник ват-годин постійного струму для РС електричного транспорту) містить вимірювальний перетворювач, з'ємний відліковий блок, що включає кроковий двигун, роликівий рахунковий механізм і електричний роз'єм, що забезпечує з'єднання відлікового блоку і вимірювального перетворювача, причому електричний роз'єм на відліковому блоці містить контактну перемичку, яка комутує живлення в схемі управління ТЗ.

У способі і пристрої, що реалізовує його, забезпечується індивідуальний облік витрати електроенергії при роботі ТЗ з кожним водієм за рахунок застосування індивідуальних знімних відлікових блоків, реєстрація свідчень яких здійснюється не водієм на ТЗ, а в депо або іншому реєстраційному пункті.

При цьому для виключення неврахованої витрати електроенергії, здійснюється блокування руху трамвая або тролейбуса при знятому відліковому блоці. Це дозволяє отримати високу достовірність реєстрації показань лічильника за рахунок виключення суб'єктивного чинника – умисного зняття водієм відлікового блоку під час руху транспортної одиниці з метою отримання фіктивної економії електроенергії.

Проте введення заборони руху при знятому відліковому блоці знижує експлуатаційну надійність ТЗ. Втрата або вихід з ладу відлікового блоку, а також вихід з ладу ланцюгів управління рухом в лічильнику електроенергії призводять до збоїв в русі ТЗ на маршруті.

Крім того, неможливість руху ТЗ без відлікового блоку зумовлює необхідність застосування додаткових відлікових блоків перегінниками ТЗ, що викликає істотні незручності в експлуатації і призводить до дорожчання системи обліку витрати електроенергії.

Основні показники роботи тролейбуса, такі як швидкість руху ТЗ на перегонах, кількість включень тягового двигуна (ТД), напруга та сила струму в мережі знімалися обліковцем з панелі приладів. Результати зводилися в таблицю, а також фіксувалися відеореєстратором.

Поряд з дослідженням витрати потужності споживаної електроенергії тролейбусом здійснювався й облік пасажиропотоку [1, 4, 16].

Специфіку послуг міського пасажирського транспорту багато в чому визначає характер попиту на них [3, 17]. При цьому процес надання транспортних послуг пасажиром є основою фор-

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

мування пасажиропотоків в місті. Пасажиропотоки, у свою чергу, є результатом задоволення попиту населення на транспортні пересування [1, 15].

На міському пасажирському транспорті в основному застосовують такі методи обстеження пасажиропотоків: звітно-статистичний, таблично-опитовий, рахунково-табличний, талонний, анкетний.

Таблично-опитовий метод обстеження здійснюється обліковцями, які розташовуються усередині тролейбуса біля кожних дверей. Окрім даних, що забезпечуються підрахунком пасажирів, цей метод дозволяє додатково отримати зведення про кореспонденції поїздок пасажирів між зупинними пунктами, дані про їх пересадки на інший вид транспорту або маршрут, а також зведення про своєчасність здійснення перевезень. Цей метод краще використовувати під час обстежень на довгих маршрутах.

Паралельно виконані дослідження дають змогу співставити дані та отримати результати залежності потужності споживаної електроенергії тролейбусом від перевезеної кількості пасажирів [7, 14]. Для більш точного результату необхідно враховувати й характеристики маршруту (спуски, підйоми) [8, 9]. За результатами досліджень, на прикладі тролейбусного маршруту № 10, можна бачити, що не всі ділянки маршруту мають прямолінійний характер.

Середню споживану потужність можна визначити по показниках роботи тролейбуса на перегонах (кількість включень ТД, сила струму, напруга) за формулою:

$$\bar{P}_j = \frac{\sum_{i=1}^n I_{ij} U n_{ij} \Delta t}{\sum_{i=1}^n n_{ij} \Delta t}, \quad (1)$$

де  $I_{ij}$  – сила струму;  $U$  – напруга;  $n_{ij}$  – кількість включень тягового двигуна (ТД);  $\bar{\Delta t}$  – середній час включення ТД.

$\bar{\Delta t} = 4 \text{ с} = \text{const}$ , що дозволяє переписати формулу (1) у такий вигляд:

$$\bar{P}_j = \frac{\sum_{i=1}^n I_{ij} U n_{ij}}{\sum_{i=1}^n n_{ij}}. \quad (2)$$

Для урахування характеру споживання потужності тролейбуса на ділянках з істотним кутом нахилу слід розглянути фізичну задачу про рух ТЗ на схилах підйому і спуску (рис. 1, а, б).

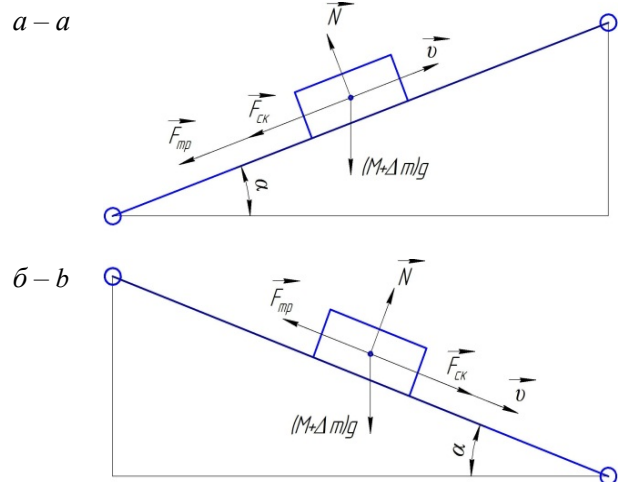


Рис. 1. Схема руху тролейбуса на підйом (а) та спуск (б)

Fig. 1. The scheme of trolley bus movement on the rise (a) and downhill (b)

Маса пасажирів, що перевозяться, визначається за формулою:

$$\Delta m = \bar{m}_q N_n, \quad (3)$$

де  $\bar{m}_q$  – усереднена маса одного пасажирів (75 кг);  $N_n$  – кількість пасажирів у салоні тролейбуса.

Скочуюча сила та сила тертя визначаються за формулами:

$$F_{ck} = (M + \Delta m) g \sin \alpha \quad (4)$$

$$F_{mp} = (M + \Delta m) g \cos \alpha f_{mp}, \quad (5)$$

де  $M$  – маса тролейбуса (11 640 кг);  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння;  $\alpha$  – кут нахилу підйому (спуску);  $f_{mp}$  – коефіцієнт тертя.

Рівняння споживаної потужності тролейбусом на перегонах має вигляд:

$$\sum_{j=1}^n P_j \Delta t_j = F_{ck} L_{ij} + F_{mp} L_{ij} + \frac{(M + \Delta m) v^2}{2}, \quad (6)$$

де  $L_{ij}$  – довжина шляху на  $i$  – перегоні  $j$  – маршрута;  $v$  – швидкість руху тролейбуса;

$$P_{\Sigma} = \sum_{j=1}^n P_j; \quad \Delta t_j = \Delta t.$$

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Формула споживаної енергії тролейбуса, що рухається, має вигляд:

– на підйом:

$$P_{\Sigma} \Delta t = f_{mp} (M + \Delta m) g \cos \alpha L_j + (M + \Delta m) g \sin \alpha L_j + \frac{(M + \Delta m) v_j^2}{2} \quad (7)$$

– на спуск:

$$P_{\Sigma} \Delta t = f_{mp} (M + \Delta m) g \cos \alpha L_j - (M + \Delta m) g \sin \alpha L_j + \frac{(M + \Delta m) v_j^2}{2} \quad (8)$$

**Результати**

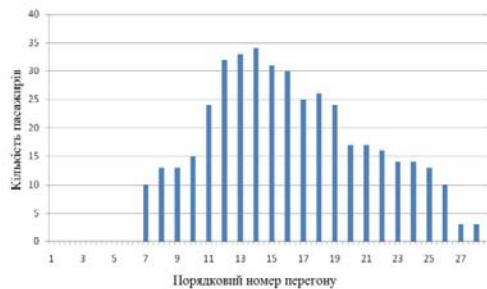
Дані про дослідження пасажиропотоку зібрані обліковцями, що знаходилися в салонах тролейбуса, заносяться в таблицю.

З попередніх даних розраховується кількість пасажирів, що знаходяться у салоні тролейбусів на перегонах, і визначається пасажиропотік.

Графічне відображення результатів дослідження пасажиропотоку наведено на рис. 2 *а, б*.

Зміна витрати споживаної потужності тролейбусом на перегонах по маршруту № 10 м. Кіровоград наведена на рис. 3, *а та б*.

*а – а*



*б – б*

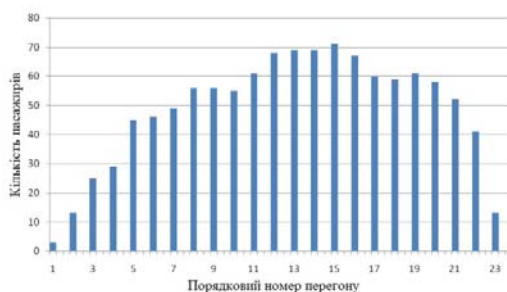
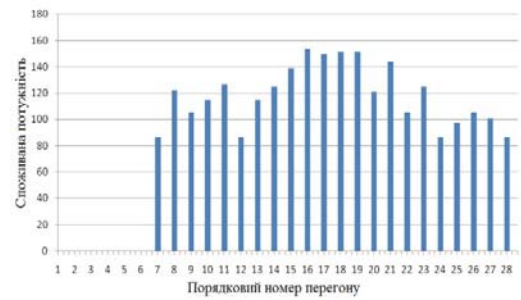


Рис. 2. Пасажиропотік у прямому (*а*) та зворотному (*б*) напрямках руху по маршруту № 10

Fig. 2. Passenger traffic in the forward (*a*) and return (*b*) directions on the route 10

*а – а*



*б – б*

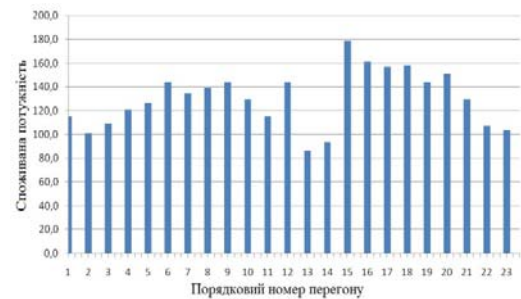
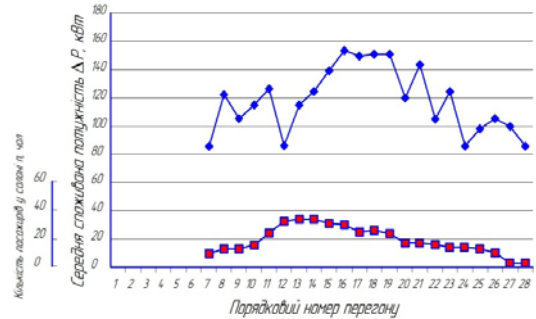


Рис. 3. Витрати потужності на перегонах у прямому (*а*) та зворотному (*б*) напрямках руху по маршруту № 10

Fig. 3. Power losses at the races on the forward (*a*) and reverse (*b*) directions on the route 10

*а – а*



*б – б*

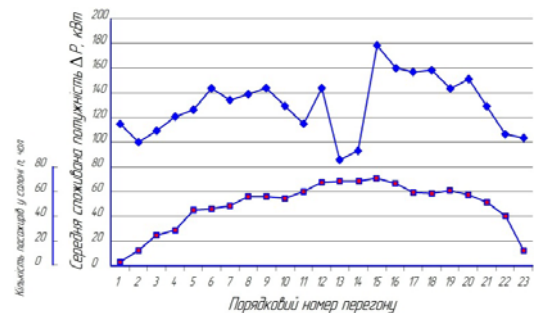


Рис. 4. Порівняльний характер залежності витрати потужності і кількості перевезених пасажирів на перегонах у прямому (*а*) та зворотному (*б*) напрямках руху по маршруту № 10

Fig. 4. Comparative nature of the dependence of power loss and the number of passengers at the races on the forward (*a*) and reverse (*b*) directions on the route 10

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

На рис. 4, *a*, *б* графічно зведені залежності витрати споживаної потужності і кількості перевезених пасажирів на перегонах.

З рис. 4, *a* бачимо, що на ділянці 11–13 відбувається різкий спад витрати потужності, не зважаючи на збільшення кількості пасажирів у салоні тролейбуса. Це означає, що тролейбус рухається на спуск. Таку ж тенденцію можна бачити на ділянці 12–14 (рис. 4, *б*). Але на ділянці 12–17 (рис. 4, *a*) спостерігається різке збільшення витрати потужності незважаючи на зменшення кількості пасажирів у салоні, на рис. 4, *б* така тенденція спостерігається на ділянках 13–16. З цього можна зробити висновок, що тролейбус рухається на підйом.

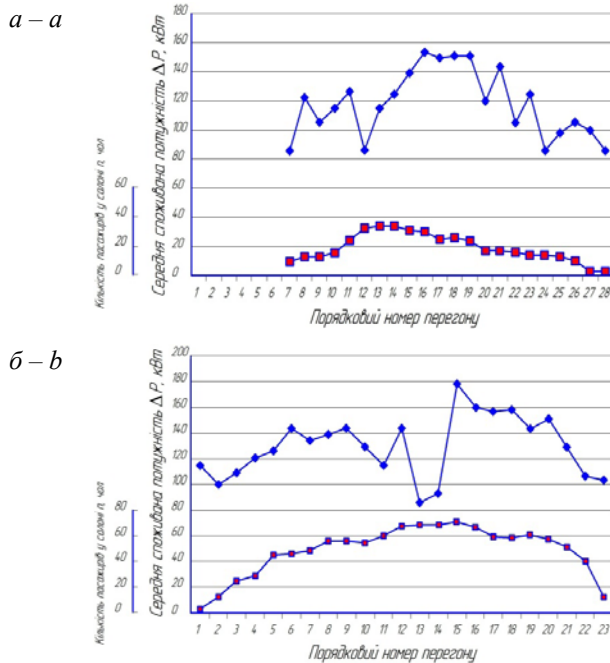


Рис. 4. Порівняльний характер залежності витрати потужності і кількості перевезених пасажирів на перегонах у прямому (*a*) та зворотному (*б*) напрямках руху по маршруту № 10

Fig. 4. Comparative nature of the dependence of power loss and the number of passengers at the races on the forward (*a*) and reverse (*b*) directions on the route 10

Для отримання більш чіткого відображення залежності споживаної електроенергії тролейбуса від перевезених пасажирів необхідно взяти до уваги характеристики маршруту (зміна висоти над рівнем моря, дорожнього покриття, відстань між ділянками).

За допомогою формул (7) і (8) збалансуються витрати потужності під час руху тролей-

буса на підйом та на спуск, що дозволяє отримати більш чітке відображення залежності споживаної електроенергії тролейбуса з урахуванням перевезених пасажирів та характеристик маршруту. Результати обробки вище перелічених даних відображені графічно на рис. 5, *a*, *б*.

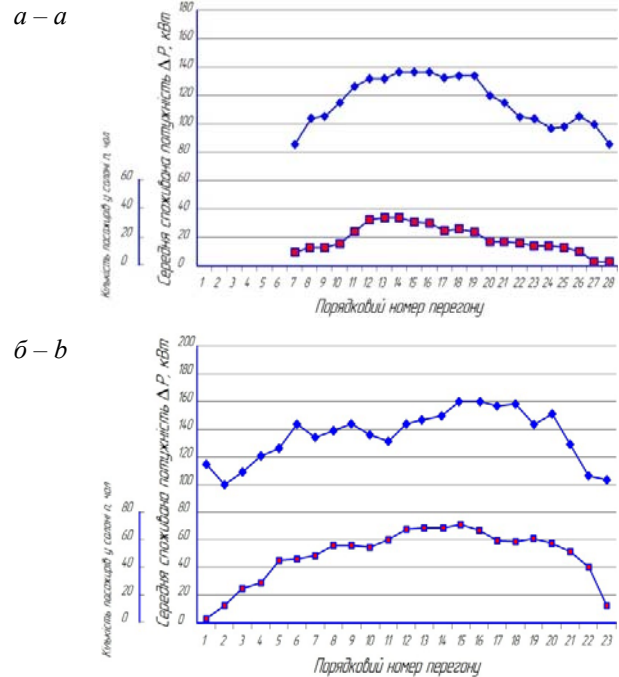


Рис. 5. Уточнений порівняльний характер залежності витрат потужності відповідно до кількості перевезених пасажирів і характеристик маршруту № 10 на перегонах у прямому (*a*) зворотному (*б*) напрямках руху

Fig. 5. Specified comparative nature of the dependence of power loss according to the number of passengers and the characteristics of the route 10 at the races on the forward (*a*) and reverse (*b*) directions

### Наукова новизна та практична значимість

Як критерій оцінювання ефективності роботи тролейбусів на маршруті пропонується використовувати співвідношення між споживанням електроенергії та кількості перевезених пасажирів для даних характеристик маршруту. Експериментально це підтверджено. Отримані формули дають можливість збалансувати роботу сил і відповідно обсяг спожитої енергії під час руху тролейбуса на підйом та на спуск.

Запропонований критерій можна використовувати для корегування термінів проведення

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

ТО за індивідуальною програмою, тобто індивідуальне технічне обслуговування (ІТО). Вид виконуваних робіт при ІТО повинен визначатися на основі системи індивідуальних діагностичних даних.

При цьому ІТО містить такі принципи:

– основною залишається планово-запобіжна стратегія виявлення і усунення несправностей і проведення технічних дій;

– оперативне керування технічним станом ТЗ на основі прогнозування його стану за допомогою запропонованого критерію, що враховує залежність споживаної потужності від кількості перевезених пасажирів та визначених характеристик маршруту;

– індивідуальний підхід до оцінювання технічного стану кожного конкретного ТЗ;

– індивідуальне прогнозування періодичності ТО і технічного стану ТЗ.

Індивідуальне прогнозування періодичності ТО і технічного стану ТЗ можливе за рахунок впровадження запропонованої системи визначення витрат споживаної енергії від кількості перевезених пасажирів, а також підвищити ефективність використання ТЗ.

Прогнозування технічного стану ТЗ може здійснюватися на основі збору і обробки інформації. Початковою інформацією про ТЗ є: значення параметрів технічного стану та його окремих агрегатів і систем, календарні дати і значення напрацювань, що відповідають зафіксованим значенням параметрів.

Процес прогнозування є поетапною процедурою обробки інформації, що надходить накопиченої бази даних на ПК. Обробка інформації на ПК проводиться з метою вирішення двох комплексів завдань: власне прогнозування і статистичної обробки. Характер цих завдань і умови їх реалізації зумовили структуру і склад технічного забезпечення, необхідного для прогнозування технічного стану ТЗ.

Технічне забезпечення системи прогнозування (СП) складає устаткування для фіксації кількості пасажирів у салоні транспортного засобу, показників амперметра та вольтметра для визначення потужності електроенергії споживачів, швидкості руху ТЗ на перегонах.

Інформаційне забезпечення враховує реалізацію функцій системи ТО і ремонту ТЗ і функцій СП. Вхідні і вихідні інформаційні дані складають зовнішнє інформаційне забезпечен-

ня, а організовані інформаційні масиви – внутрішнє забезпечення.

Розроблене забезпечення дозволяє ефективно реалізувати функцію прогнозування в системі керування технічним станом МЕТ, виявити зміну технічного стану ТЗ в умовах експлуатації і використати отримувані при цьому результати для послідовного нарощування потужності системи прогнозування в процесі її функціонування.

Виходячи з вище переліченого і проаналізувавши низку робіт, присвячених розробці, застосуванню і перспективам розвитку засобів діагностики, впливає, що умовою переходу МЕТ до гнучкої адаптивної системи керування технічним станом ТЗ з індивідуальною корегованою періодичністю і об'ємами ТО, оперативного керування технічним станом ТЗ є використання інформаційного забезпечення автотранспортних процесів.

### Висновки

Для розробки ефективних заходів по зниженню споживаної потужності РС необхідно враховувати якісну структуру споживачів електроенергії в МЕТ та вибір критеріїв її ефективності. На основі системи обліку спожитої тролейбусом енергії та запропонованого критерію можна створити систему моніторингу електроспоживання на підприємствах МЕТ та систему ТО і Р.

Розроблена методика визначення залежності потужності споживаної електроенергії тролейбусом від перевезених пасажирів.

З отриманих результатів виконаного дослідження виявлено, що споживання електроенергії РС підприємств МЕТ прямо пропорційно залежить від кількості перевезених пасажирів та від характеристик маршруту.

Як критерій оцінювання ефективності роботи тролейбусів на маршруті пропонується використовувати співвідношення між споживанням електроенергії та кількості перевезених пасажирів для даних характеристик маршруту.

Запропонований критерій можна використовувати для корегування термінів проведення ТО за індивідуальною програмою, тобто ІТО. Вид виконуваних робіт при ІТО повинен визначатися на основі системи індивідуальних діагностичних даних.

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антошвили, М. Е. Организация городских автобусных перевозок / М. Е. Антошвили, С. Ю. Либерман, И. В. Спириин. – Москва : Транспорт, 1985. – 102 с.
2. Атаманов, Ю. Е. Троллейбус. Теория, конструирование, расчет / Ю. Е. Атаманов, А. И. Сафонов. – Минск : Ураджай, 1999. – 342 с.
3. Аулін, В. В. Оцінка якості міських пасажирських перевезень в ринкових умовах / В. В. Аулін, Д. В. Голуб // Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту : тез. доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. (25.10–26.10.2011) / ВНТУ. – Вінниця, 2011. – С. 10–11.
4. Аулін, В. В. Якість перевезень пасажирів як невід’ємна частина транспортного процесу / В. В. Аулін, Д. В. Голуб // Вісн. Кременчуц. держ. політехніч. ун-ту ім. Михайла Остроградського. – Кременчук, 2008. – № 5 (52), ч. 2. – С. 80–84.
5. Гетьман, Г. К. Определение оптимального мощностного ряда тяговых средств для пассажирских перевозок на полигоне тяги / Г. К. Гетьман, С. В. Арпуль, Е. А. Довгань // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2005. – Вип. 9. – С. 47–50.
6. Гетьман, Г. К. Оценка энергетической эффективности модульности тяги / Г. К. Гетьман, С. В. Арпуль // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – Вип. 1. – С. 41–44.
7. Далека, В. Х. Електропостачання електричного транспорту : навч. посіб. / В. Х. Далека, В. К. Нем, В. І. Скуріхін. – Харків : ХНАМГ, 2012. – 168 с.
8. Захаров, С. А. Анализ и оценка мероприятий повышения эффективности и безопасности работы троллейбуса в зимний сезон 1999-2000 гг. / С. А. Захаров // Вестн. ГЭТ России. – 2000. – № 3. – С. 9–13.
9. Ивин, К. В. Токосьем троллейбуса / К. В. Ивин. – Москва : Транспорт, 1956 – 192 с.
10. Исследование особенностей экономии электроэнергии при эксплуатации электрифицированного транспорта в жилищно-коммунальном хозяйстве / В. И. Торкатюк, А. И. Кириченко, В. В. Благой [и др.] // Проблемы, перспективы и нормативно-правовое обеспечение энерго-, ресурсосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве. – Харьков, 2009. – С. 93–96.
11. Максимов, А. Н. Городской электротранспорт: троллейбус / А. Н. Максимов. – Москва : Академия, 2004. – 256 с.
12. Малозёмов, Б. В. Анализ и повышение надёжности транспортных средств электрического транспорта // Вестн. Краснояр. гос. техн. ун-та. – Красноярск, 2004. – Вып. 34. – С. 206–217.
13. Пат. 2140654 Российской Федерации G 01 R 11/00, B 60 L 3/00. Способ учета расхода электрической энергии на подвижном составе электрического транспорта и электронный счетчик для его реализации / Груббер Б. И., Корвин В. А., Тишунов А. Г. ; заявитель и патентообладатель ООО «НПП «Резонанс». – № 96121499/09 ; заявл. 30.10.1996 ; опубл. 27.10.1999. – 3 с.
14. Поначугин, В. А. Оценка надежности перевозочного процесса городского пассажирского транспорта: монография / В. А. Поначугин. – Нижний Новгород : Нижегород. Гос. Архит.-строит. ун-т, 2008. – 92 с.
15. Fishman, D. Digital-Age Transportation: The Future of Urban Mobility / D. Fishman. – London : Deloitte Development LLC, 2012. – 44 p.
16. Grava, S. Urban Transportation Systems / S. Grava. – New York : McGraw-Hill Professional, 2003. – 840 p.
17. Wolek, M. The Trolleybus as an Urban Means of Transport in the Light of the Trolley Project / M. Wolek, O. Wiszomiski. – Gdansk, 2013. – 167 p.

В. В. АУЛИН<sup>1\*</sup>, И. О. ПЛОХОВ<sup>2</sup>, Д. В. ГОЛУБ<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Эксплуатация и ремонт машин», Кировоградский национальный технический университет, просп. Университетский, 8, Кировоград, 25006, тел. +38 (095) 055 74 11, эл. почта aulin52@mail.ru, ORCID 0000-0003-2737-120X

<sup>2</sup>Каф. «Эксплуатация и ремонт машин», Кировоградский национальный технический университет, просп. Университетский, 8, Кировоград, 25006, тел. +38 (095) 938 99 54, эл. почта plokhov89@gmail.com, ORCID 0000-0002-0238-3645

<sup>3</sup>Каф. «Эксплуатация и ремонт машин», Кировоградский национальный технический университет, просп. Университетский, 8, Кировоград, 25006, тел. +38 (066) 516 80 74, эл. почта dimchik\_2004@mail.ru, ORCID 0000-0003-4984-1161

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРОЛЛЕЙБУСАМИ НА ОСНОВЕ УРОВНЕЙ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ НИМИ МОЩНОСТИ

**Цель.** В работе рассмотрены вопросы повышения эффективности использования троллейбусов при перевозке пассажиров на основе анализа уровней мощности потребляемой электроэнергии и корректировки сроков их технического обслуживания (ТО). **Методика.** Для достижения поставленной цели предлагается установить соответствие мощности потребляемой троллейбусом электроэнергии перевезенному количеству пассажиров с учетом характеристик маршрута. При этом основными показателями работы троллейбуса являются: скорость движения на перегонах, количество включений тягового двигателя, напряжение и сила тока в сети, которые снимались учетчиком с панели приборов. Результаты исследований вносились в таблицу и фиксировались видеорегистратором. Наряду с исследованием затрат мощности потребляемой троллейбусом электроэнергии проводился и учет пассажиропотока. **Результаты.** Установлена прямопропорциональная зависимость между уровнем потребленной троллейбусом энергии и количеством перевезенных пассажиров для неизменных характеристик маршрута. **Научная новизна.** В качестве критерия оценки эффективности работы троллейбусов на маршруте предлагается использовать соотношение между потреблением электроэнергии и количеством перевезенных пассажиров для данных характеристик маршрута. Экспериментально это подтверждено. Получены формулы, которые дают возможность сбалансировать работу сил и, соответственно, объем потребленной энергии при движении троллейбуса на подъем и на спуск. **Практическая значимость.** Предложенный критерий можно использовать для корректировки сроков проведения ТО по индивидуальной программе, то есть индивидуальное техническое обслуживание (ИТО). Вид выполняемых работ при ИТО должен определяться на основе системы диагностических данных транспортного средства (ТС). Сформулированы принципы ИТО: 1) основной остается планово-предупредительная стратегия выявления и устранения неисправностей и проведения технических действий; 2) оперативное управление техническим состоянием ТС на основе прогнозирования его состояния с помощью предложенного критерия, учитывающего зависимость потребляемой энергии от количества пассажиров при определенных характеристиках маршрута; 3) индивидуальный подход к оценке технического состояния каждого конкретного ТС; 4) индивидуальное прогнозирование периодичности ТО и технического состояния ТС.

**Ключевые слова:** мощность; потребляемая электроэнергия; троллейбус; мониторинг; пассажирские перевозки; характеристика маршрута

V. V. AULIN<sup>1\*</sup>, I. O. PLOKHOV<sup>2</sup>, D. V. HOLUB<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Exploitation and Repair of Machines», Kirovohrad National Technical University, Universitetskiy Av., 8, Kirovohrad, 25006, tel. + 38 (095) 055 74 11, e-mail aulin52@mail.ru, ORCID 0000-0003-2737-120X

<sup>2</sup>Dep. «Exploitation and Repair of Machines», Kirovohrad National Technical University, Universitetskiy Av., 8, Kirovohrad, 25006, tel. + 38 (095) 938 99 54, e-mail plokhov89@gmail.com, ORCID 0000-0002-0238-3645

<sup>3</sup>Dep. «Exploitation and Repair of Machines», Kirovohrad National Technical University, Universitetskiy Av., 8, Kirovohrad, 25006, tel. + 38 (066) 516 80 74, e-mail dimchik\_2004@mail.ru, ORCID 0000-0003-4984-1161

## EFFICIENCY IMPROVEMENT OF TRANSPORT SERVICE BY TROLLEY BUSES BASED ON THE LEVELS OF THEIR POWER DEMAND

**Purpose.** Use efficiency improvement of trolley buses in passenger traffic based on power levels of electric energy input and terms adjustment of their maintenance. **Methodology.** In order to achieve this goal conformance of electric energy input by trolleybus to the transported amount of passengers taking into account characteristics of the route is offered to establish. The major indicators of the trolleybus operation are: speed of a race on lines, number of tractive motor firing, voltage and amperage in the network that were taken with accountants from a dashboard. Research results were tabulated and recorded with DVR. Along with the study of power consumption of electric energy input by a trolleybus passenger count was carried out too. **Findings.** The directly proportional dependence between the level of energy consumption by a trolleybus and the number of passengers for constant performance route was determined. **Originality.** As the criteria for evaluating the effectiveness of the trolleybus operation on the route is proposed to use the ratio between electricity consumption and number of passengers for these characteristics of the route. This is confirmed experimentally. The obtained formulas give the possibility to balance the force work and consequently the volume of energy consumption during the trolleybus movement on the rise and the descent. **Practical value.** The proposed criterion can be used to adjust the terms of maintenance on the individual program, that means individual maintenance (IM). Type of work performed at the IM should be determined on the basis of diagnostic data of the vehicle (V). The principles of IM were formulated: 1) the primary task is planned and preventative strategy to identify and eliminate troubleshooting and technical actions; 2) operational control of the vehicle (V) technical condition on the basis of prediction of its state using the proposed criteria, that takes into account the dependence of power consumption to the number of passengers in the characteristics of the route; 3) individual approach to evaluate the technical condition of each specific vehicle (V); 4) individual prediction of the frequency of the maintenance and vehicle condition.

*Keywords:* power; power consumption; trolleybus; monitoring; passenger transportations; route classification

### REFERENCES

1. Antoshvili M.Ye., Liberman S.Yu., Spirin I.V. *Organizatsiya gorodskikh avtobusnykh perevozok* [Organization of urban bus transportation]. Moscow, Transport Publ, 1985. 102 p.
2. Atamanov Yu.Ye., Safonov A.I. *Trolleybus. Teoriya, konstruirovaniye, raschet* [Trolleybus. The theory, design, calculation]. Moscow, Uradzhay Publ., 1999. 342 p.
3. Aulin V.V., Holub D.V. Otsinka yakosti miskykh pasazhyrskykh perevezen v rynkovykh umovakh [Quality assessment of urban passenger transportation in market conditions]. *Tezysy dopovidei IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasni tekhnologii ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu»* [Proc. of the 4th Int. Sci. and Practical Conf. «Modern technologies and prospects of road transport development»]. Vinnytsia, 2011. pp.10-11.
4. Aulin V.V., Holub D.V. Yakist perevezen pasazhyriv yak nevidiemna chastyna transportnoho protsesu [The quality of passenger transportation as an integral part of the transport process]. *Visnyk Kremenchutskoho derzhavnoho politekhnichnoho universytetutu imeni Mykhaila Ostrohradskoho* [Bulletin of Kremenchuk State Politechnical University named after Mykhailo Ostrohradskiy], 2008, no. 5 (52), part 2, pp. 80-84.
5. Getman G.K., Arpul S.V., Dovgan Ye.A. Opredeleniye optimalnogo moshchnostnogo ryada tyagovykh sredstv dlya passazhirskikh perevozok na poligone tyagi [Determination of the optimal power row of traction facilities for passenger transportation on the traction polygon]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2005, issue 9, pp. 47-50.

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

6. Getman G.K., Arpul S.V. Otsenka energeticheskoy effektivnosti modulnosti tyagi [Evaluation of energy efficiency of traction modularity]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2003, issue 1, pp. 41-44.
7. Daleka V.Kh., Nem V.K., Skurikhin V.I. *Elektropostachannia elektrychnoho transportu* [Power supply of electric transport]. Kharkiv, HNAMEG Publ., 2012. 168 p.
8. Zakharov S.A. Analiz i otsenka meropriyatiy povysheniya effektivnosti i bezopasnosti raboty trolleybusa v zimniy sezon 1999-2000 gg. [Analysis and evaluation of increase the efficiency activities and safety of the trolleybus operation in the winter season of 1999-2000 years]. *Vestnik GET Rossii – Bulletin of Russia SET*, 2000, no. 3, pp. 9-13.
9. Ivin K.V. *Tokosyem trolleybusa* [Current collection of a trolleybus]. Moscow, Transport Publ., 1956. 192 p.
10. Torkatyuk V.I., Kirichenko A.I., Blagoy V.V., Khomutenko O.V., Polchaninova I.A. Issledovaniye osobennostey ekonomii elektroenergii pri ekspluatatsii elektrifitsirovannogo transporta v zhilishchno-kommunalnom khozyaystve [Investigation of energy-saving features during the operation of electric transport in the housing and public services]. *Materialy 1-i mizhnarodnoi naukovy-praktychnoi konferentsii «Problemy, perspektivy ta normatyvno-pravove zabezpechennia enerho-, resursozberezhennia v zhytlovo-komunalnomu hospodarstvi»* [Proc. of the 1st Int. Scientific and Practical Conf. «Problems, prospects and regulatory support for energy, resource-saving in housing and public services»]. Alushta, 2009, pp. 150-157.
11. Maksimov A.N. *Gorodskoy elektrotransport: trolleybus* [Urban electric transport: trolleybus]. Moscow, Akademiya Publ., 2004. 256 p.
12. Malozemov B.V. Analiz i povysheniye nadezhnosti transportnykh sredstv elektricheskogo transporta [Analysis and increase the reliability of electric transport vehicles]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Krasnoyarsk State Technical University], 2004, issue 34, pp. 206-217.
13. Grubber B.I., Korovin V.A., Tishunov A.G. *Sposob ucheta raskhoda elektricheskoy energii na podvizhnom sostave elektricheskogo transporta i elektronnyy schetchik dlya yego realizatsii* [A method for electric energy consumption on the rolling stock of electric transport and electronic counter for its implementation]. Patent RF, no. 96121499/09, 1999.
14. Ponachugin V.A. *Otsenka nadezhnosti perevoznogo protsessa gorodskogo passazhirskogo transporta* [Assessment the reliability of the transportation process of urban passenger transport]. Novgorod, Nizhegorod. Gos. Arkhit.-stroit. un-t Publ., 2008. 92 p.
15. Fishman D. *Digital-Age Transportation: The Future of Urban Mobility*. London, Deloitte Development LLC Publ., 2012. 44 p.
16. Grava S. *Urban Transportation Systems*. New York, McGraw-Hill Professional Publ., 2003. 840 p.
17. Wolek M., Wiszomiski O. *The Trolleybus as an Urban Means of Transport in the Light of the Trolley Project*. Gdansk, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, 2013. 167 p.

Стаття рекомендована до публікації д.е.н., проф. Ю. В. Кулешковим (Україна); к.т.н., доц. Ю. В. Михайленком (Україна)

Надійшла до редколегії: 20.06.2014

Прийнята до друку: 14.08.2014

## UDC 629.423.31-048.24:537.8

A. M. AFANASOV<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Electric Rolling Stock of Railways», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 31, e-mail afanasof@ukr.net, ORCID 0000-0003-4609-2361

## REGULATION OF UNBALANCED ELECTROMAGNETIC MOMENT IN MUTUAL LOADING SYSTEMS OF ELECTRIC MACHINES OF TRACTION ROLLING STOCK AND MULTIPLE UNIT OF MAINLINE AND INDUSTRIAL TRANSPORT

**Purpose.** The research data are aimed to identify the regulatory principles of unbalanced electromagnetic moment of mutually loaded electric machines of traction rolling stock and multiple unit of main and industrial transport. The purpose of this study is energy efficiency increase of the testing of traction electric machines of direct and pulse current using the improvement methods of their mutual loading, including the principles of automatic regulation of mutual loading system. **Methodology.** The general theoretical provisions and principles of system approach to the theoretical electric engineering, the theory of electric machines and theoretical mechanics are the methodological basis of this research. The known methods of analysis of electromagnetic and electromechanical processes in electrical machines of direct and pulse current are used in the study. Methods analysis of loading modes regulation of traction electric machines was conducted using the generalized scheme of mutual loading. It is universal for all known methods to cover the losses of idling using the electric power. **Findings.** The general management principles of mutual loading modes of the traction electric machines of direct and pulse current by regulating their unbalanced electric magnetic moment were developed. Regulatory options of unbalanced electromagnetic moment are examined by changing the difference of the magnetic fluxes of mutually loaded electric machines, the current difference of electric machines anchors, the difference of the angular velocities of electric machines shafts. **Originality.** It was obtained the scientific basis development to improve the energy efficiency test methods of traction electric machines of direct and pulse current. The management principles of mutual loading modes of traction electric machines were formulated. For the first time it is introduced the concept and developed the principles of regulation of unbalanced electromagnetic moment in the mutual loading systems of electric machines of direct and pulse current. Analytical expressions for the unbalanced moment of mutually loaded electromagnetic electric machines were obtained. The requirements for automatic regulation systems of the mutual loading stands of the traction electric machines of direct and pulse current are formulated. **Practical value.** Using the results of the theoretical research will significantly simplify the development algorithms of the test stands management of the traction electric machines of rolling stock for mainline and industrial transport. Introduction of the proposed principles of mutual loading for traction electric machines will significantly reduce the costs for creating new stations and modernization of the existing ones for testing of traction electric machines. Automating the process of refit and acceptance tests of traction electric machines will significantly improve the test quality and reliability of the traction rolling stock and multiple unit with electric traction drive.

*Keywords:* traction electric machines; tests; mutual loading; electromagnetic moment; regulation

### Introduction

Requirements of the relevant standards and repair regulations of traction rolling stock and multiple units of the main and industrial vehicles provide acceptance tests for each newly produced traction electric machine or after repair [3, 10]. These tests are an important and integral part of the technological processes of manufacturing or repair of electric cars, material costs for which are included in the cost of the final product. Heating tests, check of rotation and reverse frequency, as

well as commutation test require inevitable loading of the traction electric machines.

High energy efficiency at a relatively low total power of the supply sources is provided by the systems of mutual loading, in which there is energy exchange between the electric machines under study [11–13]. External supply sources in such loading systems are only required to cover the power losses in the electric machines under study [6–8].

Cover of certain types of power losses in the mutual loading systems can be carried out by both

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

direct and indirect methods. The use of indirect methods the loss covering is realized by using unbalanced electromagnetic power of the studied electric machines. This power can be created due to the difference of both electromotive forces of electric machines or the difference of their electromagnetic moments [4].

**Purpose**

The paper is aimed to determine the regulatory principles of unbalanced electromagnetic torque of mutually loaded electric machines of traction rolling stock and multiple units of the mainline and industrial transport.

**Methodology**

Unbalanced electromagnetic power of mutually loaded electric machines of direct and pulse current can be represented as the difference [1, 2]

$$\Delta P_{\text{эм}} = P_{\text{эмд}} - P_{\text{эмг}},$$

where  $P_{\text{эмг}}$ ,  $P_{\text{эмд}}$  – are electromagnetic powers of the tested generator and engine accordingly [5, 9].

$$P_{\text{эмг}} = c\Phi_g \omega_g I_g, \quad P_{\text{эмд}} = c\Phi_d \omega_d I_d,$$

where  $c$  – is a constructive constant of the tested electric machines of the single type;  $\Phi_g$ ,  $\Phi_d$  – are the magnetic flows of the generator and engine accordingly;  $\omega_g$ ,  $\omega_d$  – are the angular rotation velocities of the generator and motor armature respectively;  $I_g$ ,  $I_d$  – are the armature currents of the generator and motor respectively.

In the mutual loading systems with electric method to cover the idling losses the regulation of angular speed of the tested electric machines is carried out by changing  $\Delta P_{\text{эм}}$ .

Generalized universal scheme of mutual loading system of electric cars, which makes it possible to realize all the possible variants of electric method to cover the idling losses, is shown in the Fig. 1.

In this scheme:  $M$  – are the windings of electric machine tested in the mode of motor;  $G$  – are the windings of electric machine tested in the mode of generator; И1 – is a consistent source of electric power; И2 – is a parallel source of electric power; P – is a gear (converter of angular velocity).

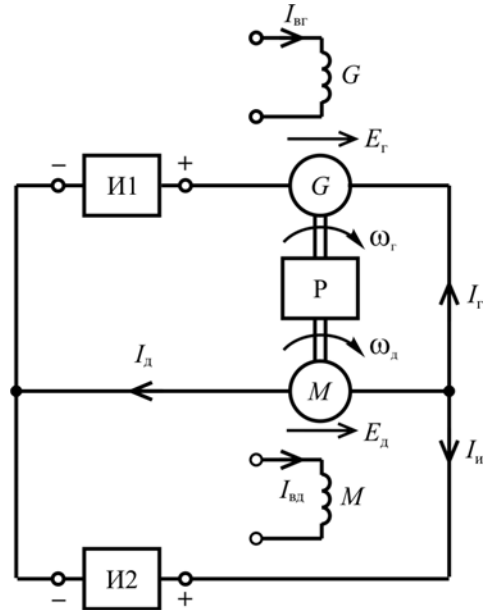


Fig. 1. Generalized universal scheme of mutual loading system

At the electric method to cover the idling losses the regulation of unbalanced electromagnetic power  $\Delta P_{\text{эм}}$  is reduced to the regulation of the unbalanced electromagnetic torque  $\Delta M_{\text{эм}}$  and, as a result of the angular velocity  $\omega_d$ . These parameters are interconnected by the equation [1]

$$\Delta M_{\text{эм}} = \sum \Delta M + J_3 \frac{d\omega_d}{dt},$$

where  $\sum \Delta M$ ,  $J_3$  – are the idling torque losses in the stand and the equivalent torque of inertia, respectively, reduced to the shaft of the tested motor.

Block scheme of the angular velocity regulation  $\omega_d$  is shown in the Fig. 2

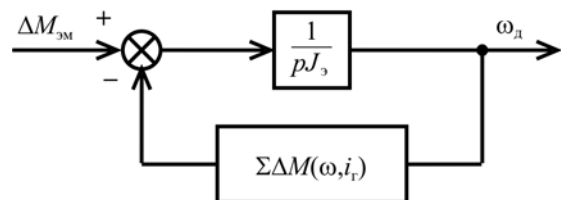


Fig. 2. The structural scheme of the angular rate regulation

Unbalanced electromagnetic torque of the tested generator and motor, reduced to the motor shaft can be expressed as

$$\Delta M_{\text{эм}} = M_{\text{эмд}} - M'_{\text{эмг}},$$

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

where  $M_{\text{эмд}}$ ,  $M'_{\text{эмг}}$  – are the electromagnetic torque of the motor and electromagnetic torque of the generator, respectively.

The reduced electromagnetic torque of the generator can be represented as

$$M'_{\text{эмг}} = M_{\text{эмг}} k_{\omega},$$

where  $M_{\text{эмг}}$  – is electromagnetic torque of the tested engine;  $k_{\omega}$  – is the coefficient of the angular velocity transfer of the gear P.

$$M_{\text{эмг}} = c\Phi_{\text{д}}I_{\text{д}}; M_{\text{эмд}} = c\Phi_{\text{д}}I_{\text{д}}.$$

After expressing the electromagnetic torques of the motor and the generator through the magnetic fluxes and currents, after transformations we obtain

$$\Delta M_{\text{эм}} = c(\Phi_{\text{д}}I_{\text{д}} - k_{\omega}\Phi_{\text{г}}I_{\text{г}}). \quad (1)$$

Let us consider the possible ways of regulating the values  $\Delta M_{\text{эм}}$  by changing the parameters of regulators and converters of the mutual loading system.

The difference between magnetic fluxes  $\Delta\Phi$ , the armature current difference  $\Delta I$  and the transfer coefficient of the angular velocity  $k_{\omega}$  [1, 2] will be considered as the factors determining the value  $\Delta M_{\text{эм}}$ .

$$\Delta\Phi = \Phi_{\text{д}} - \Phi_{\text{г}};$$

$$\Delta I = I_{\text{д}} - I_{\text{г}};$$

$$k_{\omega} = \frac{\omega_{\text{г}}}{\omega_{\text{д}}}.$$

The equation of the torques balance in the static mode for all the schemes of mutual loading with the electric method to compensate the idling losses will have the form [1]

$$\Delta M_{\text{эм}} = \sum \Delta M.$$

### Findings

Let us consider the regulation variant  $\Delta M_{\text{эм}}$  by changing the difference of magnetic fluxes, wherein:

$$\begin{cases} \Delta I = 0; \\ k_{\omega} = 1; \\ \Delta\Phi = \text{var}. \end{cases}$$

Then, the expression (1) can be transformed into the form

$$\Delta M_{\text{эм}} = c\Delta\Phi \cdot I.$$

At the consistency of the armature current of tested electric machines ( $I = \text{const}$ ) the dependence  $\Delta M_{\text{эм}}(\Delta\Phi)$  is directly proportional. The nature of the dependence  $\Delta M_{\text{эм}}(\Delta\Phi)$  for different values of the constant armature current  $I$  is graphically shown in the Fig. 3.

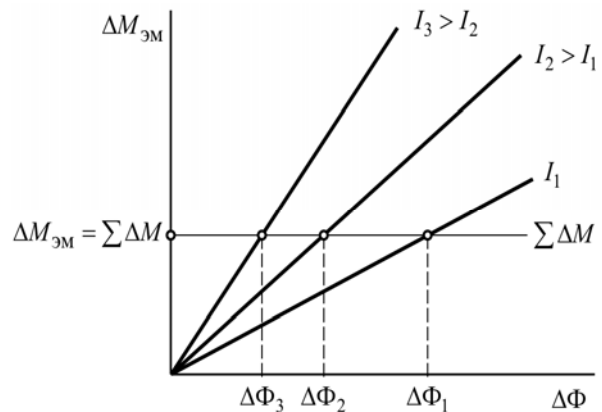


Fig. 3. The nature of the dependence of  $\Delta M_{\text{эм}}(\Delta\Phi)$

The Fig. 3 shows that at the higher load current  $I$  of the tested electric machines to compensate the given amount of the losses of torques  $\sum \Delta M$  it is required a lesser value of the difference of magnetic fluxes  $\Delta\Phi$ .

$$\Delta\Phi_3 < \Delta\Phi_2 < \Delta\Phi_1.$$

Let us consider the variant of regulation  $\Delta M_{\text{эм}}$  by changing the armature currents difference, wherein:

$$\begin{cases} k_{\omega} = 1; \\ \Delta\Phi \neq 0; \\ \Delta I = \text{var}. \end{cases}$$

In this variant of the regulation the condition  $\Delta\Phi \neq 0$  is taken from considerations that the magnetic characteristics of a pair of the tested electric machines may not be the same [5, 9]. That is, the case of the magnetic characteristics divergence of the tested engine and generator is considered.

In this case the expression (1) can be written as

$$\Delta M_{\text{эм}} = c(\Phi_{\text{д}}I_{\text{д}} - \Phi_{\text{г}}I_{\text{г}}).$$

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

After transformations the same expression can be written in two ways:

$$\Delta M_{\text{эм}} = c(\Phi_{\text{д}} \cdot \Delta I + \Delta \Phi \cdot I_{\text{г}});$$

$$\Delta M_{\text{эм}} = c(\Delta \Phi \cdot I_{\text{д}} + \Phi_{\text{г}} \cdot \Delta I).$$

For the case of correspondence of the magnetic characteristics ( $\Phi_{\text{д}} = \Phi_{\text{г}}$ )

$$\Delta M_{\text{эм}} = c\Phi \Delta I.$$

Qualitatively the characteristics  $\Delta M_{\text{эм}}(\Delta I)$  for the condition  $\Phi = \text{const}$  and  $\Delta \Phi = 0$  are shown in the Fig. 4.

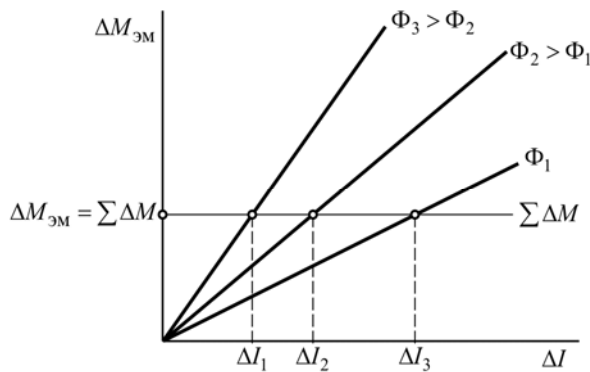


Fig. 4. The nature of the dependence of  $\Delta M_{\text{эм}}(\Delta I)$  for cases when  $\Delta \Phi = 0$

At  $\Delta \Phi = 0$  the dependence  $\Delta M_{\text{эм}}(\Delta I)$  is directly proportional. At  $\Delta \Phi \neq 0$  the dependence  $\Delta M_{\text{эм}}(\Delta I)$  is linear. The Fig. 5 shows the nature of dependence  $\Delta M_{\text{эм}}(\Delta I)$  for three conditions:  $\Delta \Phi = 0$ ;  $\Delta \Phi > 0$ ;  $\Delta \Phi < 0$ .

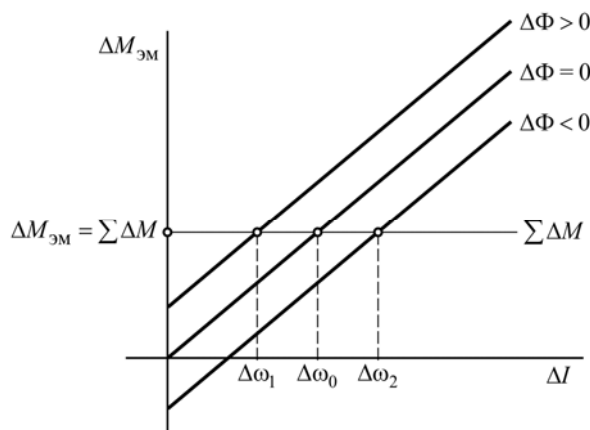


Fig. 5. The nature of the dependence of  $\Delta M_{\text{эм}}(\Delta I)$  for cases when  $\Delta \Phi \neq 0$

As one can see from the graphs in the Fig. 5, at the negative difference of magnetic fluxes of the tested electric machines ( $\Delta \Phi < 0$ ) to create the given value  $\Delta M_{\text{эм}}$  it is required the larger current difference  $\Delta I$  than at the coincidence of magnetic characteristics ( $\Delta \Phi = 0$ ). At the positive difference  $\Delta \Phi > 0$  the required value  $\Delta I$  is lesser than at  $\Delta \Phi = 0$ .

Let us consider the variant of regulating  $\Delta M_{\text{эм}}$  by changing the coefficient of angular speed transfer, wherein:

$$\begin{cases} k_{\omega} = \text{var}; \\ \Delta \Phi \neq 0; \\ \Delta I = 0. \end{cases}$$

The condition  $\Delta \Phi \neq 0$  is accepted in this variant of regulation from the same considerations as in the previous one.

The equation (1) for the given condition will have the form

$$\Delta M_{\text{эм}} = cI(\Phi_{\text{д}} - k_{\omega}\Phi_{\text{г}}).$$

After transformations we obtain the same expression in the form

$$\Delta M_{\text{эм}} = cI[\Phi_{\text{д}}(1 - k_{\omega}) + k_{\omega} \cdot \Delta \Phi].$$

At the coincidence of the magnetic characteristics of the tested electric machines

$$\Delta M_{\text{эм}} = (1 - k_{\omega})M_{\text{эмд}}.$$

Qualitatively the characteristics  $\Delta M_{\text{эм}}(k_{\omega})$  for the condition  $M_{\text{эмд}} = \text{const}$  and  $\Delta \Phi = 0$  are shown in the Fig. 6.

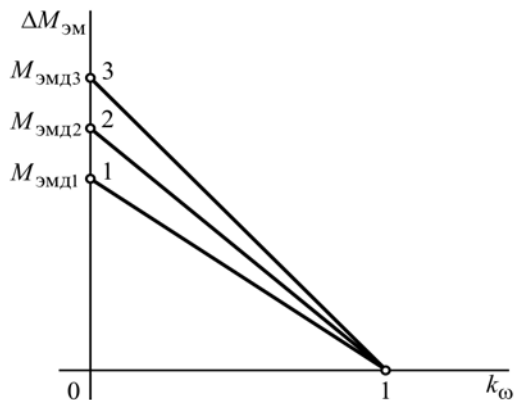


Fig. 6. The nature of the dependence of  $\Delta M_{\text{эм}}(k_{\omega})$  for cases when  $\Delta \Phi = 0$

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

In these variants of the mutual loading systems the transfer coefficient of the angular velocity  $k_{\omega}$  is always lesser than unity [2].

In the Fig. 7 it is qualitatively presented the dependence nature  $\Delta M_{\text{эм}}(k_{\omega})$  for the case of divergence of the magnetic characteristics of the tested electric machines ( $\Delta\Phi \neq 0$ ).

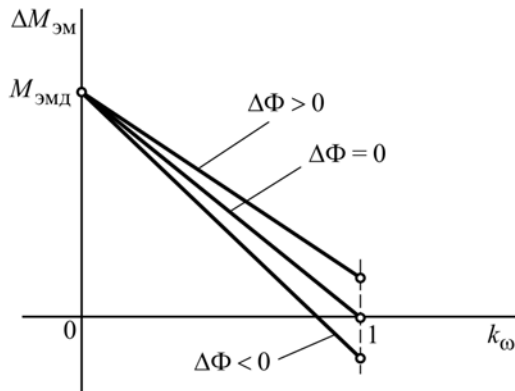


Fig. 7. The nature of the dependence of  $\Delta M_{\text{эм}}(k_{\omega})$  for cases when  $\Delta\Phi \neq 0$

As one can see from the graphs in the Fig. 7, at the negative difference of magnetic fluxes of the tested electric machines ( $\Delta\Phi < 0$ ) to create a given value of unbalanced electromagnetic torque  $\Delta M_{\text{эд}}$  it is required the coefficient of the angular velocity transfer  $k_{\omega}$  smaller than at the coincidence of magnetic characteristics ( $\Delta\Phi = 0$ ). At the positive difference  $\Delta\Phi > 0$  the required value  $k_{\omega}$  is greater than at  $\Delta\Phi = 0$ .

### Originality and practical value

For the first time the concept was introduced and the principles of regulation of unbalanced electromagnetic torque in the systems of mutual loading for electric machines of direct and pulse current were considered. Analytical expressions for the unbalanced electromagnetic torque for mutually loaded electric machines, the use of which will facilitate the development of control algorithms for testing stands of the traction electric cars of rolling stock of mainline and industrial transport were obtained.

### Conclusions

Unbalanced electromagnetic torque of mutually loaded traction electric machines provides an unbalanced electromagnetic power needed for the

implementation of electric method to cover the idling losses in the electric machines under study.

Regulation of unbalanced electromagnetic torque of mutually loaded traction electric machines can be realized by changing the difference of armature current, the difference of magnetic fluxes and the difference of the rotation angular velocities of electric machines armatures.

At the mutual loading of electric traction machines with divergent magnetic characteristics a broader range of regulating the magnetic fluxes of the machines under study is required.

### LIST OF REFERENCE LINKS

1. Афанасов, А. М. Регулирование небалансной электромагнитной мощности в системах взаимного нагружения тяговых электромашин / А. М. Афанасов // Гірнична електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 87. – С. 84–87.
2. Афанасов, А. М. Системы взаимного нагружения тяговых электрических машин постоянного и пульсирующего тока : монография / А. М. Афанасов. – Днепропетровск : Маковецкий, 2012. – 248 с.
3. ГОСТ 2582-81. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия. – Введ. 1983-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1981. – 34 с.
4. Жерве, Г. К. Промышленные испытания электрических машин / Г. К. Жерве. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1984. – 408 с.
5. Захарченко, Д. Д. Тяговые электрические машины : учеб. пособие для вузов / Д. Д. Захарченко, Н. А. Ротанов. – Москва : Транспорт, 1991. – 343 с.
6. Лоза, П. О. Визначення еквівалентного струму навантаження при випробуванні тягових електродвигунів на нагрівання без вентиляції / П. О. Лоза, Л. В. Дубинець, Д. В. Устименко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 25. – С. 26–29.
7. Лоза, П. О. Покращення енергетичних властивостей стенда для випробувань колекторних тягових двигунів локомотивів / П. О. Лоза // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 22. – С. 69–71.
8. Лоза, П. О. Покращення енергетичних та інших показників приймально-здавальних випробувань тягових двигунів електровозів / П. О. Лоза // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 27. – С. 81–83.

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

9. Магистральные электровозы. Тяговые электрические машины / В. И. Бочаров, Г. В. Василенко, А. Л. Курочка, В. П. Янов. – Москва : Энергоатомиздат, 1992. – 464 с.
10. Правила ремонту електричних машин електровозів і електропоїздів : ЦТ-0204. – Київ : Видавничий дім «САМ», 2012. – 286 с.
11. Castaneda, C. E. Discrete-Time Neural Sliding-Mode Block Control for a DC Motor With Controlled Flux / C. E. Castaneda, A. G. Loukianov, E. N. Sanchez // IEEE Transactions. Industrial Electronics. – 2012. – Vol. 59. – Iss. 2. – P. 1194–1206.
12. El Hayek, J. Experiences with a traction drive laboratory model / J. El Hayek, T. J. Sobczyk, G. Skarpetowski // Electromotion. – 2010. – Vol. 17. – Iss. 1. – P. 30–36.
13. Liu, Y. Developments in Switching Mode Supply Technologies / Y. Liu, W. Eberle // IEEE Canadian Review. Switching Mode Power Supplies. Fall. – 2009. – № 61. – P. 9–14.

А. М. АФАНАСОВ<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Електрорухомий склад залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, ел. пошта afanasof@ukr.net, ORCID 0000-0003-4609-2361

## РЕГУЛЮВАННЯ НЕБАЛАНСНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО МОМЕНТУ В СИСТЕМАХ ВЗАЄМНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ТЯГОВОГО ТА МОТОРВАГОННОГО РУХОМОГО СКЛАДУ МАГІСТРАЛЬНОГО ТА ПРОМИСЛОВОГО ТРАНСПОРТУ

**Мета.** Дані дослідження направлені на визначення принципів регулювання небалансного електромагнітного моменту взаємно навантажених електричних машин тягового і моторвагонного рухомого складу магістрального і промислового транспорту. Метою дослідження є підвищення енергетичної ефективності випробування тягових електричних машин постійного та пульсуючого струму шляхом удосконалення методів їх взаємного навантаження, в тому числі – принципів автоматичного регулювання системами взаємного навантаження. **Методика.** Методологічною основою даного дослідження є загальні теоретичні положення та принципи системного підходу теоретичної електротехніки, теорії електричних машин і теоретичної механіки. У дослідженні використовуються відомі методи аналізу електромагнітних та електромеханічних процесів в електричних машинах постійного й пульсуючого струму. Аналіз методів регулювання режимами навантаження тягових електромашин проведено з використанням узагальненої схеми взаємного навантаження, універсальної для всіх відомих способів покриття втрат холостого ходу джерелом електричної потужності. **Результати.** Розроблено загальні принципи управління режимами взаємного навантаження тягових електричних машин постійного та пульсуючого струму шляхом регулювання їх небалансного електромагнітного моменту. Розглянуто варіанти регулювання небалансного електромагнітного моменту шляхом зміни: різниці магнітних потоків взаємно навантажених електромашин, різниці струмів якорів електромашин, різниці кутових швидкостей валів електромашин. **Наукова новизна.** Отримали розвиток наукові основи удосконалення енергоефективних методів випробування тягових електричних машин постійного й пульсуючого струму. Сформульовані принципи управління режимами взаємного навантаження тягових електромашин. Вперше введено поняття та розглянуто принципи регулювання небалансного електромагнітного моменту в системах взаємного навантаження електричних машин постійного й пульсуючого струму. Отримані аналітичні вирази для небалансного електромагнітного моменту взаємно навантажених електричних машин. Сформульовані вимоги до систем автоматичного регулювання стендами взаємного навантаження тягових електромашин постійного й пульсуючого струму. **Практична значимість.** Використання результатів даних теоретичних досліджень суттєво спростить розробку алгоритмів управління стендами для випробування тягових електричних машин рухомого складу магістрального і промислового транспорту. Впровадження запропонованих принципів взаємного навантаження тягових електромашин дозволить суттєво понизити витрати на створення нових і модернізацію існуючих станцій для випробування тягових електромашин. Автоматизація процесу післяремонтних приймально-здавальних випробувань тягових електромашин дозволить істотно підвищити якість випробувань і надійність тягового та моторвагонного рухомого складу з електричним тяговим приводом.

**Ключові слова:** тягові електричні машини; випробування; взаємне навантаження; електромагнітний момент; регулювання

А. М. АФАНАСОВ<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Электроподвижной состав железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, эл. почта afanasof@ukr.net, ORCID 0000-0003-4609-2361

## РЕГУЛИРОВАНИЕ НЕБАЛАНСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА В СИСТЕМАХ ВЗАИМНОГО НАГРУЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ТЯГОВОГО И МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА МАГИСТРАЛЬНОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА

**Цель.** Данные исследования направлены на определение принципов регулирования небалансного электромагнитного момента взаимно нагруженных электрических машин тягового и моторвагонного подвижного состава магистрального и промышленного транспорта. Целью исследования является повышение энергетической эффективности испытания тяговых электрических машин постоянного и пульсирующего тока путем усовершенствования методов их взаимного нагружения, в том числе – принципов автоматического регулирования системами взаимного нагружения. **Методика.** Методологической основой данного исследования являются общие теоретические положения и принципы системного подхода теоретической электротехники, теории электрических машин и теоретической механики. В исследовании используются известные методы анализа электромагнитных и электромеханических процессов в электрических машинах постоянного и пульсирующего тока. Анализ методов регулирования режимами нагружения тяговых электромашин проведен с использованием обобщенной схемы взаимной нагрузки, универсальной для всех известных способов покрытия потерь холостого хода источником электрической мощности. **Результаты.** Разработаны общие принципы управления режимами взаимного нагружения тяговых электрических машин постоянного и пульсирующего тока путем регулирования их небалансного электромагнитного момента. Рассмотрены варианты регулирования небалансного электромагнитного момента путем изменения: разницы магнитных потоков взаимно нагруженных электромашин, разницы токов якорей электромашин, разницы угловых скоростей валов электромашин. **Научная новизна.** Получили развитие научные основы усовершенствования энергоэффективных методов испытания тяговых электрических машин постоянного и пульсирующего тока. Сформулированы принципы управления режимами взаимного нагружения тяговых электромашин. Впервые введено понятие и рассмотрены принципы регулирования небалансного электромагнитного момента в системах взаимного нагружения электрических машин постоянного и пульсирующего тока. Получены аналитические выражения для небалансного электромагнитного момента взаимно нагруженных электрических машин. Сформулированы требования к системам автоматического регулирования стендами взаимного нагружения тяговых электромашин постоянного и пульсирующего тока. **Практическая значимость.** Использование результатов данных теоретических исследований существенно упростит разработку алгоритмов управления стендами для испытания тяговых электрических машин подвижного состава магистрального и промышленного транспорта. Внедрение предложенных принципов взаимного нагружения тяговых электромашин позволит существенно снизить затраты на создание новых и модернизацию существующих станций для испытания тяговых электромашин. Автоматизация процесса послеремонтных приемо-сдаточных испытаний тяговых электромашин позволит существенно повысить качество испытаний и надежность тягового и моторвагонного подвижного состава с электрическим тяговым приводом.

**Ключевые слова:** тяговые электрические машины; испытание; взаимное нагружение; электромагнитный момент; регулирование

### REFERENCES

1. Afanasov A.M. Regulirovaniye nebalansnoy elektromagnitnoy moshchnosti v sistemakh vzaimnogo nagruzeniya tyagovykh elektromashin [Regulation of unbalanced electromagnetic power in the mutual loading systems of electric traction machines]. *Hirnycha elektromekhanika ta avtomatyka – Mining Electrical Engineering and Automation*, 2011, no. 87, pp. 84-87.
2. Afanasov, A. M. *Sistemy vzaimnogo nagruzeniya tyagovykh elektricheskikh mashin postoyannogo i pulsiyushchego toka* [Systems of mutual loading of traction electric machines of direct and pulse current]. Dnipropetrovsk, Izd-vo Makovetskiy Publ., 2012. 248 p.

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

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

*Prof. H. K. Hetman, D. Sc. (Tech.); Prof. F. P. Shkrabets, D. Sc. (Tech.) recommended this article to be published*

Received: Sept. 12, 2014

Accepted: Nov. 3, 2014

## УДК 621.331

Д. В. МІРОНОВ<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Електропостачання залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 25, ел. пошта mironov.epz@yandex.ua, ORCID 0000-0002-5717-4322

## УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ТЯГОВИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ПРОЦЕСНОГО ПІДХОДУ

**Мета.** Дослідження спрямоване на розробку нових методів удосконалення технічного обслуговування обладнання тягових мереж для підвищення його ефективності та якості. **Методика.** У світовій практиці розв'язання проблем, пов'язаних із якістю продукції та послуг, зазвичай досягається шляхом впровадження в діяльність підприємств системи управління якістю. Для вирішення поставленої задачі були використані основні положення системи управління якістю продукції. Застосовано технології процесного інжинірингу для описання основних етапів процесу технічного обслуговування. **Результати.** Розвиток швидкісного й високошвидкісного руху та зростання його інтенсивності, застосування електрорухомого складу нового покоління вимагають впровадження нових методів діагностики технічного стану обладнання та вдосконалення існуючої системи технічного обслуговування та ремонту пристроїв електропостачання. Розробка моделі бізнес-процесів, їх оптимізація з використанням технологій процесного інжинірингу та системного менеджменту необхідна для переходу до системи управління, заснованої на процесному підході. З позицій процесного підходу та відповідно до вимог стандарту системи управління якістю (ДСТУ ISO 9001-2009) функціонування інфраструктури господарства Е (Департамент електрифікації та електропостачання) представлено у вигляді схеми бізнес-процесів, в якій гарантоване забезпечення електроенергією залізничних та сторонніх споживачів визначається як головний бізнес-процес господарства. Детально описано кожен із підпроцесів електропостачання споживачів. Розглянуто методику використання та основні етапи процесного підходу до реорганізації системи управління процесом моніторингу. Описано методологію та спосіб застосування замкнутого циклу PDCA (Plan-Do-Check-Act) до системи технічного обслуговування обладнання. Внаслідок проведених досліджень за допомогою процесного підходу декомпоновано процес моніторингу обладнання тягових мереж. Детально розглянуто технічний супровід процесу електропостачання. Описано шляхи покращення бізнес-процесів господарства Е (Департамент електрифікації та електропостачання). **Наукова новизна.** Запропоновано шляхи удосконалення технічного обслуговування обладнання тягових мереж з використанням технологій процесного інжинірингу та системного управління якістю продукції. **Практична значимість.** Застосування положень системи управління якістю продукції до процесу технічного обслуговування устаткування дозволить забезпечити поліпшення якості процесу за рахунок підвищення показників надійності енергоустаткування, рівня обслуговування споживачів електроенергії, корінних змін виробничих процесів, спрямованих на підвищення ефективності діяльності галузі.

*Ключові слова:* електропостачання; система управління якістю; процесний інжиніринг; бізнес-процеси; технічне обслуговування

### Вступ

На сьогодні ситуація в електроенергетичній інфраструктурі залізничного транспорту України досить складна: значна частина обладнання, що знаходиться в експлуатації, вже вичерпала свій ресурс і потребує заміни або поетапної реконструкції та оновлення. Крім того, необхідно підвищувати ефективність використання наявного обладнання, застосовувати нові методи діагностування технічного стану обладнання, скорочувати експлуатаційні витрати і пере-

ходити на ресурсо- та енергозберігаючі технології. Якісна та швидка реалізація всіх вищезазначених заходів стає можливою у разі впровадження системи менеджменту якості в керуванні електроенергетичною інфраструктурою залізничного транспорту України.

Розвиток швидкісного і високошвидкісного руху та зростання його інтенсивності, застосування електрорухомого складу нового покоління, вимагають заміни застарілого обладнання та елементів низької експлуатаційної надійності

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

на високотехнологічні пристрої підвищеної надійності і збільшеного ресурсу; впровадження нових методів діагностики технічного стану обладнання і вдосконалення існуючої системи технічного обслуговування та ремонту пристроїв електропостачання. Надійність обладнання зростає, насамперед, у результаті застосування сучасних елементів управління у системах електропостачання інфраструктури.

**Мета**

Метою роботи є розробка нових методів удосконалення технічного обслуговування обладнання тягових мереж для покращення рівня ефективності та якості електропостачання.

**Методика**

У світовій практиці розв'язання проблем, пов'язаних з якістю продукції та послуг, зазвичай досягається шляхом впровадження в діяльність підприємств системи управління якістю [1, 11, 13]. Розробка моделі бізнес-процесів, їх оптимізація з використанням технологій процесного інжинірингу та системного менеджменту необхідна для переходу до системи управління, заснованої на процесному підході. Для успішного функціонування підприємство повинне визначити і виконувати менеджмент багатьох взаємопов'язаних видів діяльності. Згідно зі стандартом ДСТУ ISO 9001:2009 діяльність, яка ви-

користує ресурси і управляється з метою перетворення вхідної продукції у вихідну, може розглядатися як процес. Застосування в організації системи процесів разом з їх ідентифікацією та взаємодією, а також менеджмент процесів, спрямований на отримання бажаного результату, можуть бути визначені як процесний підхід [4]. При застосуванні в системі менеджменту якості процесний підхід підкреслює важливість:

- розуміння та виконання вимог, що висуваються до якості продукції;
- отримання результатів виконання процесів і забезпечення їх результативності;
- постійного поліпшення процесів на основі об'єктивних оцінок.

**Результати**

Основною технологічною задачею господарства Е є гарантоване забезпечення електроенергією залізничних та сторонніх споживачів. Електроенергія виступає основним видом продукції. З позицій процесного підходу і відповідно до вимог стандарту системи управління якістю (ДСТУ ISO 9001-2009), функціонування інфраструктури господарства Е може бути наведено у вигляді схеми (рис. 1), в якій гарантоване забезпечення електроенергією залізничних та сторонніх споживачів визначається як головний бізнес-процес господарства [8, 9].

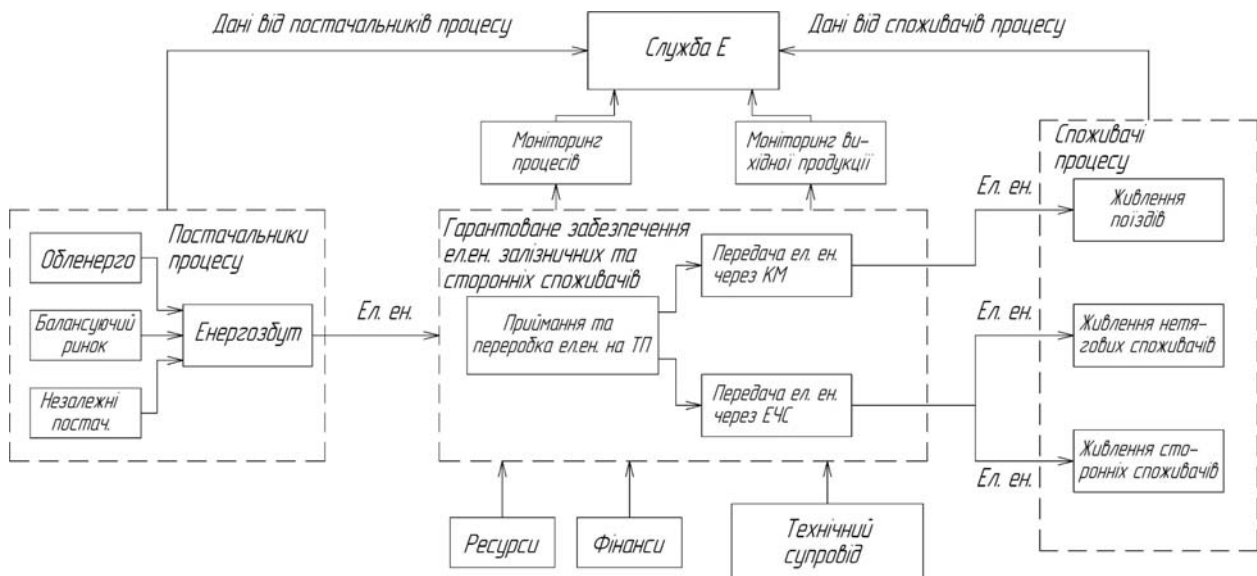


Рис. 1. Функціональна структура головного бізнес-процесу господарства Е

Fig. 1. Functional structure of main business-processes of E management

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

На цій функціональній схемі блоками зображені бізнес-процеси системи. Зліва – блоки, призначені для входів, справа – для виходів, внизу – для механізмів, зверху – для керівних факторів. Таке позначення окреслює основні системні принципи: вхідна продукція перетворюється у вихідну, управління системою обмежує або вказує умови виконання перетворень, механізми показують, хто, що і яким чином виконує функції процесів та підпроцесів [7, 15].

Споживачами послуг господарства Е виступають:

– залізничні тягові споживачі; до 80 % електроенергії припадає на споживання електрорухомим складом (далі ЕРС) і спрямована на забезпечення тяги поїздів;

– залізничні нетягові споживачі; споживана ними електроенергія припадає на експлуатаційні потреби господарств та дирекціям на філіалах колії, вагонного господарства, вантажної і комерційної роботи, сигналізації та зв'язку, служби руху, локомотивного господарства, цивільних споруд та ін.;

– сторонні споживачі, які мають технологічне приєднання до електричних мереж підприємств господарства Е.

На основі цієї градації споживачів послуг господарства Е та виходячи з основної технологічної задачі господарства – гарантованого забезпечення електроенергією споживачів – якість виконання послуг визначається задоволеністю споживачів. Стосовно залізничних тягових споживачів слід говорити про задоволеність перевезень [3].

Для виконання головного завдання – забезпечення електроенергією залізничних та сторонніх споживачів – підприємства господарства Е перетворюють електроенергію на тягових підстанціях (далі ТП), передають електроенергію заданих параметрів через КМ на ЕРС для тяги поїздів, а також передають електроенергію заданих параметрів через райони електропостачання стороннім споживачам (населенню, підприємствам).

Якість виконання основної технологічної задачі господарства Е визначається якістю виконання технологічного процесу постачання електроенергії і залежить від постачальників процесу.

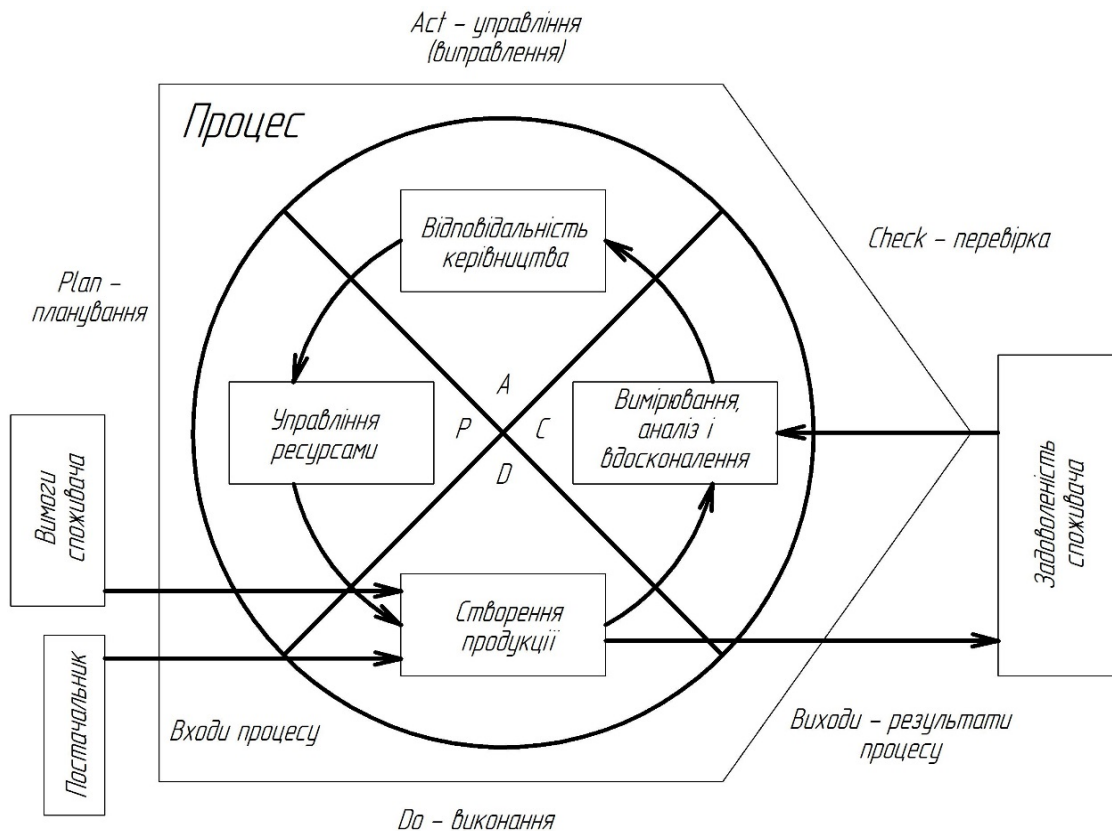


Рис. 2. Суміщена схема циклу Демінга та схеми процесного підходу

Fig. 2. Combined Deming Cycle scheme and schemes of process approach

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Обсяг купленої та отриманої електроенергії для господарства Е значною мірою зумовлений розмірами руху поїздів. Освоєння обсягів електроенергії, а також їх планування здійснюється відповідними структурними підрозділами Укрзалізниці – службами руху локомотивного господарства, фінансово-економічною службою, які визначені як «постачальники процесу». Вищеперераховані процеси відносяться до основних процесів.

Кожен процес повинен мати власника – відповідальну особу (групу осіб, підрозділ) з чітко визначеними обов'язками і повноваженнями. Ця особа несе відповідальність за розробку процесу, його документацію, оцінку ефективності функціонування процесу, а також за навчання співробітників і визначення взаємозв'язків між ними. Власник процесу безперервно або з встановленою періодичністю контролює хід процесу і приймає керівні рішення у випадках відхилення параметрів процесу від критеріїв, встановлених для нормального ходу процесу [14]. Власник процесу в ході управління планує (Plan) розподіл ресурсів для досягнення поставлених цілей процесу з максимальною ефективністю. Хід виконання (Do) процесу виконавцями власник перевіряє (Check) за інформацією, яка надходить з контрольних точок. Власник процесу веде оперативне управління процесом, керуючи (активно втручаючись в хід процесу – Act), змінюючи запланований розподіл ресурсів, змінюючи плани, терміни і вимоги до результатів процесу відповідно до зміни ситуації. Діяльність власника процесу носить плановий характер при нормальному ході процесу або неплановий – у випадках виникнення проблемних ситуацій, що вимагають негайного втручання. Замкнений цикл управління відомий як цикл Демінга P-D-C-A (Plan – Do – Check – Act): планування – виконання – перевірка – управління (виправлення). Методологія PDCA є алгоритмом дій керівника з управління процесом і досягнення його цілей [6]. Суміщена схема циклу P-D-C-A та схеми процесного підходу зображено на рис. 2.

Функціонування головного процесу господарства Е здійснюється під загальним управлінням з боку Служби електрифікації та електропостачання. Саме вона є власником процесу. Служба Е здійснює моніторинг та оцінювання головного процесу та його підпроцесів; слідкує

за належним рівнем якості відпущеної електроенергії (основного продукту); отримує інформацію від постачальників та споживачів процесу; виконує аналіз ходу процесу. Результати моніторингу, а також дані про задоволеність споживачів і дані від постачальників є основою для аналізу результативності та ефективності процесу його власником. За результатами аналізу здійснюються коригуючі дії, а також постійне поліпшення процесу за рахунок запобіжних дій. Окрім вищезазначених функцій управління процесом включає:

- визначення необхідних ресурсів для результативного та ефективного виконання процесу (ресурси можуть включати обладнання, контрольно-вимірювальні прилади, кваліфікований персонал, відповідні виробничі умови і т.п.);
- порядок прийняття рішень у випадку відмов процесу;
- визначення необхідного рівня кваліфікації фахівців;
- навчання, підвищення кваліфікації, мотивація персоналу.

Управління процесами здійснюється на основі аналізу надійної інформації. Тому вимірювання показників функціонування процесів є одним з найважливіших завдань системи менеджменту якості. Виміри стосуються показників якості продукції і параметрів процесів, задоволеності споживачів і співробітників, продуктивності, результативності та ефективності процесів, витрат, пов'язаних з реалізацією процесів. На основі виконаних вимірів заповнюється відповідна документація, яка свідчить про якість виконання основних процесів та підпроцесів [12, 5].

Система управління, заснована на процесному підході, повинна бути орієнтована на постійне вдосконалення всіх процесів підприємства. Існують два шляхи покращення процесів: безперервне вдосконалення (включає в себе стандартизацію, скорочення часу виконання, поступове підвищення кваліфікації персоналу і т.д.) та вдосконалення за рахунок динамічних нововведень (впровадження новітніх технологій, перепроектування процесів, значне підвищення кваліфікації персоналу і т.д.). При цьому другий метод вимагає значних капіталовкладень і має високий рівень ризику, проте приводить до різкого зростання показників якості процесу [2].

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

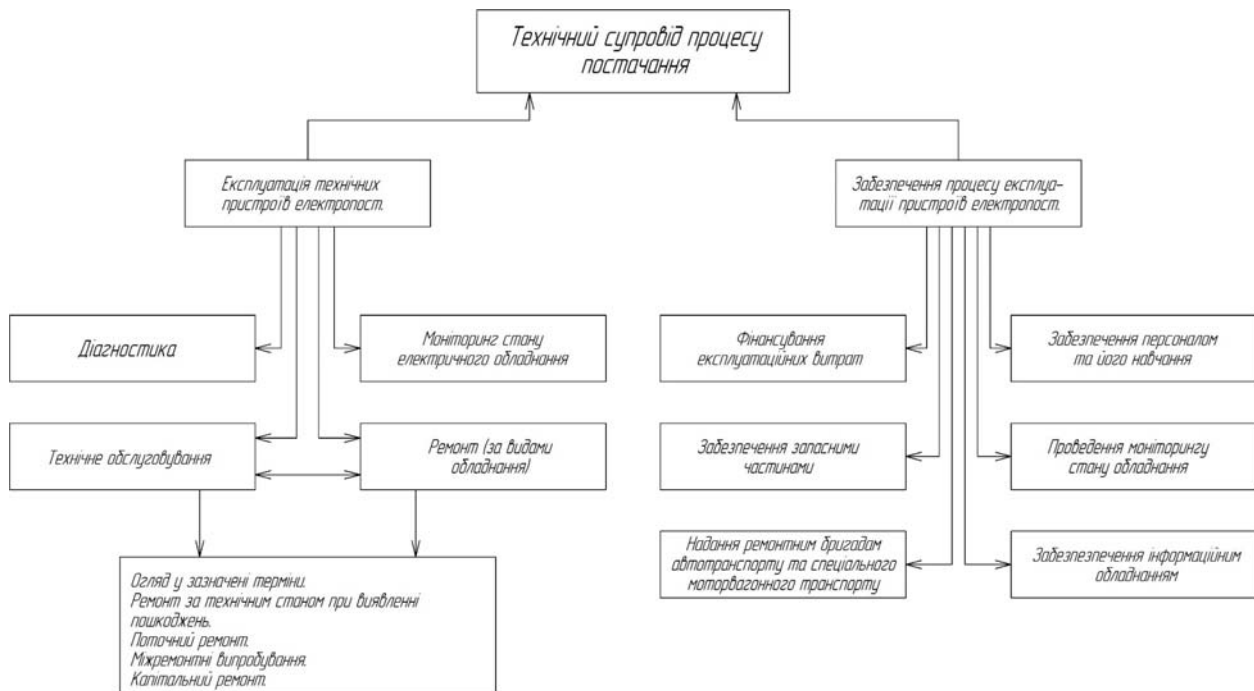


Рис. 3. Функціональна структура технічного супроводу процесу постачання

Fig. 3. Functional structure of technical support procurement

Можливість реалізації завдань, покладених на господарство Е, багато в чому визначається відведеним для цього матеріальним і фінансовим ресурсом, розрахованим на певний період. В рамках своїх повноважень власник процесу здійснює менеджмент фінансів та ресурсів. У зв'язку з цим можна говорити про наявність керуючих факторів, що визначають якість виконання господарством Е поставлених перед ним завдань. Ці процеси відносяться до процесів управління.

Організаційно-технічний супровід головного процесу здійснюється лінійними підприємствами господарства служби Е – дистанціями електропостачання (далі ЕЧ) та їх лінійними підрозділами – ЕЧЕ, ЕЧК і районами електропостачання (далі ЕЧС).

Функції технічного супроводу головного процесу господарства Е можна розбити на два підпроцеси, кожен з яких в свою чергу також поділяється на свої підпроцеси (рис. 3):

1. Експлуатація технічних пристроїв електропостачання, що включає:

- моніторинг та діагностику технічного стану обладнання ТП, КМ і ЕЧС;
- технічне обслуговування та ремонт обладнання ТП, КМ, постів секціонування та пунктів

паралельного з'єднання, а також обладнання ЕЧС.

2. Забезпечення процесу експлуатації технічних пристроїв, що включає модернізацію та оновлення обладнання, підготовку виробництва та інші види діяльності [3]. Ці процеси відносяться до забезпечуючих процесів.

Для забезпечення процесу експлуатаційної роботи використовуються такі ресурси і процеси: фінансування експлуатаційних витрат, забезпечення персоналом та його навчання, забезпечення запасними частинами, здійснення моніторингу стану обладнання (ТП) і (КС), надання ремонтним бригадам автотранспорту та спеціального моторвагонного транспорту, забезпечення інформаційним обладнанням [10].

### Наукова новизна та практична значимість

Результати розглянутого в статті підходу до описання системи ділових процесів галузі електропостачання залізничних споживачів можуть бути використані під час розробки системи управління якістю продукції та виконанні процедури процесного інжинірингу.

Застосування процесного підходу в системі технічного обслуговування обладнання тягових

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

мереж покликане забезпечити поліпшення якості електропостачання за рахунок підвищення показників надійності енергоукомплектування, рівня обслуговування споживачів електроенергії, корінних змін виробничих процесів, спрямованих на підвищення ефективності діяльності.

## Висновки

Таким чином, процесний підхід до управління розглядає підприємство як мережу пов'язаних між собою бізнес-процесів, а не сукупність розрізнених функцій. Кожен бізнес-процес є послідовністю операцій, які націлені на досягнення певного результату. Процесний підхід до управління підприємством робить його орієнтованим на результат. Кожен співробітник чітко знає, яку роботу, в який термін і якої якості йому потрібно виконати для того, щоб бізнес-процес, в якому він бере участь, привів до бажаного результату. При цьому використовуються різноманітні методи мотивації персоналу. Процесний підхід дозволяє чітко усвідомити, навіщо відбуваються всі процеси на підприємстві і який їхній внесок у результати діяльності підприємства в цілому.

В умовах, коли значна частина експлуатованого обладнання застаріла і вимагає заміни або оновлення, задача безперебійного електропостачання значною мірою визначається ефективністю та якістю існуючої системи технічного обслуговування і ремонту. Потрібні нові принципи, методи, моделі, покликані забезпечити якість системи технічного обслуговування і ремонту енергетичного устаткування в сучасних економічних умовах. Застосування процесного підходу складає основу подальшої роботи з вдосконалення системи управління не лише процесом технічного обслуговування та ремонту устаткування, а й підприємства в цілому. Впровадження таких інструментів, як процедури реінжинірингу ділових процесів та системи менеджменту якості сприятимуть підвищенню ефективності діяльності підприємства.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Боднар, Б. Є. Системи управління якістю за стандартом ISO 9000 у вищих навчальних закладах / Б. Є. Боднар, О. О. Матусевич // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 40. – С. 167–172.
- Быков, Ю. М. Процессный подход при внедрении систем менеджмента качества в соответствии со стандартами ИСО серии 9000 : учеб. пособие / Ю. М. Быков. – Волгоград : РПК «Политехник», 2004. – 52 с.
- Галкин, А. Г. Математическое моделирование и информационные технологии в задачах диагностики контактной сети электрифицированных железных дорог : монография / А. Г. Галкин, А. Н. Митрофанов, С. А. Митрофанов. – Екатеринбург : УрГУПС, 2012. – 226 с.
- ДСТУ ISO 9001:2009. Системи управління якістю. Вимоги. – На заміну ДСТУ ISO 9001:2001 ; надано чинності 2009-06-22. – Київ : Держспоживстандарт України, 2009. – 26 с.
- Елиферов, В. Г. Бизнес-процессы: Регламентация и управление : учебник / В. Г. Елиферов, В. В. Репин. – Москва : Инфра-М, 2005. – 319 с.
- Елиферов, В. Г. Международный стандарт ИСО 9001:2000 «на ладони» / В. Г. Елиферов // Методы менеджмента качества. – 2003. – № 9. – С. 18–22.
- Кирисов, С. В. Теория и практика применения процессного подхода к управлению качеством деятельности организации : монография / С. В. Кирисов. – Тамбов : Изд-во Тамб. госуниверситета, 2009. – 80 с.
- Митрофанов, С. А. Методика статистического анализа для выявления индикативных показателей производственно-финансовой деятельности электроснабжающих предприятий / С. А. Митрофанов // Вестн. Сам. муниципал. ин-та упр. : теорет. и науч.-метод. журн. – 2009. – № 11. – С. 20–26.
- Митрофанов, С. А. Процессный анализ структуры и управления производственно-экономической деятельностью предприятий энергетического хозяйства железнодорожного транспорта / С. А. Митрофанов // Вестн. Сам. муниципал. ин-та упр. : теорет. и науч.-метод. журн. – 2009. – № 10. – С. 89–100.
- Надійність і діагностика пристроїв тягового електропостачання : навч. посіб. / В. Г. Кузнецов, О. Г. Галкін, О. В. Єфімов, О. О. Матусевич. – Дніпропетровськ : Маковецький, 2009. – 248 с.
- Некоторые вопросы технологии разработки системы управления качеством на железнодорожном транспорте / О. П. Ткаченко, В. Я. Москалец, Н. П. Янгулов, Р. Ю. Пацовский // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 13. – С. 87–91.
- Робсон, М. Практическое руководство по реинжинирингу бизнес-процессов / М. Робсон, Ф. Уллах. – Москва : Аудит, ЮНИТИ, 1997. – 224 с.

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

13. Чайковская, Е. А. Совершенствование системы управления ремонтным предприятием на основе внедрения МС ИСО серии 9000 / Е. А. Чайковская // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 13. – С. 92–95.
14. Champy, J. Reengineering Management / J. Champy. – New-York : HarperCollins Publishers, 1995. – 240 p. doi : 10.1002/hrm.3930340408.
15. Mayer, R. J. Delivering results: Evolving BPR from art to engineering [Virtual Resource] / R. J. Mayer, Paula S. de Witte // IDEF : Integrated Definition Methods. – 54 p. – Available at: [http://www.idef.com/ Downloads/ Delivering Results: Evolving BPR from Art to Engineering.pdf](http://www.idef.com/Downloads/Delivering%20Results%20Evolving%20BPR%20from%20Art%20to%20Engineering.pdf). – Title from the screen. – Accessed 5.03. 2014. doi : 10.1007/978-1-4615-5091-4\_5.

Д. В. МИРОНОВ<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Электроснабжение железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 25, эл. почта [miroNov.epz@yandex.ua](mailto:miroNov.epz@yandex.ua), ORCID 0000-0002-5717-4322

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ТЯГОВЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА

**Цель.** Исследование направлено на разработку новых методов совершенствования технического обслуживания оборудования тяговых сетей для повышения его эффективности и качества. **Методика.** В мировой практике решения проблем, связанных с качеством продукции и услуг, обычно достигается путем внедрения в деятельность предприятий системы управления качеством. Для решения поставленной задачи были использованы положения системы управления качеством продукции. Используются технологии процессного инжиниринга для описания основных этапов процесса технического обслуживания. **Результаты.** Развитие скоростного и высокоскоростного движения и рост его интенсивности, применение электроподвижного состава нового поколения требуют внедрения новых методов диагностики технического состояния оборудования и совершенствование существующей системы технического обслуживания и ремонта устройств электроснабжения. Разработка модели бизнес-процессов, их оптимизация с использованием технологий процессного инжиниринга и системного менеджмента необходима для перехода к системе управления, основанной на процессном подходе. С позиций процессного подхода и в соответствии с требованиями стандарта системы менеджмента качества (ИСО 9001-2009) функционирование инфраструктуры хозяйства Э (Департамент электрификации и электроснабжения) представлено в виде схемы бизнес-процессов, в которой гарантированное обеспечение электроэнергией железнодорожных и сторонних потребителей определяется как главный бизнес-процесс хозяйства. Подробно описан каждый из подпроцессов электроснабжения потребителей. Рассмотрена методика использования и основные этапы процессного подхода к реорганизации системы управления процессом мониторинга. Описана методология и способ применения замкнутого цикла PDCA (Plan-Do-Check-Act) к системе технического обслуживания оборудования. В результате проведенных исследований с помощью процессного подхода декомпозированно процесс мониторинга оборудования тяговых сетей. Подробно рассмотрено техническое сопровождение процесса электроснабжения. Описаны пути улучшения бизнес-процессов хозяйства Э (Департамент электрификации и электроснабжения). **Научная новизна.** Предложены пути совершенствования технического обслуживания оборудования тяговых сетей с использованием технологий процессного инжиниринга и системного управления качеством продукции. **Практическая значимость.** Применение положений системы управления качеством продукции к процессу технического обслуживания оборудования позволит обеспечить улучшение качества процесса за счет повышения показателей надежности энергооборудования, уровня обслуживания потребителей электроэнергии, коренных изменений производственных процессов, направленных на повышение эффективности деятельности отрасли.

**Ключевые слова:** электроснабжение; система управления качеством; процессный инжиниринг; бизнес-процессы; техническое обслуживание

D. V. MIRONOV<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Electric Power Supply of Railroads», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine, tel. +38 (056) 373 15 25, e-mail mironov.epz@yandex.ua, ORCID 0000-0002-5717-4322

## THE IMPROVEMENT OF MAINTENANCE SERVICE FOR TRACTION NETWORKS EQUIPMENT ON THE BASE OF PROCESS APPROACH

**Purpose.** The new methods development for improving the maintenance service for equipment of traction networks in order to increase its efficiency and quality. **Methodology.** In world practice of solving problems related to the quality of products and services is usually achieved by introducing quality management system in to the enterprises. The provisions of quality management system were used for solving the problem. The technologies of process engineering were used for describing the main stages of maintenance service. **Findings.** The development of high-speed movement and growth of its intensity, the use of electric rolling stock of a new generation require the introduction of new methods diagnostics of equipment technical state and improvement of the existing maintenance system and repair of power supply. Developing a model of business-processes, their optimization with using techniques of process engineering and system management is needed for the transition to the management system based on the process approach. From the standpoint of the process approach and in accordance with the requirements of the quality management system (ISO 9001-2009), the operation of the E (Department of electrification and power supply) infrastructure sector is represented as a scheme of business-processes in which the guaranteed supply with electricity of railway and third-party consumers is defined as the main business-process of management. Each of the sub-process of power supply for consumers is described in details. The use methods and main stages of process approach for sample management system reorganization were investigated. The methodology and the application method of PDCA (Plan-Do-Check-Act) closed loop to the equipment maintenance system were described. The monitoring process of traction networks maintenance using the process approach was divided into components after investigations. The technical documentation of maintenance service was investigated in details. Ways to improve business-processes of E (Department of electrification and power supply) management were described. **Originality.** Maintenance improvement ways for equipment of traction networks using process engineering technologies and quality of electric power supply were proposed. **Practical value.** Using the provisions of the quality management system to the process of maintenance equipment will let ensure the improvement of process quality by increasing the reliability indices of electric equipment, the service level of consumers and changes of production processes focused on the efficiency increase of the sector activity.

*Keywords:* electric power supply; quality management system; process engineering; business-processes; maintenance

### REFERENCES

1. Bodnar B.Ye., Matusevych O.O. Systemy upravlinnia yakistiu za standartom iso 9000 u vyshchkykh navchalnykh zakladakh [QMS with iso 9000 standards in higher education]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 40, pp. 167-172.
2. Bykov Yu.M. *Protsessnyy podkhod pri vnedrenii sistem menedzhmenta kachestva v sootvetstvii so standartami ISO serii 9000* [Process approach in implementing quality management systems in accordance with ISO 9000]. Volgograd, RPK «Polytechnic» Publ., 2004. 52 p.
3. Galkin A.G., Mitrofanov A.N., Mitrofanov S.A. *Matematicheskoye modelirovaniye i informatsionnyye tekhnologii v zadachakh diagnostiki kontaktnoy seti elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog* [Mathematical simulation and information technologies in the diagnostics of a contact network of electrified railways]. Ekaterinburg, USURT Publ., 2012. 226 p.
4. *DSTU ISO 9001:2009. Systemy upravlinnia yakistiu. Vymohy.* [State Standard ISO 9001:2009. Quality Management System. Requirements]. Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy Publ., 2009. 26 p.
5. Yelifеров V.G., Repin V.V. *Biznes-protsessy: Reglamentatsiya i upravleniye* [Business processes: Regulation and control]. Moscow, Infra-M Publ., 2005. 319 p.
6. Yelifеров V.G. Mezhdunarodnyy standart ISO 9001:2000 «na ladoni» [International Standard ISO 9001:2000 «on hand»]. *Metody menedzhmenta kachestva – Methods of Quality Management*, 2003, no. 9, pp.18-22.

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

7. Kirisov S.V. *Teoriya i praktika primeneniya protsessnogo podkhoda k upravleniyu kachestvom deyatel'nosti organizatsii* [Theory and practice of the process approach application to quality management of organization activities]. Tambov, Tambovsk National Technical University Publ., 2009. 80 p.
8. Mitrofanov S.A. Metodika statisticheskogo analiza dlya vyyavleniya indikativnykh pokazateley proizvodstvenno-finansovoy deyatel'nosti elektrosnabzhayushchikh predpriyatiy [Methodology of statistical analysis to identify performance indicators of production-financial activity of electricity supplying companies]. *Vestnik Samarskogo munitsipalnogo instituta upravleniya* [Bulletin of the Samara Municipal Management Institute], 2009, issue 11, pp. 20-26.
9. Mitrofanov S.A. Protsessnyy analiz struktury i upravleniya proizvodstvenno-ekonomicheskoy deyatel'nostyu predpriyatiy energeticheskogo khozyaystva zheleznodorozhnogo transporta [Processing analysis of the structure and management of industrial and economic activities of the energy sector of railway transport]. *Vestnik Samarskogo munitsipalnogo instituta upravleniya* [Bulletin of the Samara Municipal Management Institute], 2009, issue 10, pp. 89-100.
10. Kuznetsov V.H., Halkin O.H., Yefimov O.V., Matushevych O.O. *Nadiinist i diahnozyka prystroiv tiahovoho elektropostachannia* [Reliability and diagnostic the devices of traction power supply]. Dnipropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2009. 248 p.
11. Tkachenko O.P., Moskalets V.Ya., Yangulov N.P., Patsovskiy R.Yu. Nekotoryye voprosy tekhnologii razrabotki sistemy upravleniya kachestvom na zheleznodorozhnom transporte [The development technology questions of quality management systems in railroad transport]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2006, issue 13, pp. 87-91.
12. Robson M., Ullakh F. *Prakticheskoye rukovodstvo po reinzhiniringu bizness-protsessov* [Practical Guide to Business Process Reengineering]. Moscow, Audit, UNITY Publ., 1997. 224 p.
13. Chaykovskaya Ye.A. Sovershenstvovaniye sistemy upravleniya remontnym predpriyatiyem na osnove vnedreniya MS ISO serii 9000 [Improving management system repair facility based on the introduction of ISO 9000]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2006, issue 13, pp. 92-95.
14. Champy James. *Reengineering Management*. New York, HarperCollins Publishers, 1995. 240 p.
15. Mayer R.J., Witte P.S. *Delivering results: Evolving BPR from art to engineering*. IDEF: Integrated DEFinition Methods. 54 p. Available at: <http://www.idef.com/Downloads/Delivering Results: Evolving BPR from Art to Engineering.pdf> (Accessed 5 March 2014).

*Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. С. І. Випанасенком (Україна); д.т.н., проф. В. Г. Сиченком (Україна)*

Надійшла до редколегії: 24.06.2014

Прийнята до друку: 01.10.2014

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 669.714:669.716

А. А. МИТЯЕВ<sup>1\*</sup>, И. П. ВОЛЧОК<sup>2</sup>, Р. А. ФРОЛОВ<sup>3</sup>, К. Н. ЛОЗА<sup>4</sup>, О. В. ГНАТЕНКО<sup>5</sup>,  
В. В. ЛУКИНОВ<sup>6</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Технология металлов», Запорожский национальный технический университет, ул. Жуковского, 64, Запорожье, Украина, 69063, тел. +38 (061) 769 82 71, эл. почта tmzntu@gmail.com, ORCID 0000-0001-9034-1359

<sup>2</sup>Каф. «Технология металлов», Запорожский национальный технический университет, ул. Жуковского, 64, Запорожье, Украина, 69063, тел. +38 (061) 764 13 51, эл. почта tmzntu@gmail.com, ORCID 0000-0003-1580-0556

<sup>3</sup>Каф. «Детали машин и подъемно-транспортные механизмы», Запорожский национальный технический университет, ул. Жуковского, 64, Запорожье, Украина, 69063, тел. +38 (061) 764 12 73, эл. почта tmzntu@gmail.com, ORCID 0000-0001-9967-0220

<sup>4</sup>АО «Мотор Сич», ул. Моторостроителей, 15, Запорожье, Украина, 69068 тел. +38 (061) 720 48 83, эл. почта tmzntu@gmail.com, ORCID 0000-0002-2713-5744

<sup>5</sup>АО «Мотор Сич», ул. Моторостроителей, 15, Запорожье, Украина, 69068 тел. +38 (061) 720 48 83

<sup>6</sup>АО «Мотор Сич», ул. Моторостроителей, 15, Запорожье, Украина, 69068 тел. +38 (061) 720 48 83

## КОМПЛЕКСНОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ СИЛУМИНОВ

**Цель.** В работе необходимо разработать научно-технологические основы формирования заданной структуры вторичных доэвтектических (АК8МЗ) и эвтектических (АК12М2МгН) силуминов и повышения показателей их механических и служебных свойств в литом состоянии и после термообработки до уровня первичных сплавов. **Методика.** Определение химического состава проводили спектральным анализом на искровом спектрометре «СПЕКТРОЛАБ» (Германия). Металлографический анализ выполняли на микроскопах МИМ-7 и МИМ-8, а также методом металлографии высокого разрешения на растровом электронном микроскопе «JSMT-300» (Япония). Термообработку алюминиевых сплавов проводили по режимам Т1 и Т5 в соответствии с ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93). При определении механических свойств использовали стандартные методики. Для поршневого сплава АК12М2МгН (АЛ25) температурный коэффициент линейного расширения определяли с помощью оптического кварцевого dilatометра Шевенара на образцах Ø 3,5 мм длиной 50 мм. Сопровождение высокотемпературному разрушению определяли по ГОСТ 10145-81, как время до разрушения образца при заданном напряжении 50 МПа и температуре 300 °С. **Результаты.** Разработана и внедрена в производство технология получения сплавов из шихты, состоящей на 100 % из лома и отходов производства, которая обеспечивает получение металла гарантированного химического состава и высокого качества при снижении энергозатрат на плавку. **Научная новизна.** Установлены закономерности формирования структурно-фазового состояния и уровня физико-механических свойств вторичных доэвтектических и эвтектических силуминов в зависимости от процессов рафинирования и модифицирования. Проведено обобщение закономерностей разрушения вторичных силуминов и получены количественные характеристики роли интерметаллидных фаз в механизмах разрушения и формировании уровня механических свойств алюминиевых сплавов. **Практическая значимость.** Изучены процессы структурообразования вторичных алюминиевых сплавов в зависимости от технологии их получения. Разработаны высокоэффективные рафинирующе-модифицирующие комплексы для обработки вторичных доэвтектических и эвтектических алюминиевых сплавов и определено оптимальное количество модификаторов в зависимости от качества шихты.

**Ключевые слова:** силумины; интерметаллидные фазы; структура; параметр формы; механические свойства; рафинирующе-модифицирующая обработка

## Введение

Известно, что модифицированием называется процесс воздействия на кристаллизацию и структуру сплава путем введения специальных добавок – модификаторов. П. А. Ребиндер все модифицирующие добавки по физико-химической природе их воздействия на процесс образования кристаллических зародышей разделил на модификаторы I и II рода. Модификаторы I рода образуют в расплаве высокодисперсные твердые частички, которые формируют центры кристаллизации. Модификаторы II рода – растворимые вещества, избирательно адсорбирующиеся на гранях кристаллического зародыша, изменяющие межфазное поверхностное натяжение и характер роста кристаллов [2].

При производстве и литье алюминиевых сплавов широко применяется модифицирование. Модифицирующие добавки вводят в виде лигатуры в шихту или непосредственно в расплав. К числу модификаторов I рода алюминиевых сплавов следует отнести титан и ванадий, образующие тугоплавкие интерметаллиды  $TiAl_3$  и  $VAI_6$ , а также ультрадисперсные частицы оксидов, карбидов, боридов и других неметаллических включений. Модификаторами II рода являются поверхностно-активные вещества, положительно влияющие на структуру алюминиевых сплавов, большинство из которых являются элементами I группы (Li, Na, K, Rb, Cs), а также сера и фосфор. В то же время многочисленными проведенными исследованиями показана высокая эффективность комплексных модификаторов. В связи с этим работа посвящена изучению комплексного модифицирования доэвтектических и эвтектических вторичных силуминов.

## Цель

Основная цель работы заключалась в разработке научно-технологических основ структурообразования вторичных силуминов для повышения показателей их механических и служебных свойств в литом и термообработанном состояниях до уровня первичных сплавов.

## Методика

В работе исследовались доэвтектические АК8МЗ и эвтектические АК12М2МгН (АЛ25) сплавы, химический состав которых соответствовал требованиям ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93).

Контроль химического состава проводился непрерывно на всех стадиях технологического процесса получения алюминиевых сплавов. Определение химического состава осуществляли спектральным анализом на искровом спектрометре «СПЕКТРОЛАБ» (Германия) по 22 химическим элементам с точностью  $\pm 0,0001$  масс. %. Металлографический анализ структуры выполняли на микроскопах МИМ-7 и МИМ-8 при увеличении 100...400 раз, а также методом металлографии высокого разрешения на растровом электронном микроскопе «JSMT-300» (Япония) при ускоряющем напряжении 20...25 кВ и диаметре электронного зонда до  $1 \cdot 10^{-9}$  м. Микроструктура сплавов изучалась на шлифах без травления, а также после травления реактивом состава: 12,5 мл HF, 25 мл  $HNO_3$ , 50 мл HCl, 12,5 мл  $H_2O$ .

Прочность и пластичность сплавов определяли на образцах диаметром 10 мм и рабочей длиной 50 мм, изготовленных в соответствии с ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93). Метод отбора образцов и порядок проведения испытаний на твердость регламентировался требованиями ГОСТ 9013-69. Термообработку алюминиевых сплавов проводили по режимам T1 и T5 в соответствии с ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93).

Для поршневого сплава АК12М2МгН (АЛ25) температурный коэффициент линейного расширения определяли с помощью оптического кварцевого dilatометра Шевенара на образцах  $\varnothing 3,5$  мм длиной 50 мм. Сопротивление высокотемпературному разрушению определяли по ГОСТ 10145-81, как время до разрушения образца при заданном напряжении 50 МПа и температуре 300°C.

## Результаты

Основным ограничительным фактором широкого использования вторичных сплавов является их более низкое качество в сравнении с первичными. Процесс переработки отходов производства и содержащего алюминий лома позволяет сберечь огромное количество энергии и первичного сырья. Так, при получении 1 т вторичного алюминия сохраняется 4 т бокситов, 700 кг кокса и снижаются вредные выбросы (в том числе CO) на 35 кг [5]. По данным [1], в результате использования 1 тонны высококачественных вторичных алюминиевых сплавов при изготовлении отливок взамен первич-

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

ного алюминия, в народном хозяйстве экономится в зависимости от марки сплава и области его применения от 230 до 490 кг первичного алюминия, от 24 до 197 кг кристаллического кремния, от 1,1 до 4,6 т бокситов, от 0,4 до 1,8 т глинозема, а также от 4 до 16 тысяч кВт·ч электроэнергии и от 40 до 340 кг условного топлива. Количество отходящих газов при этом сокращается более чем на 15 тысяч м<sup>3</sup> в расчете на каждую тонну вторичного силумина.

Проблема повышения качества алюминиевых сплавов актуальна для всех развитых стран [9, 17–18, 20–21].

Авторами с целью улучшения структуры, повышения механических и служебных свойств, снижения пористости, на основании лаборатор-

ных и опытно-промышленных исследований в качестве базового для доэвтектических силуминов был предложен модификатор [12], содержащий элементы, выполняющие роль модификаторов I и II рода. В состав модификатора вошли сера, карбонат натрия, ультрадисперсный карбид кремния и электролитический титан. Соотношение компонентов и описание влияния каждого из них на расплав подробно изложены в работах [3, 4, 10, 12, 16, 19].

Промышленные плавки показали, что обработка расплавов модификатором [12] сопровождалась активным барботажем жидкого металла, образованием на поверхности сухого легко удаляемого шлака.


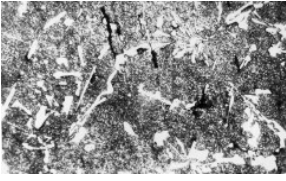

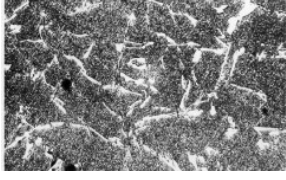

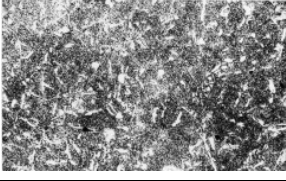
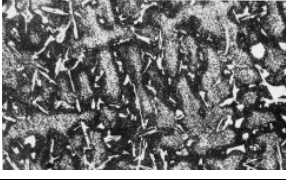
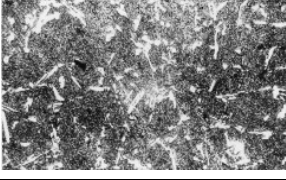

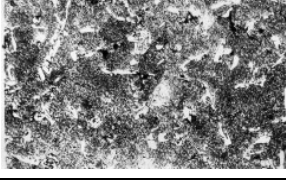
Количество модификатора [12], масс. %	Состояние сплава	
	Литое	После термообработки T5
0		
0,025		
0,05		
0,075		
0,1		

Рис. 1. Структура вторичного сплава АК8МЗ (× 200)

Fig. 1. Structure of the secondary alloy AK8M3 (× 200)

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Длительность процесса обработки зависела от объемов жидкого металла и составляла 7...12 минут. В ходе обработки отмечено активное изменение структуры, которое сопровождалось уменьшением размеров полей выделений  $\alpha$ -твердого раствора кремния в алюминии и дроблением комплексных интерметаллидных фаз, снижением их среднего параметра формы  $\lambda_{\text{ср}}$  (отношение максимальной длины включений к их ширине) при одновременном повышении равномерности распределения (рис. 1).

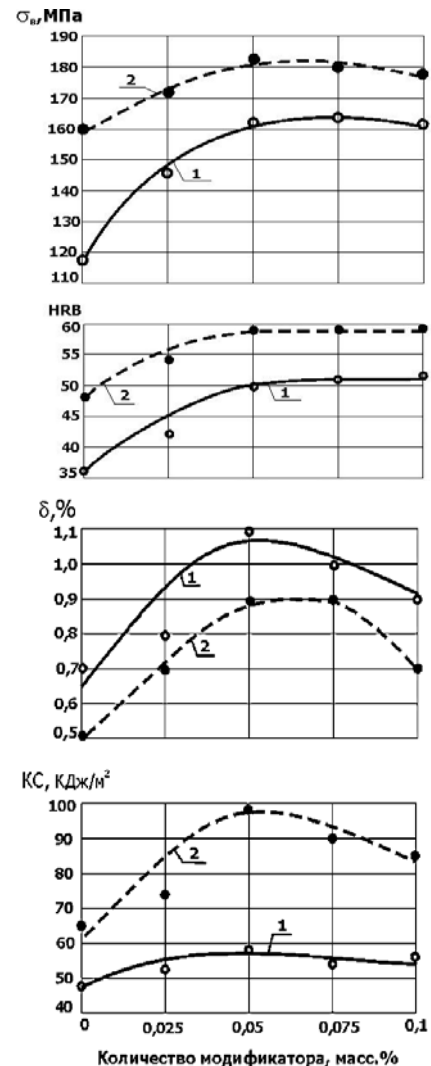
На примере вторичного сплава АК8МЗ установлены зависимости влияния количества модификатора [12] на свойства и параметр формы включений в литом состоянии и после термической обработки по режиму T5 (рис. 2). Полученные данные позволили оптимизировать количество модификатора [12] на уровне 0,05...0,075 % от массы жидкого металла. Также результаты работы наглядно продемонстрировали важную роль параметра формы включений  $\lambda$  в обеспечении заданного уровня свойств вторичных силуминов (рис. 3). Результаты исследований взятого за основу модифицирующего комплекса [12] позволили в дальнейшем разработать целый ряд высокоэффективных рафинирующе-модифицирующих комплексов для обработки алюминиевых сплавов, полученных из низкосортного сырья [3, 11, 13, 14, 15, 16].

Малая плотность алюминиевых сплавов, высокие технологичность, пластичность и усталостная прочность; до 30 % меньший, по сравнению с чугуном, коэффициент передачи от газа, а также высокая теплопроводность на уровне 125...146 Вт/м·К сделали их основными поршневыми материалами современности [7].

В настоящее время наиболее широкое применение для изготовления поршней как у нас, так и за рубежом получили литейные сплавы системы алюминий-кремний эвтектического и заэвтектического состава.

Эвтектические поршневые сплавы имеют высокую жидкотекучесть и в 2 раза более низкую склонность к образованию горячих трещин, чем доэвтектические алюминиевые сплавы. За счет их меньшего температурного коэффициента линейного расширения возможно снижение максимального зазора между гильзой цилиндра и поршнем на 25 %, что обеспечивает снижение вибраций и практически полностью устраняет кавитационное разрушение гильз.

a – a



b – b

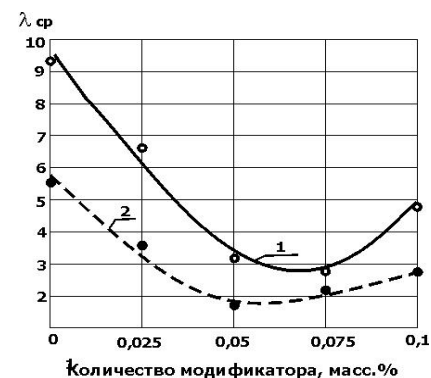


Рис. 2. Влияние модификатора на механические свойства (a) и параметр формы включений  $\lambda$  (b) вторичного сплава АК8МЗ:

1 – литое состояние, 2 – после термообработки T5

Fig. 2. Modifier's influence on the mechanical properties (a) and shape parameter  $\lambda$  (b) of the secondary alloy АК8МЗ:

1 – cast state, 2 – after heat treatment T5

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

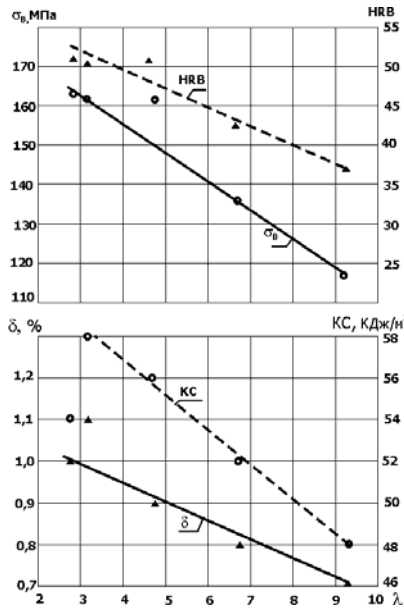
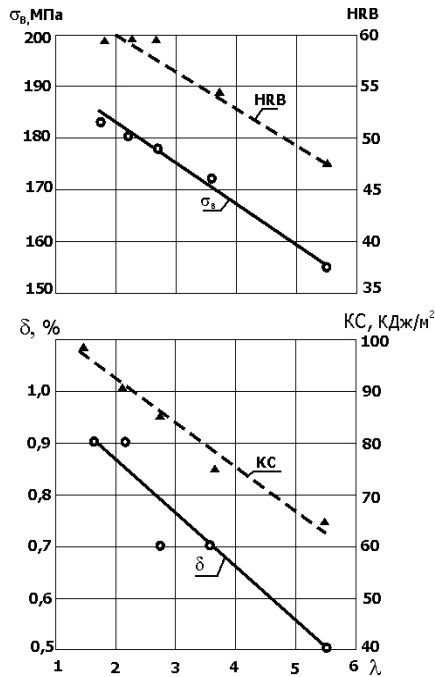
*a – a**b – b*

Рис. 3. Влияние параметра формы включений  $\lambda$  на механические свойства вторичного сплава АК8МЗ: *a* – литое состояние, *b* – после термообработки Т5

Fig. 3. Shape parameter's  $\lambda$  influence on the mechanical properties of the secondary alloy АК8МЗ: *a* – cast state, *b* – after heat treatment Т5

Малая плотность эвтектических сплавов позволяет уменьшить массу поршня и уровень инерционных нагрузок на кривошипно-шатунный механизм на 6...8% [8].

Подходы, разработанные авторами в отношении доэвтектических силуминов, были пере-

несены на эвтектический вторичный поршневой сплав АЛ25 (АК12М2МгН). Целью работы было получение стабильной структуры и повышение показателей длительной прочности при высоких температурах, а также снижение температурного коэффициента линейного расширения. Для достижения поставленной цели был разработан модифицирующий комплекс [14]. Использование данного комплекса обеспечило измельчение макроструктуры поршней (рис. 4), а также получение заданной микроструктуры каркасного типа, которая надежно блокировала границы измельченных зерен  $\alpha$ -твердого раствора кремния в алюминии, тем самым эффективно препятствуя диффузионным процессам и движению дислокаций (рис. 5).

Механические свойства вторичных сплавов, обработанных модифицирующим комплексом [14] соответствовали требованиям ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93).

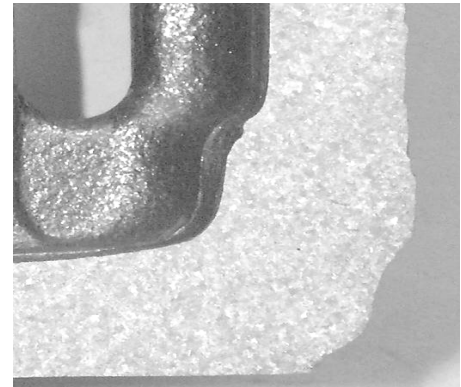
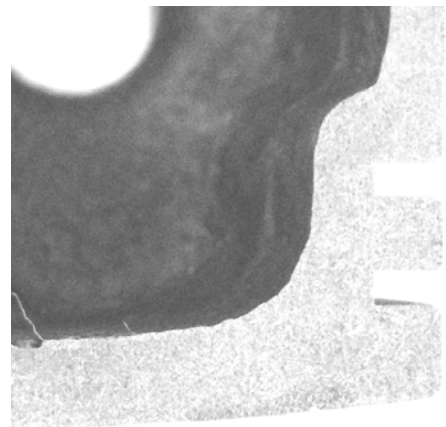
*a – a**b – b*

Рис. 4. Макроструктура поршней ( $\times 5$ ): *a* – серийная технология изготовления; *b* – экспериментальная

Fig. 4. Macrostructure of pistons ( $\times 5$ ): *a* – serial technology of production; *b* – experimental

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

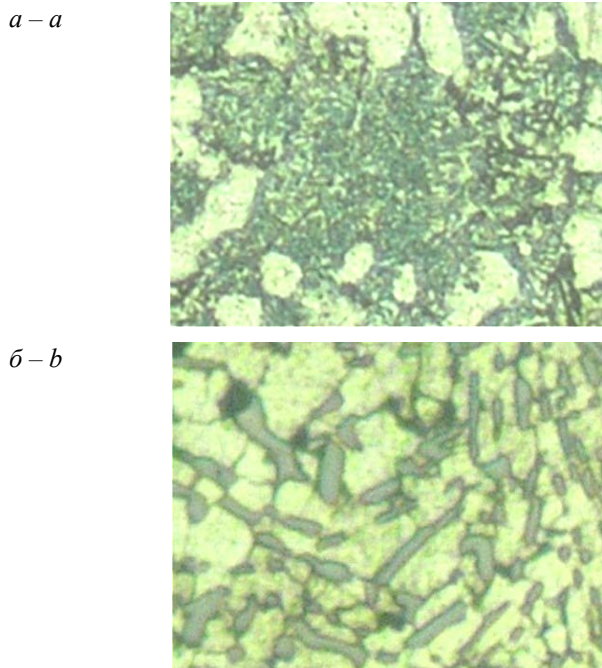


Рис. 5. Микроструктура сплава АЛ25 ( $\times 950$ ):  
*a* – серийная технология изготовления;  
*б* – экспериментальная

Fig. 5. Microstructure of the alloy AL25 ( $\times 950$ ):  
*a* – serial technology of production; *b* – experimental

Важнейшим эксплуатационным свойством, определяющим ресурс работы изделий из поршневых сплавов, является жаропрочность. Одним из основных показателей жаропрочности является длительная прочность, испытания по определению которой регламентируются ГОСТ 10145-81 [6] посредством определения времени до разрушения образцов при температуре испытаний  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  и заданном напряжении  $50\text{ МПа}$ . Сравнение результатов показало, что по характеристикам длительной прочности сплавы, обработанные модифицирующим комплексом [14], в 2,4 раза превосходили показатель сплавов, полученных по традиционной технологии. Установлено, что оптимальным количеством модифицирующего комплекса [14] является присадка  $0,15\dots 0,20$  масс. %, которая в диапазоне рабочих температур обеспечивала снижение температурного коэффициента линейного расширения на  $5,60\dots 5,75\%$ .

#### Научная новизна и практическая значимость

Установлены закономерности формирования структурно-фазового состояния и уровня физи-

ко-механических свойств вторичных доэвтектических и эвтектических силуминов в зависимости от процессов рафинирования и модифицирования. Проведено обобщение закономерностей разрушения вторичных силуминов и получены количественные характеристики роли интерметаллидных фаз в механизмах разрушения и формировании уровня механических свойств алюминиевых сплавов.

Анализ процессов структурообразования и формирования уровня физико-механических свойств доэвтектических и эвтектических вторичных силуминов способствовал разработке комплексных рафинирующе-модифицирующих комплексов, а также технологии их использования, обеспечивающей повышение свойств вторичных сплавов до уровня первичных. Проведенная работа позволила определить оптимальное количество рафинирующе-модифицирующих комплексов в зависимости от качества шихты. Высокая эффективность предложенных технологических решений доказана промышленным внедрением.

#### Выводы

Показано, что повышение качества силуминов, полученных из  $100\%$  вторичного сырья, до уровня первичных, возможно за счет использования экспериментальных рафинирующе-модифицирующих комплексов. Разработанные комплексы имеют малую стоимость, не усложняют технологию получения сплавов, уменьшают количество вредных выбросов в окружающую среду и улучшают санитарно-гигиенические нормы в литейных цехах, сокращают потребность в универсальных рафинирующе-модифицирующих препаратах в  $10\dots 15$  раз.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алексахин А. В. Эффективность использования вторичных алюминиевых сплавов в литейном производстве / А. В. Алексахин, Н. В. Хмельницкая, Е. К. Сиваева // Экономические проблемы литейного производства России : тез. докл. Всерос. конф. – Пенза, 1991. – С. 52–54.
2. Воздвиженский, В. М. Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении / В. М. Воздвиженский, В. А. Грачев, В. В. Спасский. – Москва : Машиностроение, 1984. – 432 с.

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

3. Волчок, И. П. Повышение качества рециркулируемых алюминиевых сплавов / И. П. Волчок, А. А. Митяев // Вісн. двигунобудування. – 2004. – № 3. – С. 103–107.
4. Волчок, І. П. Рафінуюче-модифікуючий комплекс для обробки алюмінієвих сплавів / І. П. Волчок, О. А. Мітяєв, С. Г. Рязанов // Неметалеві вкраплення і газу у ливарних сплавах : зб. наук. пр. X Міжнар. науково-техн. конф. (12.05-16.05.2003) / ЗНТУ. – Запоріжжя : 2003. – С. 220.
5. Гавриленко, Б. Б. Економіко-правові важелі раціонального природокористування / Б. Б. Гавриленко. – Запоріжжя : Поліграф, 2004. – 144 с.
6. ГОСТ 10145-81. Металлы. Метод испытания на длительную прочность. – Введ. 1982-07-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1981. – 12 с.
7. Зильберг, Ю. Я. Алюминиевые сплавы в тракторостроении / Ю. Я. Зильберг, К. М. Хрущова, Г. Б. Гершман. – Москва : Машиностроение, 1971. – 151 с.
8. Лоза, К. Н. Влияние модифицирования и термической обработки на формирование структуры и свойств вторичного поршневого сплава АЛ25 : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.01 / Лоза Константин Николаевич ; Запорожский национальный технический университет. – Запорожье, 2012. – 140 с. – Библиогр.: с. 108–122.
9. Лютова, О. В. Повышение литейных свойств вторичных алюминиевых сплавов / О. В. Лютова // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 3 (45). – С. 53–59.
10. Митяев, А. А. Комплексная рафинирующе-модифицирующая обработка алюминиевых сплавов / А. А. Митяев // Стр-во, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. – Днепропетровск, 2008. – Вып. 45 (ч. 2). – С. 138–142.
11. Митяев, А. А. Повышение качества переплава загрязненной алюминиевой стружки / А. А. Митяев // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вып. 22. – С. 175–180.
12. Пат. 57584А Україна, МКВ С22С 1/06. Модифікатор для алюмінієвих сплавів / Волчок І. П., Мітяєв О. А. (Україна) ; заявник та патентовласник Запорізький Запорізький нац. техн. ун-т. – № 2002108343 ; заявл. 22.10.2002 ; опубл. 16.06.2003, Бюл. № 6. – 4 с.
13. Пат. 42653 Україна, МПК (2009) С22С 1/100. Модифікатор алюмінієвих сплавів / Волчок І. П., Мітяєв О. А., Островська А. Є., Скуйбіда О. Л. (Україна) ; заявник та патентовласник Запорізький Запорізький нац. техн. ун-т. – № u200902454 ; заявл. 19.03.2009 ; опубл. 10.07.2009, Бюл. № 13. – 4 с.
14. Пат. 46094 Україна, МПК (2009) С22С 1/00. Модифікувальний комплекс для алюмінієвих сплавів / Лоза К. М., Мітяєв О. А., Волчок І. П. (Україна) ; заявник та патентовласник Запорізький Запорізький нац. техн. ун-т. – № u200905914 ; заявл. 09.06.2009 ; опубл. 10.12.2009, Бюл. № 23. – 4 с.
15. Пат. 69720 Україна, МПК С22С 1/06 (2006.1). Рафінувально-модифікувальний комплекс для алюмінієвих сплавів / Широкобокова Н. В., Мітяєв О. А., Волчок І. П., Кюрчев С. В., Колодій О. С. (Україна) ; заявник та патентовласник Запорізький нац. техн. ун-т. – № u201112705 ; заявл. 31.10.2011 ; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9. – 4 с.
16. Belikov, S. The nanomodifier of aluminium alloys / S. Belikov, I. Volchok, O. Mityayev // AFES. Davos Forum. – Davos, Switzerland, 2006. – P. 191–193.
17. Electric pulse treatment of welded joint of aluminum alloy / I. A. Vakulenko, Y. L. Nadezhdin, V. A. Sokirko, I. P. [et. al.] // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. – 2013. – № 4 (46). – С. 73–82.
18. Kontrola produkcji wysokojakosciowych stopow odlewniczych metoda ATD / S. Pietrowski, G. Gumieny, B. Pisarek, R. Wladysiak // Archiwum technologii maszyn i automatyzacji. – Poznan, 2004. – Vol. 24, № 3. – P. 131–144.
19. Lipinski, T. Improvement of mechanical properties of AlSi<sub>7</sub>Mg alloy with fast cooling homogeneous modifier / T. Lipinski // Archives of foundry engineering. – Katowice ; Gliwice, 2008. – Vol. 8. – Iss. 1 – P. 85–88.
20. Mityayev, A. Improvement of quality of secondary aluminium alloys in conditions of mass production / A. Mityayev, S. Belikov // Archives of metallurgy and materials. – Warszawa : Krakow, 2007. – Vol. 52, № 3. – P. 521–524.
21. The structure and properties of sheets made from aluminium and aluminium alloys for use in transport industry / A. Klyszewski, M. Lech-Grega, W. Szymanski, J. Zelechowski // Aluminium in transport : proc. of IX Intern. Conf. (22.10-25.10.2003) / Institute of Non-ferrous metals. – Cracow ; Tomaszowice, 2003. – P. 203–217.

О. А. МІТЯЄВ<sup>1\*</sup>, І. П. ВОЛЧОК<sup>2</sup>, Р. О. ФРОЛОВ<sup>3</sup>, К. М. ЛОЗА<sup>4</sup>, О. В. ГНАТЕНКО<sup>5</sup>,  
В. В. ЛУКІНОВ<sup>6</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Технологія металів», Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, Україна, 69063, тел. +38 (061) 769 82 71, ел. пошта tmzntu@gmail.com, ORCID 0000-0001-9034-1359

<sup>2</sup>Каф. «Технологія металів», Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, Україна, 69063, тел. +38 (061) 769 83 51, ел. пошта tmzntu@gmail.com, ORCID 0000-0003-1580-0556

<sup>3</sup>Каф. «Деталі машин і підйомно-транспортні механізми», Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, Україна, 69063, тел. +38 (061) 769 82 73, ел. пошта tmzntu@gmail.com, ORCID 0000-0001-9967-0220

<sup>4</sup>АТ «Мотор Січ», вул. Моторобудівників, 15, Запоріжжя, Україна, 69068, тел. +38 (061) 720 48 83, ел. пошта tmzntu@gmail.com, ORCID 0000-0002-2713-5744

<sup>5</sup>АТ «Мотор Січ», вул. Моторобудівників, 15, Запоріжжя, Україна, 69068, тел. +38 (061) 720 48 83

<sup>6</sup>АТ «Мотор Січ», вул. Моторобудівників, 15, Запоріжжя, Україна, 69068, тел. +38 (061) 720 48 83

## КОМПЛЕКСНЕ МОДИФІКУВАННЯ ВТОРИННИХ СИЛУМІНІВ

**Мета.** В роботі необхідно розробити науково-технологічні основи формування заданої структури вторинних доєвтектичних (АК8М3) та евтектичних (АК12М2МгН) силумінів та підвищення показників їх механічних і службових властивостей у литому стані та після термообробки до рівня первинних сплавів.

**Методика.** Визначення хімічного складу проводили спектральним аналізом на іскровому спектрометрі «SPECTROLAB» (Німеччина). Металографічний аналіз виконували на мікроскопах МІМ-7 та МІМ-8, а також методом металографії високої роздільної здатності на растровому електронному мікроскопі «JSMТ-300» (Японія). Термообробку алюмінієвих сплавів проводили за режимами Т1 і Т5 згідно ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93). При визначенні механічних властивостей використовували стандартні методики. Для поршневого сплаву АК12М2МгН (АЛ25) температурний коефіцієнт лінійного розширення визначали за допомогою оптичного кварцового дилатометра Шевенара на зразках Ø 3,5 мм довжиною 50 мм. Опір високотемпературному руйнуванню визначали згідно ГОСТ 10145-81, як час до руйнування зразка при заданому напруженні 50 МПа та температурі 300°C.

**Результати.** Розроблено та впроваджено у виробництво технологію отримання сплавів із шихти, що складається на 100 % з лому та відходів виробництва, яка забезпечує отримання металу гарантованого хімічного складу та високої якості при зниженні енерговитрат на плавку. **Наукова новизна.** Встановлено закономірності формування структурно-фазового стану та рівня фізико-механічних властивостей вторинних доєвтектичних та евтектичних силумінів в залежності від процесів рафінування та модифікування. Проведено узагальнення закономірностей руйнування вторинних силумінів та отримано кількісні характеристики ролі інтерметалідних фаз у механізмах руйнування та формуванні рівня механічних властивостей алюмінієвих сплавів. **Практична значимість.** Вивчено процеси структуроутворення вторинних алюмінієвих сплавів в залежності від технології їх отримання. Розроблено високоефективні рафінувально-модифікувальні комплекси для обробки вторинних доєвтектичних та евтектичних алюмінієвих сплавів та визначено оптимальну кількість модифікаторів в залежності від якості шихти.

**Ключові слова:** силуміни; інтерметалідні фази; структура; параметр форми; механічні властивості; рафінувально-модифікувальна обробка

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

A. A. MITYAYEV<sup>1\*</sup>, I. P. VOLCHOK<sup>2</sup>, R. A. FROLOV<sup>3</sup>, K. N. LOZA<sup>4</sup>, O. V. HNATENKO<sup>5</sup>, V. V. LUKINOV<sup>6</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Metal Technology», Zaporizhzhia National Technical University, Zhukovskiy St., 64, Zaporizhzhia, Ukraine, 69063, tel. +38 (061) 769 82 71, e-mail tmzntu@gmail.com, ORCID 0000-0001-9034-1359

<sup>2</sup>Dep. «Metal Technology», Zaporizhzhia National Technical University, Zhukovskiy St., 64, Zaporizhzhia, Ukraine, 69063, tel. +38 (061) 769 83 51, e-mail tmzntu@gmail.com, ORCID 0000-0003-1580-0556

<sup>3</sup>Dep. «Machine Parts and Lifting and Transport Mechanisms», Zaporizhzhia National Technical University, Zhukovskiy St., 64, Zaporizhzhia, Ukraine, 69063, tel. +38 (061) 769 82 73, e-mail tmzntu@gmail.com, ORCID 0000-0001-9967-0220

<sup>4</sup>JSC «Motor Sich», Motorostroiteley St., 15, Zaporizhzhia, Ukraine, 69068, tel. +38 (061) 720 48 83, e-mail tmzntu@gmail.com, ORCID 0000-0002-2713-5744

<sup>5</sup>JSC «Motor Sich», Motorostroiteley St., 15, Zaporizhzhia, Ukraine, 69068, tel. +38 (061) 720 48 83

<sup>6</sup>JSC «Motor Sich», Motorostroiteley St., 15, Zaporizhzhia, Ukraine, 69068, tel. +38 (061) 720 48 83

## COMPLEX MODIFICATION OF SECONDARY SILUMINS

**Purpose.** Development of scientific and technological bases of formation of the specified secondary hypoeutectic (AK8M3) and eutectic (AK12M2MgH) silumins' structure; and increasing their mechanical and service properties' indices in the cast state and after heat treatment up to the level of primary alloys. **Methodology.** Determination of the chemical composition was conducted by spectral analysis on the spark spectrometer «SPECTROLAB» (Germany). Metallographic analysis was performed on the microscopes MIM-7 and MIM-8, and also by the high definition metallography method using the raster electronic microscope «JSMT-300» (Japan). Heat treatment of aluminum alloys was carried out applying T1 and T5 modes according to State Standard of Ukraine 2839-94 (GOST 1583-93). Standard techniques were used during the determination of mechanical properties. The temperature coefficient of linear expansion for the piston alloy AK12M2MgH (AL25) was determined using the specimens Ø with the diameter of 3.5 mm and length of 50 mm with the use of Shevenard optical quartz dilatometer. High temperature fracture resistance was determined according to State Standard 10145-81 as the time before fracture of the specimen at specified stress of 50 MPa and temperature of 300°C. **Findings.** The technology of obtaining alloys from charge, which consists of 100 % scrap and production wastes has been developed and implemented into production. This technology provides obtaining of metal of the guaranteed chemical composition and high quality with the reduction of energy costs for melting. **Originality.** The regularities of the formation of the structural and phase state and the level of physical and mechanical properties of eutectic and secondary hypoeutectic silumins depending on the refining and modifying processes have been established. The generalization of regularities of the secondary silumins' fracture has been carried out. Quantitative characteristics of the intermetallic phases' role in the fracture mechanisms and aluminum alloys' mechanical properties level formation have been obtained. **Practical value.** Structure formation processes of secondary aluminium alloys depending on their production technology have been studied. Highly efficient refining and modifying complexes for treatment of secondary hypoeutectic and eutectic aluminum alloys have been developed and the optimal quantity of modifiers depending on the charge quality has been determined.

**Keywords:** silumins; intermetallic phases; structure; shape parameter; mechanical properties; refining and modifying treatment

## REFERENCES

1. Aleksakhin A.V., Khmel'nitskaya N.V., Sivayeva Ye.K. Effektivnost ispolzovaniya vtorichnykh alyuminiyevykh splavov v liteynom proizvodstve [Efficiency of using the secondary aluminium alloys in foundry production]. *Tezisy dokladov Vserossiyskoy konferentsii «Ekonomicheskiye problemy liteynogo proizvodstva Rossii»* [Proc. of the All-Russian Conf. "Economic problems of foundry production in Russia"]. Penza, 1991, pp. 52-54.
2. Vozdvizhenskiy V.M., Grachev V.A., Spasskiy V.V. *Liteynyye splavy i tekhnologiya ikh plavki v mashinostroyenii* [Foundry alloys and technology of their melting in mechanical engineering]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1984. 432 p.
3. Volchok I.P., Mityayev A.A. Povysheniye kachestva retsirkuliruyemykh alyuminiyevykh splavov [Increasing of the quality of the recycled aluminium alloys]. *Visnyk dvyhunobuduvannia* [Bulletin of aeroenginebuilding], 2004, issue 3, pp. 103-107.
4. Volchok I.P., Mitiaiev O.A., Riazanov S.H. Rafinuiuche-modyfikuiuchy kompleks dlia obrobky alyuminiyevykh splaviv [Refining and modifying complex for treatment of aluminium alloys]. *Zbirnyk naukovykh prats X Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii Zaporizhzhia «Nemetalevi vkraplennia*

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

- i hazy u lyvarnykh splavakh»* [Proc. of the 10<sup>th</sup> Int. Scientific and Technical Conf. of Zaporizhzhia «Non-metallic inclusions and gases in foundry alloys»]. Zaporizhzhia, 2003, p. 220.
5. Havrylenko B.B. *Ekonomiko-pravovi vazheli ratsionalnoho pryrodokorystuvannya* [Economical and law instruments of rational use of nature]. Zaporizhzhya, Polihraf Publ., 2004. 144 p.
  6. *GOST 10145-81. Metally. Metod ispytaniya na dlitelnyuyu prochnost.* [State Standard 10145-81. Metals. The method of testing of long-term strength]. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 1981. 12 p.
  7. Zilberg Yu.Ya., Khrushchova K.M., Gershman G.B. *Alyuminiyevyye splavy v traktorostroyenii* [Aluminium alloys in tractor building]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1971. 151 p.
  8. Loza K.N. *Vliyaniye modifitsirovaniya i termicheskoy obrabotki na formirovaniye struktury i svoystv vtorichnogo porshneвого splava AL25.* Kand, Diss. [Influence of modification and heat treatment on the formation of structure and properties of the secondary piston alloy AL25. Cand. Diss.]. Zaporozhe, 2012. 140 p.
  9. Lyutova O.V. *Povysheniye litynykh svoystv vtorichnykh alyuminiyevykh splavov* [Increasing of foundry properties of secondary aluminium alloys]. *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. 53-59.
  10. Mityayev A.A. *Kompleksnaya rafiniruyushche-modifitsiruyushchaya obrabotka alyuminiyevykh splavov* [Complex refining and modifying treatment of aluminium alloys]. *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroyeniye* [Construction, material science, machine building], issue 45, part 2, pp. 138-142.
  11. Mityayev A.A. *Povysheniye kachestva pereplava zagryaznennoy alyuminiyevoy struzhki* [Increasing of the remelting quality of the contaminated aluminium chip]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 22, pp. 175-180.
  12. Volchok I.P., Mitiaiev O.A. *Modyfikator dlia alyuminiyevykh splaviv* [Modifier for aluminium alloys]. Patent UA, no. 2002108343, 2003.
  13. Volchok I.P., Mitiaiev O.A., Ostrovska A.Ye., Skuibida O.L. *Modyfikator alyuminiyevykh splaviv* [Modifier of aluminium alloys]. Patent UA, no. u200902454, 2009.
  14. Loza K.M., Mitiaiev O.A., Volchok I.P. *Modyfikovalnyi kompleks dlia alyuminiyevykh splaviv* [Modifying complex for aluminium alloys]. Patent UA, no. u200905914, 2009.
  15. Shyrokobokova N.V., Mitiaiev O.A., Volchok I.P., Kiurchev S.V., Kolodii O.S. *Rafinivalno-modyfikovalnyi kompleks dlia alyuminiyevykh splaviv* [Refining and modifying complex for aluminium alloys]. Patent UA, no. u201112705, 2012.
  16. Belikov S., Volchok I., Mityayev O. *The nanomodifier of aluminium alloys. Aims for future of engineering science.* AFES 2006. Davos. Switzerland, 2006, pp. 191-193.
  17. Vakulenko I.A., Nadezhdin Yu.L., Sokirko V.A., Volchok I.P., Mityayev A.A. *Electric pulse treatment of welded joint of aluminum alloy.* *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. 73-82.
  18. Pietrowski S., Gumienny G., Pisarek B., Wladysiak R. *Kontrola produkcji wysokojakosciowych stopow odlewnicznych metoda ATD* [Production control of advanced casting alloys with TDA method]. *Archiwum technologii maszyn i automatyzacji*, 2004, vol. 24, issue 3, pp. 131-144.
  19. Lipinski T. *Improvement of mechanical properties of AlSi<sub>7</sub>Mg alloy with fast cooling homogeneous modifier.* *Archives of foundry engineering.* Katowice-Gliwice, 2008, vol. 8, issue 1, pp. 85-88.
  20. Mityayev A., Belikov S. *Improvement of quality of secondary aluminium alloys in conditions of mass production.* *Archives of metallurgy and materials.* Warszawa-Krakow, 2007, vol. 52, no. 3, pp. 521-524.
  21. Klyszewski A., Lech-Grega M., Szymanski W., Zelechowski J. *The structure and properties of sheets made from aluminium and aluminium alloys for use in transport industry.* Proc. of 9<sup>th</sup> Int. Conf. «Aluminium in transport 2003». Cracow-Tomaszowice, 2003, pp. 203-217.

*Статья рекомендована к публикации д.т.н., доц. А. В. Овчинниковым (Украина); д.т.н., проф. И. А. Вакуленко (Украина)*

Поступила в редколлегию: 20.08.2014

Принята к печати: 23.10.2014

## УДК 669.13:621.91

В. В. НЕТРЕБКО<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Оборудование и технология сварочного производства», Запорожский национальный технический университет, ул. Жуковского, 64, Запорожье, Украина, 69063, тел. +38 (061) 270 95 20, эл. почта olgavvn@mail.ru, ORCID 0000-0003-3283-0116

## ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗАНИЕМ

**Цель.** В работе проведен анализ изменений структуры и свойств высокохромистых чугунов под действием физических и тепловых факторов при механической обработке резанием. **Методика.** Разработана и применена методика оценки силового и теплового воздействия резца на обрабатываемый материал. Литые образцы предварительно обтачивались до диаметра 25 мм. На торцевой поверхности образца длиной 50 мм изготавливали микрошлиф. Для точения использовали стандартные пластины 10×10 мм из ВК8 по ГОСТ 19051-80. **Результаты.** Силовое воздействие на образцы из высокохромистого чугуна при обработке резанием вызывало образование наклепа. Воздействие температуры на структуру и свойства высокохромистого чугуна при обработке резанием вызывало повышение пластических свойств металлической основы в зоне резания, дробление карбидной фазы и устраняло наклеп. При точении с глубиной резания 0,8 мм происходило только силовое воздействие резца на образец. В поверхностном слое карбидные включения практически не претерпевали изменений, при этом металлическая основа наклепывалась до 1 100 HV<sub>50</sub>. По мере удаления от поверхности точения микротвердость металлической основы понижалась и составила 500...520 HV<sub>50</sub> на расстоянии 1,2 мм от поверхности точения. На глубине более 3 мм наклеп не наблюдался. Увеличение глубины резания до 1,5 мм вызывало одновременное воздействие как силового, так и теплового факторов. Воздействие температуры проявилось в повышении пластичности металлической основы в поверхностных слоях образца. Наклеп нагретых поверхностных слоев не происходил. По мере удаления от поверхности резания влияние температурного фактора уменьшалось, а силового сохранялось. Пластичность основы понижалась, что вызывало появление наклепа. Металлическая основа наклепывалась до 490...520 HV<sub>50</sub>. Общий нагрев образца уменьшил глубину наклепа до 0,4 мм. **Научная новизна.** Разработана методика оценки изменений структуры и свойств высокохромистого чугуна под действием физических и тепловых факторов при механической обработке резанием. **Практическая значимость.** Использование данной методики позволит разрабатывать рекомендации по выбору режимов и условий обработки чугуна резанием.

*Ключевые слова:* высокохромистый чугун; структура; свойства; резание; наклеп

### Введение

Обработка резанием деталей из белых высокохромистых чугунов затруднена из-за их высокой твердости. Трудности, связанные с механической обработкой этих материалов, вынуждают ограничивать их применение или изменять химический состав, что приводит к снижению эксплуатационной стойкости [3, 15].

Экономное легирование чугунов [2, 5, 11, 13, 14] создает метастабильные структуры, обладающие повышенной износостойкостью. Воздействие физических и тепловых факторов в процессе механической обработки резанием может вызывать изменения структуры и свойств этих

чугунов, ухудшающие обрабатываемость. Применение смягчающих видов термической обработки удорожает стоимость литья, а иногда оказывается не эффективным [9].

В процессе механической обработки обрабатываемая деталь подвергается силовому воздействию резца, а также тепловому воздействию, которое вызвано трением. При силовом воздействии резца в обрабатываемом материале возникают внутренние напряжения, протекает пластическая деформация и упрочнение (наклеп). Повышение температуры в зоне резания может вызывать изменение структуры и свойств обрабатываемого материала.

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Таким образом, в процессе резания в обрабатываемом материале возникают процессы упрочнения (в результате пластической деформации) и разупрочнения (при нагреве). Протекающие физические и тепловые процессы в обрабатываемом материале оказывают значительное влияние на обрабатываемость. Изучение изменений структуры и свойств, протекающих в белых высокохромистых чугунах при обработке резанием, позволит оптимизировать режимы резания и условия обработки (с применением СОЖ или без). Режимы резания, обеспечивающие максимальную производительность, не всегда обеспечивают минимальную себестоимость обработки [12]. Имеющиеся представления [1, 4, 6–8, 10] об изменениях структуры и свойств материалов при деформации и нагреве не позволяют объективно оценить изменения, происходящие в высокохромистых чугунах в процессе механической обработки резанием.

**Цель**

Цель работы заключалась в анализе изменений структуры и свойств высокохромистых чугунов под действием физических и тепловых факторов при механической обработке резанием.

**Методика**

Исследовали влияние физических и тепловых процессов на структуру и свойства чугуна состава, масс. %: углерод 3,33; марганец 5,86; кремний 1,10; хром 19,20; никель 2,84; сера 0,02; фосфор 0,03. Чугун выплавляли в индукционной печи с основной футеровкой. В сухие формы отливали цилиндрические образцы диаметром 30 мм и длиной 400 мм. Литые образцы предварительно обтачивались до диаметра 25 мм. На торцевой поверхности образца длиной 50 мм, после изготовления микрошлифа и обработки травителем Марбле, наносили координатные риски через 2 мм (рис. 1) и измеряли микротвердость структурных составляющих, до и после механической обработки резанием, на приборе ПМТ-3 и Duramin-1. Анализ структуры выполняли на оптическом микроскопе Sigeta MM-700 и PEM 106И. Для точения использовали стандартные резцы 10×10 мм из ВК8 по ГОСТ 19051-80. Режимы резания: глубина резания – 0,8 и 1,5 мм; продольная подача – 0,2 мм/об, частота вращения шпинделя при

точении и сверлении – 400 об/мин. СОЖ не применяли. Точение образцов осуществляли от центра к торцевой поверхности (рис. 2).

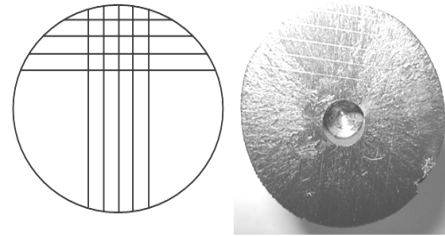


Рис. 1. Образец с насечками

Fig. 1. Specimen with notchings

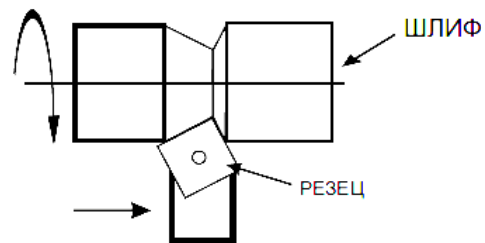


Рис. 2. Схема точения образца

Fig. 2. Specimen's turning scheme

**Результаты**

Структура высокохромистого чугуна состояла из карбидных включений эвтектического типа и аустенитной металлической основы (рис. 3, а). Микротвердость металлической основы составляла 400...430 HV<sub>50</sub>.

При точении с глубиной резания 0,8 мм происходило только силовое воздействие резца на образец (температура нагрева до 100 °С). В поверхностном слое карбидные включения практически не претерпевали изменений, при этом металлическая основа наклепывалась до 1 100 HV<sub>50</sub> (рис. 4). По мере удаления от поверхности точения микротвердость металлической основы понижалась и на расстоянии 1,2 мм составила 500...520 HV<sub>50</sub> поверхности точения. На глубине более 3мм наклеп не наблюдался.

Увеличение глубины резания до 1,5 мм вызывало одновременное воздействие как силового фактора, так и теплового. Температура нагрева заготовки достигала 500 °С. Воздействие температуры проявилось в повышении пластичности металлической основы в поверхностных слоях

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

заготовки. Пластична металічна основа деформувалась в результаті силового впливу різця, при цьому хрупкі карбидні включення дробились і перемещались разом з металічною основою (рис. 3, б, в, г).

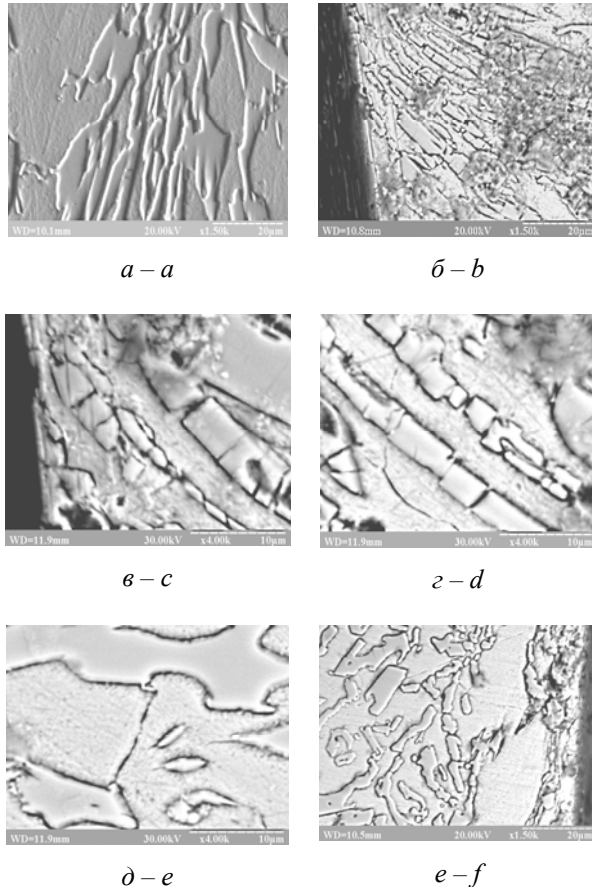


Рис. 3. Структура високохромистого чугуна, до і після різання. Увеличення: 1 500 (а, б, е), 4 000 (в, г, д):

а – вихідна структура; б – структура поверхнового шару після точення при  $t = 1,5$  мм; в – дроблення карбидів в поверхновому шарі без наклепа металічної основи; г – дроблення карбидів, наклеп металічної основи і мікротріщини; д – мікротріщини у острокутаних гранях карбидів; е – структура поверхнового шару після сверлення

Fig. 3. Structure of high-chromium cast iron before and after machining. Magnification: 1 500 (a, b, f), 4 000 (c, d, e):

а – initial structure; б – structure of the surface layer after turning at  $t = 1.5$  mm; в – fragmentation of carbides in the surface layer without strain hardening of the metallic base; г – fragmentation of carbides, strain hardening of the metallic base and microcracks; д – microcracks at the acute-angled edges of carbides; е – structure of the surface layer after turning

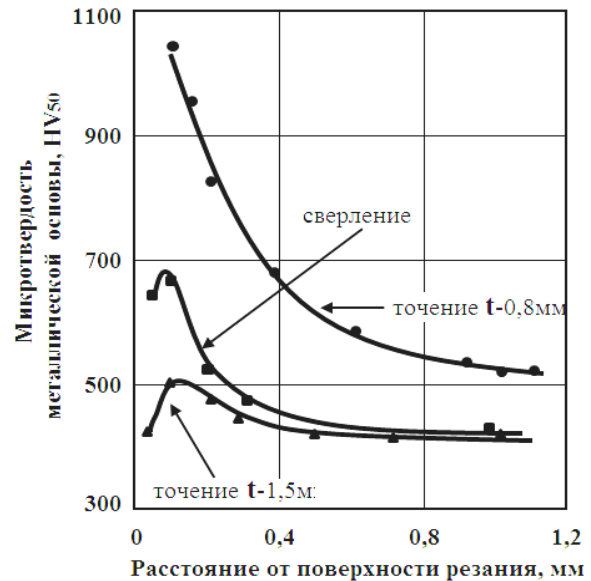


Рис. 4. Влияние различных видов механической обработки резанием на изменение микротвердости поверхностных слоев высокохромистого чугуна

Fig. 4. Influence of different mechanical machining types on the changes of the microhardness of high-chromium cast iron's surface layers

Наклеп нагрітих поверхневих шарів не відбувався. По мірі удалення від поверхні різання вплив теплового фактора зменшувався, а силового зберігалося. Пластичність основи знижувалась, що викликало появу наклепу. Протекаючі процеси деформування металічної основи викликали появу в структурі чугуна шарів ковзання і утворення мікротріщин (рис. 3, г, д). Мікротріщини спостерігалися, в основному, у острокутаних гранях карбидів (рис. 3, д). Сполучення силового і теплового впливу мало вплив на зміну микротвердості металічної основи при точенні (рис. 4). В поверхновому шарі зразка наклеп повністю відсутній. Зменшення впливу теплового фактора проявилось в підвищенні микротвердості (наклепу) металічної основи до 490...520 HV<sub>50</sub> на глибині 0,1 мм від поверхні точення. Загальний нагрів зразка зменшив глибину наклепу до 0,4 мм.

Процес сверлення мав менший вплив на оброблюваний матеріал, ніж при точенні за рахунок менших зусиль різання. При сверленні, вплив силового і теплового факторів проявилось в меншій ступені, ніж при точенні, що пояснюється специфікою про-

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

цесса сверления. Совместное влияние силового и теплового фактора распространялось на глубину до 0,1 мм. В поверхностном слое до 10 мкм наблюдалось дробление карбидов, за счет силового и теплового воздействия (рис. 3, е). Незначительный нагрев образца при сверлении не устранил силового воздействия сверла. Повышение микротвердости металлической основы чугуна, при сверлении, достигло 660...690 HV<sub>50</sub> на расстоянии 0,1 мм от поверхности отверстия (рис. 4). Изменение микротвердости распространялось на глубину до 0,5 мм.

Анализ проведенных исследований позволяет рекомендовать проведение черновой обработки резанием деталей из высокохромистого чугуна, с большой глубиной резания без применения СОЖ (с нагревом детали), что позволит получить поверхностный слой с низкой твердостью. Чистовую обработку целесообразно проводить с глубиной резания до 1 мм с применением СОЖ, что позволит получить рабочую поверхность высокой твердости.

#### Научная новизна и практическая значимость

Разработана и применена методика оценки изменений структуры и свойств высокохромистого чугуна под действием физических и тепловых факторов при механической обработке резанием. Использование данной методики позволит разрабатывать рекомендации по выбору режимов и условий обработки чугуна резанием.

#### Выводы

1. Сочетание силового и теплового воздействия определяет процессы упрочнения и разупрочнения поверхностных слоев высокохромистого чугуна. Воздействие силового фактора, повышающего микротвердость поверхностных слоев чугуна, нивелируется нагревом.

2. Силовое воздействие на структуру и свойства высокохромистого чугуна при обработке резанием вызывает наклеп. Зона повышенной микротвердости металлической основы высокохромистого чугуна наблюдается до 3 мм от поверхности резания.

3. Воздействие температуры на структуру и свойства высокохромистого чугуна при обработке резанием проявляется в повышении пластических свойств металлической основы в зо-

не резания, дроблении карбидной фазы и устранении наклепа.

4. Черновую обработку деталей из высокохромистого чугуна целесообразно проводить с большой глубиной резания без применения СОЖ с целью облегчения последующей чистовой обработки. Чистовую обработку целесообразно проводить с глубиной резания до 1 мм с применением СОЖ.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бунин, К. П. Металлография / К. П. Бунин, А. А. Баранов. – Москва : Металлургия, 1970. – 256 с.
2. Волчок, И. П. Особенности легирования марганцем износостойких высокохромистых чугунов / И. П. Волчок, В. В. Нетребко // Литье и металлургия. – 2012. – № 3. – С. 162–165.
3. Гарбер, М. Е. Износостойкие белые чугуны / М. Е. Гарбер. – Москва : Машиностроение, 2010. – 280 с.
4. Гарост, А. И. Железоуглеродистые сплавы / А. И. Гарост. – Минск : Беларус. наука, 2010. – 252 с.
5. Гарост, А. Н. Механизм структурообразования в экономнолегированных износостойких чугунах / А. Н. Гарост // Литье и металлургия. – 2012. – № 3. – С. 101–113.
6. Гуляев, А. П. Металловедение / А. П. Гуляев. – Москва : Металлургия, 1978. – 648 с.
7. Нетребко, В. В. Влияние марганца на структуру высокохромистых чугунов / В. В. Нетребко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 42. – С. 167–169.
8. Сильман, Г. И. Материаловедение / Г. И. Сильман. – Москва : Академия, 2008. – 336 с.
9. Чабак, Ю. Г. Влияние режима отжига на микроструктуру и твердость высокохромистых чугунов с повышенным содержанием аустенитообразующих элементов / Ю. Г. Чабак // Стр-во, материаловед., машиностроение : сб. науч. тр. / ПГАСА. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 67. – С. 188–192.
10. Чабак, Ю. Г. Структурные изменения в комплекснолегированном белом чугуне при дестабилизирующем нагреве / Ю. Г. Чабак, В. Г. Ефременко, Р. Р. Станишевский // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вып. 38. – С. 229–232.
11. Чейлях, А. П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие техноло-

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

- гии / А. П. Чейлях. – Харьков : ННЦ ХФТИ, 2003. – 212 с.
12. Ящерицын, П. И. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах / П. И. Ящерицын, М. Л. Еременко, Е. Э. Фельдштейн. – Минск : Выш. шк., 1990. – 512 с.
  13. Analysis of the Structure and Abrasive Wear Resistance of White Cast Iron With Precipitates of Carbides / D. Копуцінський, М. Kawalec, A. Szczęśny [et al.] // Archives of Metallurgy and Materials. – 2013. – Vol. 58. – Iss. 3. – P. 973–976. doi: 10.2478/amm-2013-0113.
  14. Belikov, S. Manganese influence on chromium distribution in high-chromium cast iron / S. Belikov, I. Volchok, V. Netrebko // Archives of Metallurgy and Materials. – 2013. – Vol. 58. – Iss. 3. – P. 895–897. doi: 10.2478/amm-2013-0095.
  15. Gierek, A. Zeliwo stopowe jako tworzywo konstrukcyjne / A. Gierek, L. Bajka. – Katowice : Slask, 1976. – 230 p.

В. В. НЕТРЕБКО<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Каф. «Обладнання та технологія зварювального виробництва», Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, Україна, 69063, тел. +38 (061) 270 95 20, ел. пошта olgavvn@mail.ru, ORCID 0000-0003-3283-0116

## ВПЛИВ ФІЗИЧНИХ І ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ВИСОКОХРОМИСТОГО ЧАВУНУ ПРИ ОБРОБЦІ РІЗАННЯМ

**Мета.** В роботі проведено аналіз перетворень структури та властивостей високохромистих чавунів під впливом фізичних та теплових факторів, які виникають під час механічної обробки різанням. **Методика.** Розроблена та застосована методика оцінки силового та теплового впливу різця на оброблюваний матеріал. Вилівки попередньо оброблювались різанням до діаметру 25 мм. На торцевій поверхні зразка довжиною 50 мм було зроблено мікрошліф. Для точіння використовували стандартні пластини 10×10 мм з ВК8 згідно ГОСТ 19051-80. **Результати.** Силовий вплив на зразки з високохромистого чавуну під час обробки різанням викликав утворення наклепу. Вплив температури на структуру та властивості високохромистого чавуну під час обробки різанням викликав підвищення пластичних властивостей металевої основи в зоні різання, дроблення карбідної фази та усував наклеп. При точінні з глибиною різання 0,8 мм відбувався тільки силовий вплив різця на зразок. У поверхневому шарі включення карбідів майже не зазнавали змін, в той час як металева основа наклепувалась до 1 100 HV<sub>50</sub>. При віддаленні від поверхні точіння мікротвердість металевої основи знижувалась та становила 500...520 HV<sub>50</sub> на відстані 1,2 мм від поверхні точіння. На відстані від поверхні понад 3 мм наклеп не виявили. Збільшення глибини різання до 1,5 мм викликало одночасний вплив як силового, так і теплового факторів. Вплив температури виявився у збільшенні пластичності металевої основи в поверхневих шарах зразка. Наклеп нагрітих поверхневих шарів не відбувався. При віддаленні від поверхні різання вплив температурного фактора зменшувався при збереженні силового. Пластичність основи зменшувалась, що призвело до зменшення наклепу. Твердість металевої основи підвищилась до 490...520 HV<sub>50</sub>. Загальний нагрів зразка зменшив глибину наклепу до 0,4 мм. **Наукова новизна.** Розроблена методика оцінки змін у структурі та властивостях високохромистого чавуну під дією фізичних та теплових факторів які виникають під час механічної обробки різанням. **Практична значимість.** Використання даної методики дозволить розробляти рекомендації з вибору режимів і умов обробки чавуну різанням.

*Ключові слова:* високохромистий чавун; структура; властивості; різання; наклеп

V. V. NETREBKO<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Equipment and Technology of Welding Production», Zaporizhzhia National Technical University, Zhukovskiy St. 64, Zaporizhzhia, Ukraine, 69063, tel. +38 (061) 270 95 20, e-mail olgavn@mail.ru, ORCID 0000-0003-3283-0116

## INFLUENCE OF PHYSICAL AND HEAT PROCESSES ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF HIGH-CHROMIUM CAST IRON DURING MACHINING

**Purpose.** Analysis of changes of high-chromium cast irons' structure and properties under the influence of physical and heat factors during mechanical machining. **Methodology.** The methodology of evaluation of the cutting tool's force and heat influence on the machined material has been developed and applied. Cast specimens underwent preliminary turning to obtain the diameter of 25 mm. The microsection was made on the end surface of the specimen with the length of 50 mm. Standard plates with sizes 10×10 mm made of VK8 according to the State Standard 19051-80 were used in the turning process. **Findings.** Force influence on the specimens made of high-chromium cast iron caused strain hardening during machining. Temperature influence on the structure and properties of high-chromium cast iron during machining caused increase of the plasticity characteristics of the metallic base in the cutting area, fragmentation of the carbide phase and elimination of the strain hardening. During turning with cutting depth 0.8 mm only force influence of the cutting tool on the specimen took place. Carbide inclusions in the surface layer didn't undergo sufficient changes; at the same time the metallic base was strain-hardened to 1 100 HV<sub>50</sub>. As it was drawn away from the turning surface, the microhardness of the metallic base was decreasing and equaled to 500...520 HV<sub>50</sub> at the distance of 1.2 mm from the turning surface. Strain hardening was not observed at the depth of more than 3mm. Cutting depth increase up to 1.5 mm caused simultaneous influence of force and heat factors. The temperature influence revealed in increasing of metallic base plasticity in the specimen's surface layers. Strain hardening of heated surface layers didn't occur. While drawing away from the cutting surface, the influence of the temperature factor decreased, when the influence of force factor remained the same. Due to the base plasticity decrease the strain hardening occurred. The metallic base strain was hardened to 490...520 HV<sub>50</sub>. The overall heating of the specimen caused the decrease of strain hardening depth to 0.4 mm. **Originality.** The methodology of change evaluation of high-chromium cast iron structure and properties under the influence of physical and heat factors during mechanical machining has been elaborated. **Practical value.** This methodology allows developing the recommendations for choices of high-chromium cast iron machining modes and conditions.

*Keywords:* high-chromium cast iron; structure; properties; machining; strain hardening

### REFERENCES

1. Bunin K.P., Baranov A.A. *Metallografiya* [Metallography]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1970. 256 p.
2. Volchok I.P., Netrebko V.V. Osobennosti legirovaniya margantsem iznosostoykikh vysokokhromistykh chugunov [Peculiarities of alloying of high-chromium cast irons with manganese]. *Litye i metallurgiya – Foundry and metallurgy*, 2012, no. 3, pp. 162-165.
3. Garber M.Ye. *Iznosostoykiye belyye chuguny* [Wear resistant white cast irons]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2010. 280 p.
4. Garost A.I. *Zhelezouglerodistyie splavy* [Iron-carbon alloys]. Minsk, Belaruskaya nauka Publ., 2010. 252 p.
5. Garost A.N. Mekhanizm strukturoobrazovaniya v ekonomnolegirovannykh iznosostoykikh chugunakh [Structure formation mechanism in the sparingly alloyed wear resistant cast irons]. *Litye i metallurgiya – Foundry and metallurgy*, 2012, no. 3, pp. 101-113.
6. Gulyayev A.P. *Metallovedeniye* [Physical metallurgy]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1978. 648 p.
7. Netrebko V.V. Vliyaniye margantsa na strukturu vysokokhromistykh chugunov [Manganese influence on the structure of high-chromium cast irons]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 167-169.
8. Silman G.I. *Materialovedeniye* [Material Science]. Moscow, Izdatelskiy tsentr «Akademiya» Publ., 2008. 336 p.

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

9. Chabak Yu.G. Vliyaniye rezhima otzhiga na mikrostrukturu i tverdosť vysokokhromistykh chugunov s povyshennym sodержaniyem austenito-obrazuyushchikh elementov [Annealing mode's influence on the microstructure and hardness of high-chromium cast irons with increased content of austenite-forming elements]. *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroyeniye* [Construction, material science, machine building], 2013, issue 67, pp. 188-192.
10. Chabak Yu.G., Yefremenko V.G., Stanishevskiy R.R. Strukturnyye izmeneniya v kompleksnolegirovannom belom chugune pri destabiliziruyushchem nagreve [Structure changes in the complex-alloyed white cast iron during destabilizing heating]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 38, pp. 229-232.
11. Cheylyakh A.P. *Ekonomnolegirovannyye metastabilnyye splavy i uprochnyayushchiye tekhnologii* [Sparingly alloyed metastable alloys and strengthening technologies]. Kharkov, NNTs KhFTI Publ., 2003. 212 p.
12. Yashcheritsyn P.I., Yeremenko M.L., Feldshteyn Ye.E. *Teoriya rezaniya. Fizicheskiye i teplovyie protsessy v tekhnologicheskikh sistemakh* [Machining theory. Physical and heat processes in technological systems]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 1990. 512 p.
13. Kopyciński D., Kawalec M., Szczęśny A., Gilewski R., Piasny S. Analysis of the Structure and Abrasive Wear Resistance of White Cast Iron With Precipitates of Carbides. *Archives of Metallurgy and Materials*, 2013, vol. 58, issue 3, pp. 973-976. doi: 10.2478/amm-2013-0113.
14. Belikov S., Volchok I., Netrebko V. Manganese influence on chromium distribution in high-chromium cast iron. *Archives of Metallurgy and Materials*, 2013, vol. 58, issue 3, pp. 895-897. doi: 10.2478/amm-2013-0095.
15. Gierek A., Bajka L. *Zeliwo stopowe jako tworzywo konstrukcyjne*. Katowice, Slask Publ., 1976. 230 p.

*Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. А. А. Митяевым (Украина); д.т.н., проф. И. А. Вакуленко (Украина)*

Поступила в редколлегию: 22.08.2014

Принята к печати: 27.10.2014

## УДК 620.168:532.696[621.92]

Е. В. СУХОВАЯ<sup>1\*</sup>, Н. А. ЗДОРОВЕЦ<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Експериментальна фізика і фізика металів», Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара, пр. Гагарина, 72, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (0562) 776 58 86, ел. пошта sukhovaya@ukr.net, ORCID 0000-0001-8002-0906

<sup>2</sup>Каф. «Металлофізика», Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара, пр. Гагарина, 72, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (0562) 776 58 86, ORCID 0000-0001-9523-9919

## РАЗРАБОТКА СОСТАВА НАПОЛНИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ СПЛАВА FE–V–C ДЛЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

**Цель.** Исследования, проведенные в работе, направлены на разработку состава комплексно легированного сплава-наполнителя абразивно-стойких композиционных материалов. **Методика.** Для достижения поставленной цели использованы методы микроструктурного, рентгеноструктурного и микрорентгеноспектрального анализов. Определены микродюрометрические характеристики структурных составляющих и абразивная износостойкость композиционных материалов. **Результаты.** Установлена полная растворимость хрома и ванадия в бориде железа Fe<sub>2</sub>V и FeV, являющихся исходными структурными составляющими перитектических сплавов Fe–V–C. Эти элементы преимущественно растворяются в монобориде железа. Растворимость молибдена или ниобия ничтожно мала. Они образуют в структуре сплавов самостоятельные фазы Mo<sub>2</sub>V, Mo<sub>2</sub>(V, C) или NbV<sub>2</sub>. Легирование хромом и ванадием увеличивает прочность на сжатие и коэффициент трещиностойкости фаз, а молибденом или ниобием – общую микротвердость и твердость сплавов. При использовании сплава-наполнителя Fe–V–C, комплексно легированного вышеперечисленными элементами, в составе композиционных материалов со связкой МНМц 20-20 структурообразование границ раздела между наполнителем и расплавленной связкой определяется протеканием процессов растворения и диффузии. Фазовый и структурный состав зон контактного взаимодействия объясняется перекристаллизацией поверхностных слоев наполнителя после растворения, вызванного контактом с расплавленной связкой. В результате формируется бездефектная макронеоднородная структура композиционных материалов и обеспечивается надежная адгезия наполнителя и связки. Интенсивностью процессов контактного взаимодействия можно управлять путем выбора температурно-временных режимов пропитки. **Научная новизна.** Исследованы закономерности формирования структуры и свойств твердых растворов на основе боридов Fe<sub>2</sub>V и FeV, образующихся в структуре перитектических сплавов Fe–V–C, что позволило рекомендовать состав комплексно легированного сплава для использования в качестве наполнителя макронеоднородных композиционных материалов с мельхиоровой матрицей. **Практическая значимость.** За счет комплексного легирования перитектического сплава-наполнителя Fe–V–C хромом, ванадием, молибденом и ниобием достигается абразивная износостойкость композиционных покрытий, сравнимая с износостойкостью вольфрамсодержащих покрытий, что позволяет обеспечить экономию дорогостоящих и дефицитных материалов.

**Ключевые слова:** перитектические сплавы Fe–V–C; легирование; механические свойства; композиционный материал; сплав-наполнитель

### Введение

В технике все большее распространение получают композиционные покрытия, состоящие из разнородных компонентов [1, 12, 14]. Один из них пластичен (связка), а другой обладает повышенной прочностью и твердостью (наполнитель). Композитам могут быть приданы наперед заданные свойства, которых не имеют отдельные составляющие. В металлургической и нефтяной, горнодобывающей и угольной промышленности – везде, где детали работают в условиях интенсивного абразивного износа,

эффективна наплавка макронеоднородных композиционных материалов, упрочненных частицами наполнителя размерами 0,2...1,5 мм [2, 4, 5, 7]. В настоящее время созданы и нашли применение материалы на основе карбидов вольфрама (WC + W<sub>2</sub>C) со связкой марганцевый мельхиор МНМц 20–20 [3, 4, 8]. Однако высокая стоимость и дефицитность вольфрама вызывает необходимость его экономии.

Перитектические сплавы железа с бором и углеродом отличаются тугоплавкостью, крипоустойчивостью, жаростойкостью, твердостью

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

и износостойкостью [9, 14]. Поэтому их применение перспективно в качестве наполнителей безвольфрамовых композиционных материалов [6]. В литературе имеются весьма ограниченные данные о влиянии отдельных легирующих элементов и их комплексов на фазовые превращения, структуру и свойства перитектических сплавов Fe–B–C [10, 11]. Отсутствуют также сведения о возможности их использования в составе абразивно-стойких композиционных покрытий.

## Цель

Целью работы являлась разработка состава комплексно легированного сплава-наполнителя для абразивно-стойких композиционных материалов.

## Методика

С учетом результатов определения физико-химических и механических свойств сплавов Fe–B–C [14] основой для разработки состава наполнителей композиционных материалов были выбраны сплавы, содержащие (по массе) 9,0...12,1 % В, 0,01...0,5 % С, 0...5,0 % одного из следующих легирующих элементов: Cr, V, Mo, Nb; Fe – ост. Образцы сплавов изготавливали из предварительно тщательно перемешанных и спрессованных порошков шихтовых материалов путем их сплавления в алуновом тиглях в печи Таммана. Скорость охлаждения сплавов составляла 10...20 К/с. Состав выплавленных образцов контролировали методами спектрального и химического анализов.

Для получения композиционных покрытий сплав-наполнитель предварительно дробили на частицы размерами 0,2...1,5 мм. Пропитку частиц наполнителя выполняли печным способом при температуре 1 273 К в течение 30 минут. В качестве сплава-связки использовали марганцевый мельхиор МНМц 20–20.

Структуру образцов изучали методами количественного металлографического анализа на установке «Epiquant», рентгеноструктурного анализа на аппарате ДРОН УМ-1 и рентгеноспектрального микроанализа на установке МС-46. Испытания на абразивную износостойкость выполняли на установке НК-М при комнатной температуре. Оценку осуществляли по уменьшению массы образцов с точностью 0,0002 г.

## Результаты

Исследованные тройные сплавы Fe–B–C имеют двухфазную структуру (рис. 1). На фоне легированного углеродом гемиборида железа  $Fe_2B$  видны первичные дендриты моноборида  $Fe(B,C)$ . Гемиборид железа образуется как вследствие протекания перитектической реакции  $Ж + Fe_2(B, C) \rightarrow Fe(B, C)$ , так и непосредственно из жидкости из-за близости состава этой фазы к перитектической точке.

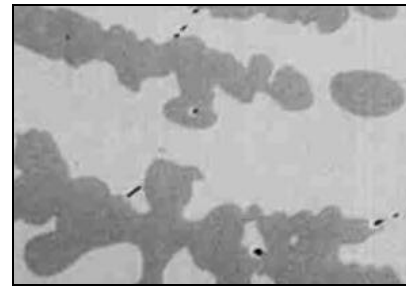


Рис. 1. Сканированная микрограмма сплава Fe–B–C во вторичных электронах ( $\bar{e}$ ),  $\times 400$

Fig. 1. Scanned micrograms of Fe-B-C alloy in the secondary electrons ( $\bar{e}$ ),  $\times 400$

Указанный фазовый состав сохраняется при легировании сплавов Fe–B–C хромом. Методом рентгеноспектрального микроанализа установлено, что Cr растворяется в фазах  $Fe_2(B, C)$  и  $Fe(B, C)$ , образуя твердые растворы преимущественно на основе моноборида железа (рис. 2, а).

Ванадий, незначительно растворяясь в фазе  $Fe_2(B, C)$ , в основном присутствует в монобориде железа (рис. 2, б). Его распределение по сечению кристаллов последнего неоднородно: в центре располагается стержневидная фаза с повышенной концентрацией элемента. Рентгеноструктурные исследования показывают, что эта фаза в центре дендритов  $Fe(B, C)$  является высшим боридом железа  $FeB_n$  ( $n \sim 2$ ). В нем растворяется значительное количество ванадия. Характер расположения фазы внутри кристаллов моноборида железа, а также вид межфазной границы раздела свидетельствует о протекании в сплавах перитектической реакции  $Ж + (Fe, V)_n B_n \rightarrow (Fe, V)(B, C)$ .

Молибден лишь незначительно присутствует в монобориде  $Fe(B,C)$  и практически не растворяется в кристаллах гемиборида  $Fe_2(B, C)$  (рис. 2, в). По границам последних образуется фаза с повышенным содержанием молибдена.

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Причем из записи  $СК_{\alpha}$  вытекает, что в одном случае концентрация углерода в молибденовой фазе очень велика, а в другом – ничтожно мала. Рентгеноструктурно установлено одновременное появление в структуре сплавов боридов  $Mo_2V$  и карбоборидов  $Mo_2(V, C)$ .

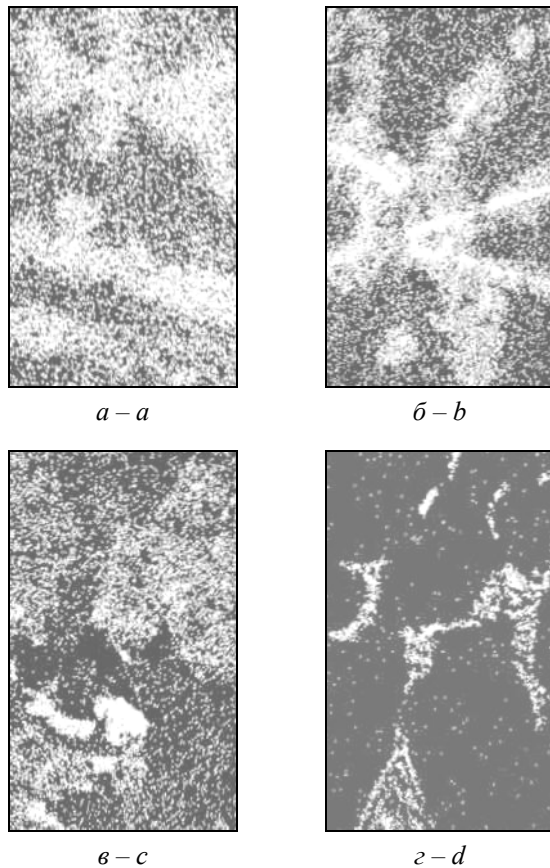


Рис. 2. Сканированные микрограммы легированных сплавов Fe–B–C ( $\times 400$ ) в излучениях:  $a - CrK_{\alpha}$ ;  $b - VK_{\alpha}$ ;  $c - MoL_{\alpha}$ ;  $d - NbL_{\alpha}$

Fig. 2. Scanned micrograms of Fe–B–C ( $\times 400$ ) master alloys in emissions:  $a - CrK_{\alpha}$ ;  $b - VK_{\alpha}$ ;  $c - MoL_{\alpha}$ ;  $d - NbL_{\alpha}$

Растворимость ниобия в структурных составляющих сплавов Fe–B–C практически отсутствует. Этот элемент образует по границам кристаллов  $Fe_2(V, C)$  бориды  $NbB_2$ , а также вызывает измельчение первичных дендритов  $Fe(V, C)$  (табл. 1).

Процесс кристаллизации легированных сплавов Fe–B–C можно представить следующим образом. Твердые растворы на основе моноборида железа  $FeV$  являются первичными в сплавах, легированных хромом, либо появляются вследствие перитектической реакции  $Ж + (Fe, V)B_n \rightarrow$

$(Fe, V)(B, C)$  в сплавах, легированных ванадием. В ходе последующей перитектической реакции кристаллизуются твердые растворы хрома или ванадия в гемибориде железа  $Fe_2V$ . В этой схеме кристаллизации преимущественная растворимость легирующих элементов наблюдается в монобориде железа.

Таблица 1

**Влияние легирующих элементов на диаметр  $d_0$  и расстояние  $\lambda_0$  между дендритными ветвями II порядка для фазы Fe(B, C)**

Table 1

**Alloying elements effect on the diameter  $d_0$  and the distance  $\lambda_0$  between dendritic branches of the II order for phase Fe (B, C)**

Элемент	$d_0$	$\lambda_0$	$d_0/\lambda_0$
исх.	$30,0 \pm 0,6$	$33,3 \pm 0,7$	0,90
Cr	$28,4 \pm 0,6$	$31,9 \pm 0,6$	0,89
V	$29,8 \pm 0,6$	$33,1 \pm 0,7$	0,90
Mo	$29,6 \pm 0,5$	$33,6 \pm 0,7$	0,80
Nb	$22,4 \pm 0,4$	$24,3 \pm 0,5$	0,92

Таблица 2

**Микро-механические характеристики фаз в легированных сплавах Fe–B–C**

Table 2

**Micro-mechanical characteristics of the phases in the Fe–B–C master alloys**

Элемент	Микротвердость, ГПа		Коэффициент трещиностойкости, $K_{LC}$ , МПа $\cdot\sqrt{м}$	
	$Fe_2(B, C)$	$Fe(B, C)$	$Fe_2(B, C)$	$Fe(B, C)$
исх.	$15,87 \pm 0,23$	$18,08 \pm 0,12$	$2,14 \pm 0,05$	$2,37 \pm 0,07$
Cr	$15,02 \pm 0,07$	$16,52 \pm 0,24$	$2,52 \pm 0,04$	$3,32 \pm 0,01$
V	$15,43 \pm 0,11$	$17,18 \pm 0,14$	$2,43 \pm 0,05$	$3,0 \pm 0,03$
Mo	$15,75 \pm 0,24$	$17,93 \pm 0,32$	$2,34 \pm 0,03$	$2,53 \pm 0,05$
Nb	$15,92 \pm 0,42$	$18,17 \pm 0,06$	$1,95 \pm 0,08$	$2,45 \pm 0,04$

При достижении расплавами Fe–B–C, легированными молибденом и ниобием, переохла-

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

дження, достаточного для зародження і росту фази  $\text{Fe}(\text{B}, \text{C})$ , в жидкості уже існують більш тугоплавкі кристали  $\text{Mo}_2\text{B}$ ,  $\text{Mo}_2(\text{B}, \text{C})$  або  $\text{NbB}_2$ . Вони відтиснюються внаслідок ростиючими дендритами  $\text{Fe}(\text{B}, \text{C})$ , а після протекання перітектичної реакції  $\text{Ж} + \text{Fe}_2(\text{B}, \text{C}) \rightarrow \text{Fe}(\text{B}, \text{C})$  і кристаллами  $\text{Fe}_2(\text{B}, \text{C})$ . В результаті по границям зерен виявляються самостійні фази на основі молибдена або ніобію.

Найбільші зміни мікро-механічних характеристик фаз  $\text{Fe}_2(\text{B}, \text{C})$  і  $\text{Fe}(\text{B}, \text{C})$  закономірно спостерігаються в сплавах  $\text{Fe-B-C}$ , легированих  $\text{Cr}$  і  $\text{V}$  (табл. 2). Зниження мікротвердості і зростання коефіцієнта тріщиностійкості твердих розчинів відбувається в наступній послідовності:  $\text{Fe}_n(\text{B}, \text{C}) \rightarrow (\text{Fe}, \text{V})_n(\text{B}, \text{C}) \rightarrow (\text{Fe}, \text{Cr})_n(\text{B}, \text{C})$  (де  $n = 1; 2$ ). При введенні  $\text{Mo}$  і  $\text{Nb}$  підвищується загальна мікротвердість сплавів внаслідок утворення кристалів самостійних фаз цими елементами.

Для забезпечення одночасного підвищення мікротвердості і пластичності використовували комплексне легировання перітектичних сплавів  $\text{Fe-B-C}$  1,0...2,0 %  $\text{Cr}$ ; 0,5...1,0 %  $\text{V}$ ; 1,0...3,0 %  $\text{Nb}$ ; 1,0...3,0 %  $\text{Mo}$ . Структурний і фазовий склад сплавів залишається без змін (рис. 3).

В дендритах  $\text{Fe}(\text{B}, \text{C})$  розчиняються ванадій і, в меншій кількості, хром. Ці ж елементи присутні в структурі твердого розчину  $\text{Fe}_2(\text{B}, \text{C})$ . Ніобій і молибден утворюють по границям фази  $\text{Fe}_2(\text{B}, \text{C})$  самостійні фази, що збільшує загальну мікротвердість сплавів до  $19,2 \pm 0,9$  ГПа. Крім того, зростає твердість, міцність на стиснення і коефіцієнт відносної окислювостійкості (табл. 3).

Процеси міжфазного взаємодіяння на границях розділу композиційних матеріалів вивчали на зразках, отриманих пропиткою частинок наповнювачів, виготовлених з комплексно легированого сплаву  $\text{Fe-B-C}$ , марганцевим мельхіором МНМц 20–20. Мікроструктура отриманих композиційних матеріалів характеризується наявністю частинок розмірами 0,2...1,5 мм неправильної осколької форми, рівномірно розподілених в матриці. Площа, зайнята наповнювачем, становить 45...55 %. Тріщини і єдиничні пори, що утворюються в наповнювачі при механічному дробленні, заповнені мельхіором.

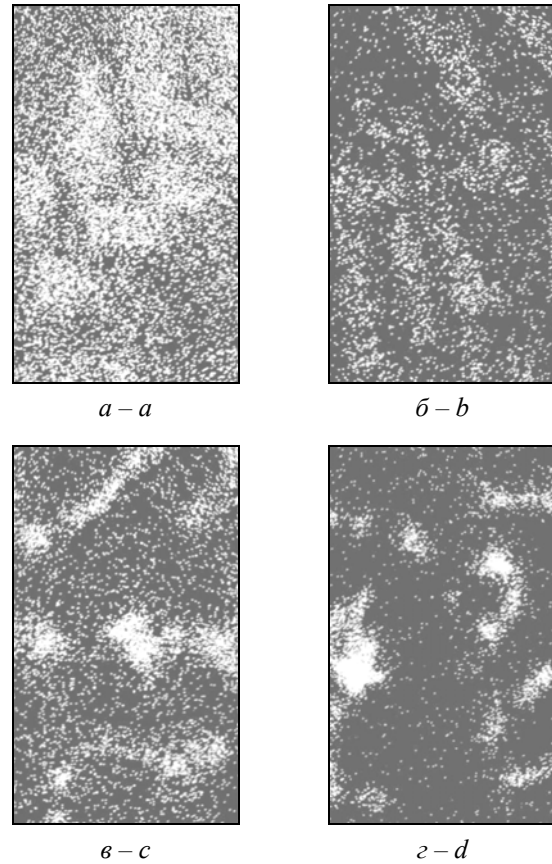


Рис. 3. Сканированні мікрограми комплексно легированих сплавів  $\text{Fe-B-C}$  ( $\times 400$ ) в випромінюваннях:  $a - \text{CrK}_\alpha$ ;  $b - \text{VK}_\alpha$ ;  $c - \text{MoL}_\alpha$ ;  $d - \text{NbL}_\alpha$

Fig. 3. Scanned micrograms of  $\text{Fe-B-C}$  ( $\times 400$ ) fully master alloys in emissions:  $a - \text{CrK}_\alpha$ ;  $b - \text{VK}_\alpha$ ;  $c - \text{MoL}_\alpha$ ;  $d - \text{NbL}_\alpha$

Таблиця 3

**Свойства комплексно легированного (К. Л.) сплава  $\text{Fe-B-C}$**

Table 3

**Properties of fully master (F. M.)  $\text{Fe-B-C}$  alloy**

Сплав	Твердість, HRA	Міцність на стиснення, МПа	Коефіцієнт відносної окислювостійкості, од.
исх.	$82 \pm 1$	$2\ 010 \pm 10$	1,0
К. Л.	$85 \pm 2$	$2\ 120 \pm 10$	$1,37 \pm 0,15$

На границях розділу між наповнювачем і матрицею не виявлені видимі зміни структури порівняно з початковою структурою цих складових (рис. 4). Однак ре-

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

зультаты рентгеноспектрального микроанализа свидетельствует о протекании процессов контактного взаимодействия растворно-диффузионного типа. На границах раздела появляется слой толщиной 10...15 мкм, содержащий железо, никель, марганец (см. рис. 4). При удалении от него в обе стороны содержание элементов изменяется. При перемещении зонда в сторону наполнителя происходит резкое увеличение концентрации железа и уменьшение – никеля и марганца. Со стороны матрицы содержание железа и меди повышается до 4,3 % и 66,5 %, а содержание никеля и марганца понижается до 14 % и 15 % соответственно.

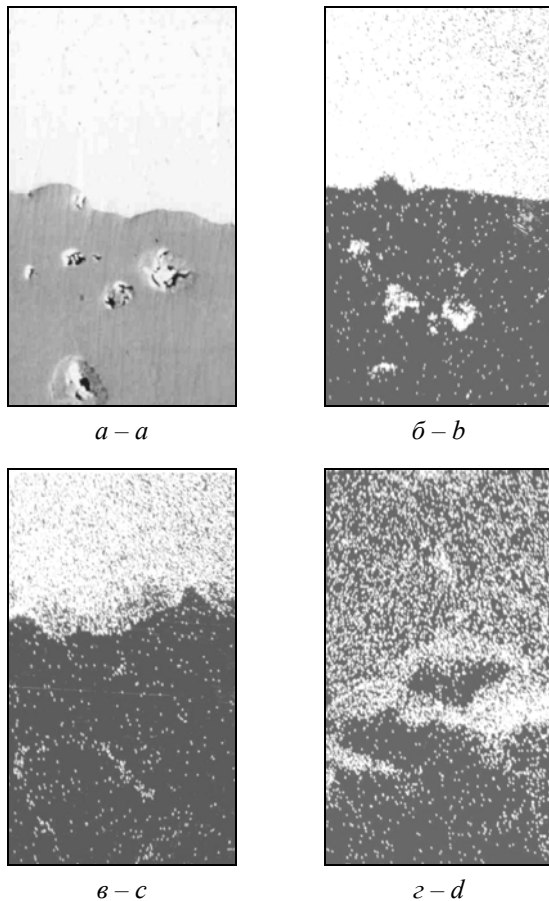


Рис. 4. Сканированные микрограммы участка границы раздела композиционного материала между комплексно легированным наполнителем Fe–B–C и мельхиоровой матрицей ( $\times 400$ ) в излучениях:

$a - \bar{e}$ ;  $b - \text{CuK}\alpha$ ;  $c - \text{NiK}\alpha$ ;  $d - \text{MnK}\alpha$

Fig. 4. Scanned micrograms of interface section of master alloy between fully master filler Fe–B–C and nickel silver matrix ( $\times 400$ ) in emission:

$a - \bar{e}$ ;  $b - \text{CuK}\alpha$ ;  $c - \text{NiK}\alpha$ ;  $d - \text{MnK}\alpha$

На основании полученных данных последовательность структурообразования границ раздела между наполнителем и матрицей в композиционных материалах можно представить следующим образом.

Вначале расплавленный мельхиор проникает в промежутки между частицами наполнителя, смачивает их, заполняет поры и трещины. Затем происходит растворение поверхностных слоев частиц наполнителя в расплавленной связке. Это приводит к изменению относительного содержания компонентов на границах раздела по сравнению с остальной связкой. При последующем охлаждении растворимость компонентов снижается, и избыточное их количество выделяется на поверхности не растворившихся частиц наполнителя, являющихся готовыми центрами кристаллизации. В результате со стороны наполнителя образуется слой, содержащий по сравнению с исходным сплавом меньше железа и некоторое количество марганца и никеля. Его появление обусловлено перекристаллизацией поверхностных слоев наполнителя после растворения, вызванного контактом с расплавленной связкой. По обе стороны от перекристаллизованного слоя формируются переходные зоны диффузионного происхождения. Со стороны наполнителя образуется твердый раствор марганца и незначительного количества никеля в бориде железа. Со стороны матрицы кристаллизуется непрерывный ряд твердых растворов компонентов наполнителя и связки в меди. Максимальное содержание Fe (34,8 %) наблюдается вблизи перекристаллизованного слоя, минимальное (4,3 %) – на расстоянии, равноудаленном от частиц наполнителя.

Испытания композиционного материала, упрочненного комплексно легированным сплавом-наполнителем на основе перитектического сплава Fe–B–C, на абразивную износостойкость показали увеличение этой характеристики более чем на 35 % по сравнению с материалом, содержащим нелегированный сплав-наполнитель аналогичного состава. Это позволяет обеспечить повышение сопротивления абразивному износу разработанного композиционного материала до уровня, сравнимого с износостойкостью материала, упрочненного карбидами вольфрама ( $\text{WC} + \text{W}_2\text{C}$ ). После испытаний в поверхностных слоях образцов наблюдается специфический рельеф, возникающий вследст-

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

вие различия в твердости матрицы и частиц наполнителя. Более мягкая матрица разрушается в первую очередь, тогда как износ более твердых частиц наполнителя затруднен. Как следствие, прирост абразивной износостойкости пропорционален твердости и пластичности комплексно легированных сплавов-наполнителей на основе сплава Fe–B–C.

### Научная новизна и практическая значимость

Впервые исследованы закономерности формирования структуры и свойств твердых растворов на основе боридов Fe<sub>2</sub>B и FeB, образующихся в структуре перитектических сплавов Fe–B–C. Предложен состав комплексно легированного сплава для использования в качестве наполнителя макрогетерогенных композиционных материалов с мельхиоровой матрицей. Достигнуто повышение абразивной износостойкости материалов до уровня, сравнимого с этой характеристикой для вольфрамсодержащих материалов. За счет этого обеспечена экономия дорогостоящего и дефицитного вольфрама при сохранении эксплуатационных характеристик композиционных покрытий, предназначенных для упрочнения и восстановления быстроизнашивающихся деталей металлургического и горнорудного оборудования.

### Выводы

1. При легировании двухфазных перитектических сплавов Fe–B–C, охлажденных со скоростью 10...20 К/с до 5 % Cr или V формируются твердые растворы замещения на основе боридов Fe<sub>2</sub>B и FeB. Причем элементы преимущественно растворяются в монобориде железа. Растворимость молибдена или ниобия, введенных в количестве до 5 %, ничтожно мала. Они образуют в структуре сплавов самостоятельные фазы Mo<sub>2</sub>B, Mo<sub>2</sub>(B,C) или NbB<sub>2</sub>.

2. Легирование хромом и ванадием увеличивает прочность на сжатие, снижает микротвердость и повышает коэффициент трещиностойкости фаз, а молибденом или ниобием обеспечивает рост общей микротвердости и твердости сплавов. Одновременное повышение механических характеристик достигается за счет комплексного легирования перитектического сплава Fe–B–C вышеперечисленными элементами.

3. В структуре композиционных материалов, упрочненных комплексно легированным наполнителем на основе сплава Fe–B–C, на границах раздела между наполнителем и мельхиоровой матрицей образуются зоны контактного взаимодействия растворно-диффузионного типа. На границах раздела отсутствуют дефекты, связанные с неудовлетворительным смачиванием частиц наполнителя расплавленной связкой.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абузин, Ю. А. Функциональные металлические композиционные материалы и технологии в машиностроении / Ю. А. Абузин // *Материалы в машиностроении*. – 2010. – № 6. – С. 52–54.
2. Белоусов, В. Я. Долговечность деталей машин с композиционными материалами / В. Я. Белоусов. – Львів : Вищ. шк., 1984. – 180 с.
3. Данилов, Л. И. Наплавка деталей засыпных устройств доменных печей композиционным сплавом / Л. И. Данилов, Ф. М. Ровенских // *Металлург*. – 1979. – № 1. – С. 12–15.
4. Мышко, Ю. Д. Наплавка фильер композиционными сплавами / Ю. Д. Мышко, В. Г. Нечипоренко, А. Н. Гладченко // *Хим. и нефтяное машиностроение*. – 1983. – № 6. – С. 28–30.
5. Стабильность композиционных материалов / И. М. Спиридонова, А. Д. Панасюк, Е. В. Суховая, А. П. Уманский. – Днепропетровск : Свидлер, 2011. – 244 с.
6. Суховая, Е. В. Квантовомеханическая модель формирования зон контактного взаимодействия в композиционных материалах со сферическим наполнителем / Е. В. Суховая, Ю. В. Сыроватко // *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 37. – С. 238–243.
7. Суховая, Е. В. Влияние Р и Мо на формирование границ раздела в композиционных материалах со связкой Fe–B–C / Е. В. Суховая, Ю. В. Сыроватко // *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 34. – С. 219–225.
8. Юзвенко, Ю. А. Сферический релит. Способ получения и свойства / Ю. А. Юзвенко, Е. И. Фрумин, М. А. Пашенко // *Порошковая металлургия*. – 1975. – № 7. – С. 1–5.
9. Berns, H. Microstructure of Fe–Cr–C hardfacing alloys with additions of Nb, Ti, and B / H. Berns, A. Fischer // *Metallography*. – 1987. – Vol. 20. – P. 401–429. doi: 10.1016/0026-0800(87)90017-6.
10. Callister, Jr. W. D. *Materials Science and Engineering: An Introduction* / Jr. W. D. Callister. –

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

- New York : John Wiley & Sons Inc., 2003. – 867 p. doi: 10.1108/acmm.2000.12847aae.001.
11. Mukhopadhyay, N. K. Alloys Compounds / N. K. Mukhopadhyay, G. V. S. Murthy, B. S. Weatherly. – Singapore : World Scientific, 2002. – 206 p.
  12. Processing and characterization of aluminum-based metal matrix composites produced by gas pressure infiltration / E. Carreno-Morelli, T. Cutard, R. Schaller, C. Bonjour // Materials science and engineering. – 1998. – № A 251. – P. 48–57. doi: 10.1016/S0921-5093(98)00649-2.
  13. Sukhova, O. V. Corrosion-resistant Fe–B–C alloys / O. V. Sukhova, I. M. Spirydonova // Вісн. ДУ. Фізика. Радіоелектроніка. – 2011. – Т. 19, № 2. – С. 62–65.
  14. Sukhova, O. V. High performance composites / O. V. Sukhova, I. M. Spirydonova // Вісн. ДУ. Фізика. Радіоелектроніка. – 2012. – Т. 20, № 2. – С. 78–81.

О. В. СУХОВА<sup>1\*</sup>, Н. О. ЗДОРОВЕЦЬ<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Експериментальна фізика і фізика металів», Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара, пр. Гагарина, 72, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (0562) 776 58 86, ел. пошта sukhovaya@ukr.net, ORCID 0000-0001-8002-0906

<sup>2</sup>Каф. «Металофізика», Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара, пр. Гагарина, 72, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (0562) 776 58 86, ORCID 0000-0001-9523-9919

## РОЗРОБКА СКЛАДУ НАПОВНЮВАЧА НА ОСНОВІ СПЛАВУ Fe–B–C ДЛЯ ЗНОСОСТІЙКИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ

**Мета.** Дослідження, проведені в роботі, направлені на розробку складу комплексно легованого сплаву-наповнювача абразивно-стійких композиційних матеріалів. **Методика.** Для досягнення поставленої мети застосовано методи мікроструктурного, рентгеноструктурного та мікрорентгеноспектрального аналізів. Визначено мікродюрOMETРИЧНІ характеристики структурних складових та абразивну зносостійкість композиційних матеріалів. **Результати.** Встановлено повну розчинність хрому та ванадію в бориди заліза Fe<sub>2</sub>B і FeB, що є вихідними структурними складовими перитектичних сплавів Fe–B–C. Ці елементи переважно розчиняються в монобориді заліза. Розчинність молібдену або ніобію нехтовно мала. Вони утворюють у структурі сплавів самостійні фази Mo<sub>2</sub>B, Mo<sub>2</sub>(B, C) або NbB<sub>2</sub>. Легування хромом і ванадієм збільшує міцність на стиск і коефіцієнт тріщиностійкості фаз, а молібденом або ніобієм – загальну мікротвердість і твердість сплавів. У разі застосування сплаву-наповнювача Fe–B–C, комплексно легованого вищевказаними елементами, у складі композиційних матеріалів зі зв'язкою МНМц 20-20 механізм структуроутворення границь поділу між наповнювачем і розплавленою зв'язкою визначає проходження процесів розчинення та дифузії. Фазовий і структурний склад зон контактної взаємодії пояснюється перекристалізацією поверхневих шарів наповнювача після розчинення, викликаного контактом із розплавленою зв'язкою. У результаті спостерігається бездефектна макрорегіогенна структура композиційних матеріалів і забезпечується надійна адгезія наповнювача й зв'язки. Інтенсивністю процесів контактної взаємодії можна управляти шляхом вибору температурно-часових режимів просочення. **Наукова новизна.** Досліджено закономірності формування структури та властивостей твердих розчинів на основі боридів Fe<sub>2</sub>B і FeB, які утворюються у структурі перитектичних сплавів Fe–B–C, що дозволило рекомендувати склад комплексно легованого сплаву для застосування в якості наповнювача макрорегіогенних композиційних матеріалів із мельхіоровою матрицею. **Практична значимість.** За рахунок комплексного легування перитектичного сплаву-наповнювача Fe–B–C хромом, ванадієм, молібденом і ніобієм можна досягти абразивну зносостійкість композиційних покриттів, порівняну зі зносостійкістю вольфрамвмістних покриттів, що дозволяє забезпечити економію дефіцитних матеріалів підвищеної вартості.

*Ключові слова:* перитектичні сплави Fe–B–C; легування; механічні властивості; композиційний матеріал; сплав-наповнювач

O. V. SUKHOVA<sup>1\*</sup>, N. O. ZDOROVETS<sup>2</sup><sup>1\*</sup>Dep. «Experimental Physics and Physics of Metals», O. Gonchar Dnipropetrovsk National University, Gagarin Av., 72, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 776 58 86, e-mail sukhovaya@ukr.net, ORCID 0000-0001-8002-0906<sup>2</sup>Dep. «Metallophysics», O. Gonchar Dnipropetrovsk National University, Gagarin Av., 72, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (0562) 776 58 86, ORCID 0000-0001-9523-9919

## DEVELOPMENT OF (Fe–B–C)-BASED FILLER FOR WEAR-RESISTANT COMPOSITE COATINGS

**Purpose.** Development of multi-alloyed filler for abrasive wear-resistant composites. **Methodology.** The methods of microstructural, X-ray and energy-dispersive X-ray analyses were used to achieve research purpose. Micro-mechanical properties of structural constituents and abrasive wear-resistance of composites were determined. **Findings.** The complete dissolution of chromium and vanadium in the borides of Fe<sub>2</sub>B and FeB that are initial structural constituents of Fe–B–C peritectic alloys has been established. These elements primarily dissolve in iron monoboride. Dissolution of molybdenum and niobium is not practically observed. As a result the phases of Mo<sub>2</sub>B, Mo<sub>2</sub>(B,C) or NbB<sub>2</sub> can be seen in the structure. Alloying with chromium and vanadium increases compression strength and crack resistance coefficient, but that with molybdenum and niobium enhances total microhardness and hardness of the alloys. Structure formation of the interfaces between the filler and the binder of the composites based on MNMTs 20-20 binder is governed by dissolution and diffusion processes when multi-alloyed (Fe–B–C) alloy is applied as filler of the composites. The phase and the structural composition of contact interaction zones can be explained by re-crystallization of the filler surface layers after dissolution caused by contact with the molten binder. Consequently the macroheterogeneous structure of the composites is free of defects and strong adhesion between the filler and the binder is assured. Contact interaction intensity can be controlled by the choice of temperature-and-time infiltration regimes. **Originality.** The peculiarities in the formation of structure and properties of Fe<sub>2</sub>B- and FeB-based solid solutions observed in the structure of the Fe–B–C peritectic alloys were investigated that allowed us to recommend composition of multicomponent alloy to be applied as filler of (Cu–Ni–Mn)-matrix macroheterogeneous composites. **Practical value.** Owing to multiple alloying of the filler based on Fe–B–C peritectic alloy with chromium, vanadium, molybdenum and niobium the abrasive wear resistance of composite coatings can be compared with that of tungsten-containing coatings, which ensures saving of expensive and deficient materials.

**Keywords:** Fe–B–C peritectic alloys; alloying; mechanical properties; composite; filler

### REFERENCES

1. Abuzin Yu.A. Funktsionalnyye metallicheskiye kompozitsionnyye materialy i tekhnologii v mashstroyenii [Functional metallic composites and technologies in mechanical engineering]. *Materialy v mashstroyenii – Materials in mechanical engineering*, 2010, no. 6, pp. 52-54.
2. Belousov V.Ya. *Dolgovechnost detaley mashin s kompozitsionnymi materialami* [Service life of machine parts with composites]. Lviv, Vyshcha shkola Publ., 1984. 180 p.
3. Danilov L.I., Rovenskikh F.M. Naplavka detaley zasypnykh ustroystv domennykh pechey kompozitsionnym splavom [Facing of charging devices parts of blast furnaces by composite alloy]. *Metallurg – Metallurgist*, 1979, no. 1, pp. 12-15.
4. Myshko Yu.D. Naplavka filyer kompozitsionnymi splavami [Facing of drawing dies by composite alloys]. *Khimicheskoye i neftyanoye mashinostroyeniye – Chemical and oil mechanical engineering*, 1983, no. 6, pp. 28-30.
5. Spiridonova I.M., Panasyuk A.D., Sukhovaya Ye.V., Umanskiy A.P. *Stabilnost kompozitsionnykh materialov* [Composites stability]. Dnipropetrovsk, Svidler Publ., 2011. 244 p.
6. Sukhovaya Ye.V., Syrovatko Yu.V. Kvantovomekhnicheskaya model formirovaniya zon kontaktnogo vzaimodeistviya v kompozitsionnykh materialakh so sfericheskim napolnitelem [Quantum-mechanical model of contact interaction zones formation of composites strengthened with spherical filler]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 37, pp. 238-243.
7. Sukhovaya Ye.V., Syrovatko Yu.V. Vliyaniye P i Mo na formirovaniye granits razdela v kompozitsionnykh materialakh [Influence of P and Mo on interface formation of (Fe-B-C)-based composites]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana*, 2011, issue 37, pp. 238-243.

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

- rovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 34, pp. 219-225.
8. Yuzvenko Yu.A., Frumin Ye.I., Pashchenko M.A. Sfericheskiy relit. Sposob polucheniya i svoystva [Spherical relit. Fabrication method and properties]. *Poroshkovaya metallurgiya – Powder metallurgy*, 1975, no. 7, pp. 1-5.
  9. Berns H., Fischer A. Microstructure of Fe–Cr–C hardfacing alloys with additions of Nb, Ti, and B. *Metallurgy*, 1987, vol. 20, pp. 401-429. doi: 10.1016/0026-0800(87)90017-6.
  10. Callister Jr.W.D. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. New York, John Wiley & Sons, Inc. Publ., 2003. 867 p. doi: 10.1108/acmm.2000.12847aae.001.
  11. Mukhopadhyay N.K., Murthy G.V.S., Weatherly B.S. *Alloys Compounds*. Singapore, World Scientific Publ., 2002. 206 p.
  12. Carreno-Morelli E., Cutard T., Schaller R., Bonjour C. Processing and characterization of aluminum-based metal matrix composites produced by gas pressure infiltration. *Materials Science and Engineering*, 1998, no. A 251, pp. 48-57. doi: 10.1016/S0921-5093(98)00649-2.
  13. Sukhova O.V., Spyrudonova I.M. Corrosion-resistant Fe–B–C alloys. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Fizyka. Radioelektronika* [Bulletin of Dnipropetrovsk University. Physics. Radio Electronics], 2011, vol. 19, no. 2, pp. 62-65.
  14. Sukhova O. V., Spyrudonova I. M. High performance composites. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Fizyka. Radioelektronika* [Bulletin of Dnipropetrovsk University. Physics. Radio Electronics], 2012, vol. 20, no. 2, pp. 78-81.

*Статья рекомендована к публикации д.физ.-мат.н., проф. В. Ф. Башевым (Украина); д.т.н., проф. И. А. Вакуленко (Украина); д.т.н., проф. В. О. Заблудовским (Украина)*

Поступила в редколлегию: 20.08.2014

Принята к печати: 23.10.2014

## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

УДК [536.24:004.94]:[725.1:613.47-026.912]

М. В. ШАПТАЛА<sup>1\*</sup>, Д. Е. ШАПТАЛА<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Теплотехника», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел.+ 38 (056) 373 15 87, эл. почта maxshaptala@gmail.com, ORCID 0000-0002-1235-1073

<sup>2\*</sup>Каф. «Теплотехника и газоснабжение», Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24 а, Днепропетровск, Украина, 49600, тел. +38 (0562) 46 93 49, +38 (0562) 47 17 22, эл. почта darja-osestjanskaja@ Rambler.ru, ORCID 0000-0002-1045-0801

### РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССООБМЕНА ОТКРЫТОГО ПЛАВАТЕЛЬНОГО БАССЕЙНА

**Цель.** В настоящее время эксплуатация открытых плавательных бассейнов часто оказывается нерентабельной и, несмотря на их востребованность, такие бассейны массово закрываются. Проблема состоит в том, что на данный момент не существует цельной математической модели определения, которая бы позволила качественно оценивать эффект от проведения энергосберегающих мероприятий. Целью данной работы является разработка математической модели процессов тепло- и массообмена открытого плавательного бассейна для расчета основных тепловых и массовых потерь, имеющих место при его эксплуатации. **Методика.** Используется методика определения тепловых и массовых потерь на основе критериальных уравнений теории подобия. **Результаты.** Проанализированы основные виды потерь теплоты и массы открытого бассейна, из них выделены и математически описаны наиболее значимые: за счет испарения воды с поверхности бассейна, за счет естественной и вынужденной конвекции, за счет излучения в окружающую среду, расхода теплоты на нагрев подпиточной воды. **Научная новизна.** Разработана математическая модель процессов тепло- и массообмена открытого плавательного бассейна, которая позволяет рассчитывать основные тепловые и массовые потери, имеющие место при его эксплуатации. **Практическая значимость.** Разработана и реализована в виде программного комплекса методика определения массовых и тепловых потерь открытого плавательного бассейна, основанная на предложенной авторами математической модели. Данная методика может быть использована для концептуального проектирования энергоэффективных конструкций открытых бассейнов для оценки энергозатратности их использования и выбора оптимальных энергосберегающих мероприятий. Дальнейшим этапом научных исследований по данному направлению является экспериментальная проверка достоверности разработанной методики расчета тепловых потерь открытого плавательного бассейна при его эксплуатации на примере бассейна Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. Бассейн открытый, с подогревом воды от университетской котельной, эксплуатируется круглогодично.

**Ключевые слова:** математическая модель; массовые и тепловые потери; открытый плавательный бассейн; интенсивность испарения; фактор активности; естественная и вынужденная конвекция

#### Введение

В связи с регулярным ростом цен на топливные ресурсы и согласно государственной политике Украины по энергосбережению необ-

ходимо разрабатывать мероприятия по снижению энергозатрат в коммунально-бытовом секторе страны. В частности, значительные тепловые нагрузки требуются на обеспечение работы

## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

открытых плавательных бассейнов в учебных заведениях, спортивных комплексах, оздоровительных организациях и пр. В связи с этим, эксплуатация открытых бассейнов часто не рентабельна и, не смотря на их востребованность, такие бассейны массово закрываются. Проблема состоит в том, что на данный момент времени не существует цельной математической модели определения тепловых потерь открытых плавательных бассейнов, которая бы позволила качественно оценивать эффект от проведения энергосберегающих мероприятий [1].

При оценке тепловых потерь в открытом плавательном бассейне, которая была проведена в работе [3], учитывались потери только за счет естественной и вынужденной конвекции. Однако, известно [13], что основные потери теплоты как открытых, так и закрытых бассейнов, обусловлены испарением воды и составляют от 50 до 70 % общих тепловых потерь. Кроме этого, имеют место другие тепловые потери. В целом, теплотопотери открытого бассейна при его эксплуатации включают:

1. Потери теплоты за счет испарения воды с поверхности бассейна.
2. Потери теплоты за счет естественной и вынужденной конвекции.
3. Потери теплоты за счет излучения в окружающую среду.
4. Расход теплоты на нагрев подпиточной воды.
5. Потери теплоты в грунт. Данные тепловые потери для заглубленных в грунт открытых бассейнов принимают во внимание только при первоначальном подогреве воды, когда происходит прогрев примыкающих элементов бассейна и грунта. При длительной эксплуатации они аккумулируют теплоту, вследствие чего эти потери существенно снижаются.

### Цель

Цель работы – разработка математической модели процессов тепломассобмена открытого плавательного бассейна, которая позволит определять основные тепловые потери, имеющие место при его эксплуатации.

### Методика

Используется методика определения тепловых и массовых потерь на основе критериальных уравнений теории подобия.

*Разработка методики расчета тепловых потерь открытого бассейна.* Разрабатываемая методика основана на определении массовых и тепловых потерь с помощью эмпирических и критериальных уравнений теории тепло- и массообмена.

*Тепловые потери за счет испарения воды.* Наибольшие тепловые потери, при эксплуатации бассейнов, наблюдаются за счет испарения воды с поверхности бассейна. Это объясняется тем, что при этом процессе теряется теплота парообразования, которая составляет 2,33 МДж на каждый килограмм испаренной влаги. В соответствии с [11, 10] интенсивность испарения, кг/ч, с поверхности открытого бассейна в период бездействия составляет:

$$W_{\sigma} = \frac{(320,4 + 281,52 v)}{r} F (P_{ж} - P_{в}), \quad (1)$$

где  $v$  – скорость окружающего воздуха над поверхностью зеркала бассейна, м/с;  $r$  – теплота парообразования при температуре воды в бассейне, кДж/кг;  $F$  – площадь поверхности бассейна, м<sup>2</sup>;  $P_{ж}$  и  $P_{в}$  – давление насыщенного водяного пара при температуре поверхности воды в бассейне и температуре окружающего воздуха соответственно, кПа.

В период использования бассейна интенсивность испарения увеличивается ввиду наличия волнообразования и разбрызгивания воды, создаваемого купающимися, и может быть определена по соотношению (1) с учетом фактора активности [8, 13]:

$$W_a = W_{\sigma} \Phi_a, \quad (2)$$

где  $\Phi_a$  – фактор активности;

$$\Phi_a = 1,08 + 0,3623 n, \quad (3)$$

где  $n$  – число купающихся в бассейне на 1 м<sup>2</sup>.

Количество теплоты, теряемое с испаренной влагой, рассчитывается из соотношения, Вт:

$$Q_{исп} = W_a r 0,278, \quad (4)$$

где 0,278 – переводной коэффициент;  $r$  – удельная теплота испарения жидкости, кДж/кг. Величина  $r$  зависит от температуры воды в бассейне ( $t_{в}$ ), и ее можно определить по следующей эмпирической формуле, предложенной М. И. Фильнеем [5, 7]:

## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

$$r = 2\,500 - 2,38 t_B. \quad (5)$$

Тепловые потери за счет естественной и вынужденной конвекции. Тепловые потери за счет естественной конвекции определяются исходя из критериального уравнения [9]:

$$\overline{Nu}_{e,k} = \begin{cases} 0,54 Ra^{\frac{1}{4}}, & \text{при } 10^4 \leq Ra \leq 10^7 \\ 0,15 Ra^{\frac{1}{3}}, & \text{при } 10^7 \leq Ra \leq 10^{11} \end{cases}, \quad (6)$$

где  $\overline{Nu}_{e,k}$  – критерий подобия Нуссельта для естественной конвекции;  $Ra$  – число Рэлея, безразмерное число, определяющее поведение жидкости под воздействием градиента температуры.

Тепловые потери за счет вынужденной конвекции. Рассматривается невозмущенный режим течения вдоль плоской поверхности [6].

При ламинарном режиме движения  $Re < 5 \cdot 10^5$ :

$$\overline{Nu}_{e,k} = 0,664 Re^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}}. \quad (7)$$

При турбулентном режиме  $Re > 5 \cdot 10^5$ :

$$\overline{Nu}_{e,k} = 0,037 Re^{\frac{4}{5}} Pr^{\frac{1}{3}}, \quad (8)$$

где  $\overline{Nu}_{e,k}$  – критерий подобия Нуссельта для вынужденной конвекции.

В последствие, величина тепловых потерь за счет конвекции рассчитывается по закону Ньютона-Рихмана, Вт [4]:

$$Q_k = \alpha_k F (t_B - t_{возд}), \quad (9)$$

где  $t_B$  и  $t_{возд}$  – температуры поверхности воды и потока воздуха соответственно, °С;  $\alpha_k$  – суммарный коэффициент теплоотдачи конвекцией, который определяется как сумма коэффициентов теплоотдачи при естественной конвекции

$\alpha_{e,k}$  и вынужденной конвекции  $\alpha_{e,k}$ ,  $\frac{Вт}{м^2 \times ^\circ С}$ :

$$\alpha_k = \alpha_{e,k} + \alpha_{e,k}. \quad (10)$$

При этом

$$\alpha_{e,k} = \frac{\overline{Nu}_{e,k} \lambda}{l}, \quad (11)$$

$$\alpha_{e,k} = \frac{\overline{Nu}_{e,k} \lambda}{l}, \quad (12)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности воды,  $\frac{Вт}{м \times ^\circ С}$ ;  $l$  – длина поверхности теплообмена в направлении потока воздуха, м.

Тепловые потери за счет излучения в окружающую среду. Количество теплоты, отдаваемое поверхностью воды за счет излучения, определяется по формуле [5], Вт:

$$Q_l = \varepsilon_n C_0 F \left[ \left( \frac{T_B}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{возд}}{100} \right)^4 \right] \Psi, \quad (13)$$

где  $\varepsilon_n$  – приведенная степень черноты системы;  $C_0$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела,  $\frac{Вт}{м^2 \times К^4}$ ;  $T_B$  и  $T_{возд}$  – температуры поверхности воды и потока воздуха соответственно, К;  $\Psi$  – угловой коэффициент.

Расход теплоты на нагрев подпиточной воды. Согласно [2] на пополнение плавательного бассейна необходимо подавать в среднем за сутки подготовленную воду в объеме 10 % от емкости бассейна. Таким образом, необходимое количество подпиточной воды в сутки определяется, кг:

$$dm = V \rho \theta, \quad (14)$$

где  $V$  – объем бассейна, м<sup>3</sup>;  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

Кроме этого, необходимо включать в состав подпиточной воды объем испарившейся воды, поэтому количество теплоты, необходимое для нагрева подпиточной воды определяется следующим образом, Вт:

$$Q_{подн} = (dm + W_a \rho) (t_B - t_{возд}) C_p, \quad (15)$$

где  $C_p$  – удельная теплоемкость воды,  $\frac{Дж}{кг \times ^\circ С}$ .

Суммарные тепловые потери при эксплуатации открытого плавательного бассейна. Таким образом, суммарные тепловые потери открытого бассейна составляют, Вт:

$$Q_{сумм} = Q_{исп} + Q_k + Q_l + Q_{подн}. \quad (16)$$

## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

**Результаты**

Проанализированы основные виды потерь теплоты и массы открытым бассейном и из них выделены и математически описаны наиболее значимые: за счет испарения воды с поверхности бассейна, за счет естественной и вынужденной конвекции, за счет излучения в окружающую среду, расход теплоты на нагрев подпиточной воды.

**Научная новизна и практическая значимость**

Разработана математическая модель тепло-массообменных процессов открытого плавательного бассейна, которая позволяет рассчитывать основные тепловые потери, имеющие место при его эксплуатации. Разработана методика определения массовых и тепловых потерь открытого плавательного бассейна, основанная на предложенной авторами математической модели. Методика реализована в виде программного комплекса и позволяет производить расчеты, с помощью которых можно оценивать энергозатратность использования открытого бассейна и определять степень эффективности энергосберегающих мероприятий.

**Выводы**

Дальнейшим этапом научных исследований по данному направлению является экспериментальная проверка достоверности разработанной методики расчета тепловых потерь открытого плавательного бассейна при его эксплуатации на примере бассейна ДНУЖТ им. ак. Лазаряна. Бассейн открытый, с подогревом воды от университетской котельной, эксплуатируется круглогодично.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Габрінець, В. О. Шляхи підвищення ефективності енергетичних підрозділів залізничного транспорту / В. О. Габрінець, Є. В. Христян, І. В. Титаренко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 41. – С. 187–190.
2. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація. – Введ. 01.03.2013. – Київ : Мінергіон України, 2013 – 104 с.
3. Ивин, В. Ф. Энергосбережение при эксплуатации открытых плавательных бассейнов / В. Ф. Ивин, Б. Е. Боднар // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 5 (47). – С. 40–46.
4. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – Москва : Энергия, 1977. – 343 с.
5. Нестеренко, А. В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха / А. В. Нестеренко. – Москва : Высш. шк., 1971. – 460 с.
6. Уонг, Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров : справочник / Х. Уонг. – Москва : Атомиздат, 1979. – 216 с.
7. Чиркин, В. С. Теплофизические свойства веществ / В. С. Чиркин. – Москва : Физматгиз, 1959. – 356 с.
8. Almanza, R. Energy requirements for a swimming pool through a water-atmosphere energy balance / R. Almanza, J. Lara // Solar Energy. – 1994. – Vol. 53. – Iss. 1. – P. 37–39. doi:10.1016/S0038-092X(94)90602-5.
9. Bejan, A. Heat Transfer Handbook / A. Bejan, D. A. Kraus. – New-York : John Wiley & Sons Ltd., 2003. – 1488 p.
10. Jones, R. Measurement and Analysis of Evaporation from an Inactive Outdoor Swimming Pool / R. Jones, Charles C. Smith, G. Löf // Proc. of the 1993 Annual Conf. of the American Solar Energy Society. – Washington D.C., 1993. – 245 p.
11. Jones, R. Measurement and Analysis of Evaporation From an Inactive Outdoor Swimming Pool / R. Jones, C. Charles Smith, G. Löf // Solar Energy. – 1994. – Vol. 53. – Iss. 1. – P. 3–7. doi: 10.1016/S0038-092X(94)90597-5.
12. Jones, R. Rates of Evaporation from Swimming Pools in Active Use / R. Jones, Charles C. Smith, G. Löf // American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers Transactions. – 1998. – Vol. 104. – 514 p.
13. Reducing swimming pool heat loss / E Source Companies LLC/1986-2011/ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mge.com/images/PDF/Brochures/residential/ReducingSwimmingPoolHeatLoss.pdf>. – Загл. с экрана. – Проверено : 23.04. 2014.

М. В. ШАПТАЛА<sup>1\*</sup>, Д. Є. ШАПТАЛА<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Теплотехніка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87, ел. пошта maxshaptala@gmail.com, ORCID 0000-0002-1235-1073

<sup>2\*</sup>Каф. «Теплотехніка та газопостачання», Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24а, Дніпропетровськ, Україна, 49600, тел. +38 (0562) 46 93 49, +38 (0562) 47 17 22, ел. пошта darja-osetjanskaja@rambler.ru, ORCID 0000-0002-1045-0801

## РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОМАСООБМІНУ ВІДКРИТОГО ПЛАВАЛЬНОГО БАСЕЙНУ

**Мета.** В даний час експлуатація відкритих плавальних басейнів часто виявляється нерентабельною і, не дивлячись на їх затребуваність, такі басейни масово закриваються. Проблема полягає в тому, що на даний момент не існує цілісної математичної моделі, яка б дозволила якісно оцінювати ефект від проведення енергозберігаючих заходів. Метою даної роботи є розробка математичної моделі процесів тепло- і масообміну відкритого плавального басейну для розрахунку основних теплових і масових втрат, що мають місце при його експлуатації. **Методика.** Використовується методика визначення теплових і масових втрат на основі критеріальних рівнянь теорії подібності. **Результати.** Проаналізовано основні види втрат теплоти і маси відкритого басейну, з них виділені і математично описані найбільш значущі: за рахунок випаровування води з поверхні басейну, за рахунок природної і вимушеної конвекції, за рахунок випромінювання в навколишнє середовище, витрати теплоти на нагрів підживлювальної води. **Наукова новизна.** Розроблено математичну модель процесів тепло- і масообміну відкритого плавального басейну, яка дозволить розраховувати основні теплові і масові втрати, що мають місце при його експлуатації. **Практична значимість.** Розроблена та реалізована у вигляді програмного комплексу методика визначення масових і теплових втрат відкритого плавального басейну, яка заснована на запропонованій авторами математичній моделі. Дана методика може бути використана для концептуального проектування енергоефективних конструкцій відкритих басейнів, для оцінки енерговитратності їх використання та вибору оптимальних енергозберігаючих заходів. Подальшим етапом наукових досліджень по даному напрямку є експериментальна перевірка достовірності розробленої методики розрахунку теплових втрат відкритого плавального басейну при його експлуатації на прикладі басейну Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Басейн відкритий, з підгрівом води від університетської котельні, експлуатується цілий рік.

**Ключові слова:** математична модель; масові та теплові втрати; відкритий плавальний басейн; інтенсивність випаровування; фактор активності; природна і вимушена конвекція

M. V. SHAPTALA<sup>1\*</sup>, D. E. SHAPTALA<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Heat Engineering», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 87, e-mail maxshaptala@gmail.com, ORCID 0000-0002-1235-1073

<sup>2\*</sup>Dep. «Heat Engineering and Gas Supply», Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Chernyshevskiy St., 24a, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600, tel. + 38 (0562) 46 93 49, +38 (0562) 47 17 22, e-mail darja-osetjanskaja@rambler.ru, ORCID 0000-0002-1045-0801

## MATHEMATICAL MODEL DEVELOPMENT OF HEAT AND MASS EXCHANGE PROCESSES IN THE OUTDOOR SWIMMING POOL

**Purpose.** Currently exploitation of outdoor swimming pools is often not cost-effective and, despite of their relevance, such pools are closed in large quantities. At this time there is no the whole mathematical model which would allow assessing qualitatively the effect of energy-saving measures. The aim of this work is to develop a mathematical model of heat and mass exchange processes for calculating basic heat and mass losses that occur during its exploitation. **Methodology.** The method for determination of heat and mass losses based on the theory of similarity criteria equations is used. **Findings.** The main types of heat and mass losses of outdoor pool were analyzed. The most significant types were allocated and mathematically described. Namely: by evaporation of water from the surface of the pool, by natural and forced convection, by radiation to the environment, heat consumption for water heating.

## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

**Originality.** The mathematical model of heat and mass exchange process of the outdoor swimming pool was developed, which allows calculating the basic heat and mass losses that occur during its exploitation. **Practical value.** The method of determining heat and mass losses of outdoor swimming pool as a software system was developed and implemented. It is based on the mathematical model proposed by the authors. This method can be used for the conceptual design of energy-efficient structures of outdoor pools, to assess their use of energy-intensive and selecting the optimum energy-saving measures. A further step in research in this area is the experimental validation of the method of calculation of heat losses in outdoor swimming pools with its use as an example the pool of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. The outdoor pool, with water heating-up from the boiler room of the university, is operated year-round.

**Keywords:** mathematical model; mass and heat losses; outdoor swimming pool; evaporation rate; factor activity; natural and forced convection

## REFERENCES

1. Habrinets V.O., Khrystian Ye.V., Tytarenko I.V. Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti enerhetychnykh pidrozdilov zaliznychnoho transportu [Ways to improve the energy units' efficiency of railway transport]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 41, pp. 187-190.
2. *DBN V.2.5-64:2012. Vnutrishnii vodoprovod ta kanalizatsiia*. [Plumbing and sewage system]. Kyiv, Minrehion Ukrainy Publ., 2013. 104 p.
3. Ivin V.F., Bodnar B.Ye. Energoberezheniye pri ekspluatatsii otkrytykh plavatelnykh basseynov [Energy saving at operation of outdoor swimming pool]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 5 (47), pp. 40-46.
4. Mikheyev M.A., Mikheyeva I.M. *Osnovy teploperedachi* [Heat transfer principles]. Moscow, Energiya Publ., 1977. 343 p.
5. Nesterenko A.V. *Osnovy termodinamicheskikh raschetov ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha* [Fundamentals of thermodynamic calculations of air ventilation and conditioning]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1971. 460 p.
6. Uong Kh. *Osnovnyye formuly i dannyye po teploobmenu dlya inzhenerov* [The basic formulas and data on heat exchange for engineers]. Moscow, Atomizdat Publ., 1979. 216 p.
7. Chirkin V.S. *Teplofizicheskiye svoystva veshchestv* [Thermophysical properties of substances]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1959. 356 p.
8. Almanza R., Lara J. Energy requirements for a swimming pool through a water-atmosphere energy balance. *Solar Energy*, 1994, vol. 53, issue 1, pp. 37-39. doi: 10.1016/S0038-092X(94)90602-5.
9. Bejan A., Kraus D.A. *Heat Transfer Handbook*. New-York, John Wiley & Sons Ltd., 2003. 1488 p.
10. Jones R., Smith Charles C., Löf G. Measurement and Analysis of Evaporation from an Inactive Outdoor Swimming Pool. Proc. of the 1993 Annual Conf. of the American Solar Energy Society. Washington D.C., 1993. p. 245.
11. Jones R., Smith Charles C., Löf G. Measurement and Analysis of Evaporation from an Inactive Outdoor Swimming Pool. *Solar Energy*, 1994, vol. 53, issue 1, pp. 3-7. doi: 10.1016/S0038-092X(94)90597-5.
12. Jones R., Smith Charles C., Löf G. Rates of Evaporation from Swimming Pools in Active Use. *American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers Transactions*, 1998, vol. 104, p. 514.
13. Reducing swimming pool heat loss. E Source Companies LLC/1986-2011/. Available at: <http://www.mge.com/images/PDF/Brochures/residential/ReducingSwimmingPoolHeatLoss.pdf> (Accessed 23 April 2014).

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. Ф. Иродовым (Украина); д.т.н., проф. Н. Н. Беляевым (Украина)

Поступила в редколлегию: 20.08.2014

Принята к печати: 23.10.2014

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

UDC 629.423.018-027.45

V. L. GOROBETS<sup>1</sup>, O. M. BONDAREV<sup>2\*</sup>, V. M. SKOBLENKO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dep. «Structural Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 08, e-mail onildpps@gmail.com, ORCID 0000-0002-6537-7461

<sup>2\*</sup>Dep. «Structural Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 08, e-mail bondam286@gmail.com, ORCID 0000-0003-4791-5358

<sup>3</sup>State Administration of Ukrainian Railway Transport, Tverska St., 5, Kyiv, Ukraine, 150, tel./fax + 38 (044) 465 13 51, e-mail crpzzr@ukr.net, ORCID 0000-0003-1153-0827

### OPERATION CHARACTERISTICS OF ELECTRIC TRAINS ER1, ER2 BEYOND DESIGNED SERVICE LIFE

**Purpose.** The aim is to develop the scientific substantiation technical regulation of measures and conditions in electric trains, series ER1, ER2 beyond the extended period of operation life (over 50 years). **Methodology.** To achieve this goal the scientific publications analysis on the survivability of the basic elements of supporting constructions that are loaded with dynamic alternating loads was carried out. The results analysis of vibration bench tests of bogie frames of electric trains ER1, ER2, which were obtained by using the developed technique for such tests with authors, was carried out too. Technical solutions with appropriate measures under which it is possible to extend the operation life of bearing structures of electric trains ER1 and ER2 were developed over 50 years. **Findings.** Results were obtained on the complex basis of conducted experimental and theoretical research. They have promoted to the working out the methodology for assessing the period of crack development in the tensest points of main bearing structures of bogie frames and bodies of electric trains ER1, ER2 with achieving their dangerous sizes. This allowed developing a technical regulation measures to ensure the safe operation of the main bearing structures of bogie frames and bodies of electric trains ER1, ER2 beyond 50 years. **Originality.** To ensure the safe trains operation, series ER1, ER2 the method estimation of crack development term in the tensest points of bearing structures of bogie frames and bodies with achieving their dangerous sizes was worked out. **Practical value.** The technical regulation of measures ensuring the safe operation of the main bearing structures of bogie frames and bodies of electric trains ER1, ER2 beyond 50 years was developed.

*Keywords:* bogies; body; computational models; experimental studies; theoretical calculations; electric trains ER1; ER2; stability factor

#### Introduction

As of the current day the specified operation life of the electric trains, series ER1 and ER2 is extended up to 50 year [5, 7–8]. In order to identify safe operation opportunities of the bearing structures (BS) of individual elements of bogie frames and electric trains bodies, series ER1 and ER2 with operation term more than 50 years the analysis of damage causes of bearing structures of rolling

stock, which are operated on the railways of Ukraine exceeding the required service time [2, 5, 7–8] was conducted. The main causes of damage are as follows:

1. The presence of extraneous impurities in the base metal of a structure or weld joint, improper performance of weld joints;
2. Unsuccessful design of the bearing structures of the rolling stock;

3. Destruction initiation on the point of effort or BS strength renovation;

4. Incorrect technological intervention in the design of rolling stock;

5. Effect of aggressive environment and seasonal changes in temperature on the bearing structures of rolling stock.

### Purpose

The aim is the scientific substantiation development of the technical regulation relatively to conditions and measures during the operation of electric trains, series ER1, ER2 beyond the continuous operation life.

### Methodology

To achieve this goal – the scientific substantiation of technical regulations development concerning measures during the operation of electric trains, series ER1, ER2 beyond the continuous operation life (over 50 years) the following actions have been conducted: the scientific publications analysis on the survivability matter of the main elements of bearing structures, which are loaded with dynamic alternating loads [6, 9-14]; The results analysis of the bench vibration tests of bogies frame of electric trains ER1, ER2 was carried out [8]; they had been obtained on the basis of the developed procedure of such tests involving authors' studies and their appropriate scientific support; technical solutions with appropriate measures when it is possible to extend the operation life of the bearing structures of electric trains EF1 and ER2 over 50 years were developed.

Thus, in order to ensure the safe operation of electric trains, series ER2 and ER1 over 50 years it is necessary to develop a calculation method for such operation term, during which in the tensest points of bearing structures of bogies frames and bodies frames the cracks initiation is possible and development with achieving their dangerous sizes. In accordance with date based calculations this technique let the opportunity establish the inspection frequency of bearing structures state of bogies frames and bodies of pointed units of rolling stock and take early actions which will encourage their safe operation.

### Findings

*The general patterns of crack growth in the bogies frames destruction of electric trains ER1 and*

doi 10.15802/stp2014/33760

*ER2.* From the safety movement viewpoint of motor car units of rolling stock (MCRS) the issues related to parameters determination of elements survivability of bearing structures their bogie frames and cars that have long-term operation are of current importance [1–4]. At present, a great number of publications on the issues related to survivability analysis of different designs elements [11–14].

In this paper the results of the fulfilled comprehensive research are presented. In it the stress-strain state in the most loaded elements of bearing structures of MCRS bogie frames during the crack initiation phase, their development in the actual designs is analyzed. They were observed during the vibration bench tests performance [5, 7–8].

Discussing bearing structures behavior under variable load impact one cannot raise the problems concerning macroscopic cracks behavior since their appearance when structure has lost its bearing capacity.

The origin of cracks in metals has a physical basis, which is related to its behavior on submicroscopic level of material structure, where all metals have monocrystalline structure, but with some imperfection in the form of vacancies and dislocations.

In the mechanical stress area dislocations can interact and move around. The most probable movement is shift or slip of crystalline layers relative to each other, the greatest sensitivity to load is at angle of 45° to the direction of the load action. During this process, the dislocation lines are bound to move to the crystal surface, where they can be seen as microscopic strips, namely slip strips, on which grooves act as microcracks nucleation centers that propagate along the intergranular boundaries. These cracks are most sensitive to the stress components directed at an angle of 90° to the cracks surface. They will grow spasmodically under the cyclic load effect.

Let us consider a small flat crack that goes from the surface. Local stress distribution can be described in a local coordinate system where x- and z- axis are perpendicular to the crack front line, as shown in the Fig. 1.

Expressing the linear equation of strains and stresses link in polar coordinates ( $r, \theta$ ) and assuming that these variables are independent, local stress components can be written as

$$\sigma_{ij} = R(r)\Theta_{ij}(\theta) \quad (1)$$

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

On the surfaces, the position of which is determined  $\theta = \pm\pi$  relatively to the crack growth direction both the normal stresses and tangential one are zero.

The parameter describing stress which explains this requirement should have a radial view function

$$R(r) = r^{\frac{n}{2}-1}, \quad (2)$$

where  $n$  – is zero value or the whole number. Real value will be  $n = 1$ , which gives a singularity in the crack front with order  $-1/2$ .



Fig. 1. The coordinates describing the dependence between the local deformations and stresses in the crack tip front

For this value the stress components can be written as

$$\sigma_{ij} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \Theta_{ij}(\theta) \quad (3)$$

here  $\sqrt{2\pi}$  – is normalizing factor, introduced for convenience. Coefficient  $K$ , common to all stress components, means intensity of stress. It depends on crack shape and tensor orientation of nominal stress and proportional to the prevailing component and nominal stress, that is determined as  $\sigma_\infty$ .

In some special cases, the stress intensity  $K$  can be derived analytically using integration of complex function. For a long flat crack in metal sheet, length  $2x$ , perpendicular to longitudinal tension, components of local stress are

$$\sigma_{ij} = \sqrt{\frac{\chi}{2r}} \sigma_\infty \Theta_{ij}(\theta); \quad K = \sqrt{\pi\chi} \sigma_\infty. \quad (4)$$

Then, even if nominal stress  $\sigma_\infty$  are small, local stress components  $\sigma_{ij}$  in crack front at  $r = 0$  can be extremely high. Theoretically, they can be much higher than tensile material strength.

This heterogeneity in the field of stress can lead to material destruction in a very small region near the crack tip and thus increase this crack. However, if stress is small, this heterogeneity will be nullified when the crack front increases to a distance comparable to the size of a grain.

The basic assumption of destruction mechanics is that crack growth is associated with changes in stress intensity  $K$ . Stress cycle determines the maximum  $K_{max}$  and minimum stress intensity  $K_{min}$ , with the stress intensity range

$$\Delta K = K_{max} - K_{min}$$

One cycle increases crack depth  $x$  on small quantity  $\Delta x$ :

$$\Delta x = \begin{cases} C(\Delta K)^m \uparrow \Delta K > \Delta K_0 \\ 0 \quad \uparrow \Delta K \leq \Delta K_0 \end{cases}. \quad (5)$$

This expression is known as the law of cracks development Paris-Erdogan. Here  $C$ ,  $m$  and  $K_0$  – are empirical constants, obtained from laboratory tests. If one will build view of graphical dependency according to correlation (5), we will receive diagram type corresponding to Wohler's diagram, in a famous Palmhrena-Meiner method. Curve or diagram  $da/dN$  can be called the curve, which shows an increase of crack length per cycle as  $a$ . The crack length  $a$  serves to describe semi-elliptical cracks, where  $a$  and  $b$  mean long and short semiaxis.  $a$  – describes the depth of cracks, a  $2b$  – is crack opening.

Since the curve of crack growth is connected only with the characteristics of the material, and not with specific geometric features, the sample may be small, but load frequency is high, often in the audio frequency range. While conducting measurements on one sample, one can obtain some points of curve  $da/dN$  in a short time. Wohler diagram, on the contrary, is connected both with the material and the detail form, so in order to get just one point on this curve, it is necessary to test one sample before destruction. Consequently, the analysis of crack growth for solving the problem is more acceptable than the classic fatigue tests.

*Calculated ratio for crack resistance evaluation of bogie frames electric trains ER1, ER2.* During test bench vibration of bogie frames of electric trains ER1 and ER2, they were brought to the loss of bearing capacity [7–8]. Thus, the test results

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

provide information both on their designs endurance and resistance to their destruction.

Depending on the location of the strain gage, in the process of crack growth, stress may increase (Fig. 2), when the gage is on the way of crack growth, it decreases (Fig. 2, *b*); when the crack passes it by and unloads a part of construction, or it can remain insensitive to crack growth (Fig. 2, *c*). In any case, the value change in stress at the same excitation force may indicate about presence of cracks that is growing.

At the same excitation force crack growth time may be evaluated as follows

$$\tau_{3\min} = \min\left(\frac{N_{3i}}{N_c} T_c\right) \quad (6)$$

where  $\tau_3$  – crack growth time;  $N_{3i}$  – is load cycles quantity when level change of  $i$  gage of strain occurs;  $N_c$  – is total quantity of load cycles before bearing capacity losses by the bogie frame no.  $T_c$  – is calculated time of operation at  $N_c$  load cycles of structure.

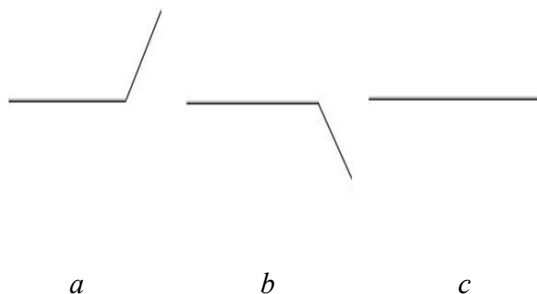


Fig. 2. Possible stress behavior in the elements of structure in the tests process at different location of strain gage relatively to the crack

For the bogie frames, in accordance with the above mentioned, time evaluation of the structure destruction was carried out. It was foreseen that in each case of the test they had stopped under abrupt change of structure reaction on stress. It means losing the bearing capacity by it. Calculations results (in normal climatic environment) are presented in the Table 1.

Besides one should consider two factors that effect on crack growth rate:

- Asymmetry of stress cycle;
- Environment temperature.

doi 10.15802/stp2014/33760

Table 1

**Evaluation of the resistance period to the destruction of the bogie frames of electric trains ER12, ER2**

№	№ bogie frames	$N_{3i}$	$N_c$	$T_c$ , years in	$\tau_3$ , years
1	2	3	4	5	6
1	385	51 034	524 309	15	1.46
2	427	198 450	1 393 951	15	2.14
3	40	–	1 004 400	15	–
4	170	180 000	580 000	15	4,66
5	397	251 200	1 455 440	15	2.59

During test performance stress has been supported similar to operating regime of the structure under standard load.

Concerning the environment temperature, results of previous research have showed, that in the cold period of a year crack growth rate decreases approximately on 60%. At the same time, critical crack length in the winter period decreases practically in four times. That is why in the winter period (at -30°C) the crack may develop up to critical level approximately in 4-5 months.

Thus, the conducted estimation to destruction resistance of bogie frames of electric trains, series ER1 and ER2 allows making the following conclusions:

1. Hypothetically, in the winter period crack can develop up to a critical level approximately in 4-4.5 months.

2. Inspection of bearing structures state of bogie frames is reasonable to perform two times per year: the first is auxiliary – during the month from the second part of October; the other, primary, – during the month, from the second part of March.

3. To keep inspection schedule both for bodies of electric trains and bogie frames.

### Originality and practical value

To ensure the safe operation of electric trains, series ER1, ER2 the method to assess the term of the cracks development in the most intence points in bearing structures of bogie frames and bodies with achieving their dangerous sizes and technical regulation measures to ensure the safe operation exceeding 50 years was developed.

*Technical regulation and technical decisions development upon operation time continuous of*

© V. L. Gorobets, O. M. Bondarev, V. M. Skoblenko, 2014

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

*main bearing structures of electric trains, series ER1, ER2.* For ensuring safety operation of pointed items of rolling stock by railway men in motor car depot the proper measures had to be taken during repair. Content of these measures, on the base of above mentioned results and conclusions, was summarized in the form of developed technical regulation concerning bearing structures operation of electric trains, series ER1, ER2.

This regulation is based on the following positions:

1. Electric trains ER1, ER2 operation during the period after expiration of their operation terms (that are scientifically grounded and specified) is continued individually for every car of the electric train on their factual state.

2. Works regulation concerning support of efficient state of electric trains bearing structures (bogie frames, body frames) is created on the base of step-by-step prolongation methods of their service term.

3. Frequency, seasonal prevalence and inspection volumes are determined on the base of bench vibration tests results of bogie frames of electric trains ER1, ER2.

*Frequency determination, seasonal prevalence and inspection volumes of load-bearing structures of electric trains ER1, ER2.* For features comparison of crack development support we will take conditionally, that crack in the winter period develops quicker in four times, in spring and autumn period and when the temperature  $-30^{\circ}$  is kept during three winter months.

Also, at monthly mean temperatures decrease below  $-30^{\circ}$ , works regulation on individual extension of cars service term of electric trains has to be correct.

Information to calculate the proper inspection frequency of bearing structures of electric trains ER1, ER2 is presented in the Table 2.

So, conditional quantity of months before destruction during tests in normal climatic environment two times less.

At the same time, the average period from destruction to bearing capacity loss by the structure may be 8.8 months. This is coordinated badly between routine repair maintenance.

Taking into account above mentioned material, one should suppose rational realization of annual inspection in accordance with the schedule  $1\frac{1}{2}$ , namely [8], before the winter period one should realize diagnostics of bearing structures accordingly to the schedule of step-by-step extension of

the service term upon the regulation PR3, and in spring – inspection upon the regulation PR2.

Table 2

**Information to calculate the inspection frequency of bearing structures of electric trains ER1, ER2**

№	Conditional № month	Conditional crack growth rate	Note
1	2	3	4
	1	4	Winter
	2	4	Winter
	3	4	Winter
	4	1	
	5	1	
	6	1	
	7	1	
	8	1	
	9	1	
	10	1	
	11	1	
	12	1	
	13	4	Winter
	14	4	Winter
	15	4	Winter
	16	1	
	17	1	
	18	1	
	Average rate	2	

Reparability issue of bearing structures of bogie frames and electric train's bodies, renovation of their toughness is a separate scientific issue. It is not highlighted in this paper.

Inspection frequency of bogie frames of electric trains ER1, ER2 was analyzed. It let make the following conclusions:

1. The average period from the crack occurrence to bearing capacity loss by the structure may form 8.8 months.

2. Above pointed index of bearing structures survivability of electric trains coordinate badly with routine repair maintenance.

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

3. One should suppose rational realization of an annual inspection accordingly to the schedule  $\frac{1}{2}$ , namely, before the winter period one should realize diagnostics accordingly to the schedule of step-by-step extension of the service term upon the regulation PR3, and in spring – inspection upon the regulations PR2.

4. Reparability issue of bearing structures of bogie frames and electric train's bodies, renovation of their toughness is a separate scientific issue. It is not highlighted in this paper.

### Conclusions

1. Destruction causes analysis of rolling-stock bearing structures let make the conclusions. The main destruction causes are as follows:

– The presence of extraneous impurities in to the base metal of a structure or weld joint, improper performance of weld joints;

– Unsuccessful design of the bearing structures of the rolling stock;

– Destruction initiation on the point of effort or BS strength renovation;

– Incorrect technological intervention in the design of rolling stock;

– Effect of aggressive environment and seasonal changes in temperature on the bearing structures of the rolling stock.

2. Analysis of the vibration bench tests of bogie frames of electric trains ER1 and ER2 are as follows:

– The stress level on the destruction stage of the bogie may vary.

– These changes are fixed in most parts of the studied frames.

– As a standard piece for resistance evaluation to destruction it can be taken the bogie frame of a motor car of electric trains ER1, no. 397.

– Taking into account that tests were conducted under normal climatic environment, changes in the characteristics of crack resistance should be considered separately.

3. Conducted resistance evaluation to destruction of bogie frames for electric trains ER1 and ER2 let make the following conclusions:

– Hypothetically, in the winter period crack can develop up to a critical level approximately in 4–4.5 months.

– Inspection of bearing structures state of bogie frames is reasonable to perform two times per year:

the first is auxiliary – during the month from the second part of October; the other, primary, – during the month, from the second part of March.

– To keep inspection schedule both for bodies of electric trains and bogie frames.

4. The conducted frequency evaluation of bogie frames of electric trains ER1-ER2 allows making the following conclusions:

– Average period from destruction to the loss bearing capacity by the structure may be 8.8 months.

– Above pointed survivability index of bearing structures for electric trains coordinate badly between routine repair maintenance.

– One should suppose rational realization of the annual inspection accordingly to the schedule  $\frac{1}{2}$ , namely, before the winter period one should realize diagnostics accordingly to the schedule of step-by-step extension of the service term upon the regulation PR3, and in spring – inspection upon the regulations PR2.

– Reparability issue of bearing structures of bogie frames and electric train's bodies, renovation of their toughness is a separate scientific issue. It is not highlighted in this paper.

### LIST OF REFERENCE LINKS

1. Бондарев, О. М. Визначення строку служби несучих конструкцій моторвагонного рухомого складу із застосуванням методики порівняння їх динамічної завантаженості / О. М. Бондарев, В. Л. Горобець, І. М. Грушак // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 24. – С. 18–24.
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. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 35. – С. 18–24.
3. Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций тягового подвижного состава. – Киев : Гос. администрация ж.-д. трансп. Украины, ДИИТ, 1998. – 51 с.
4. Нормы расчета и оценки прочности несущих элементов и динамических качеств экипажной части моторвагонного подвижного состава железных дорог МПС РФ колеи 1 520 мм. – Москва : ВНИИЖТ РФ, 1997. – 146 с.
5. Проведення досліджень та підготовка технічних рішень по поетапному подовженню терміну служби електропоїздів EP1, EP2 до проведення

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- їх капітально – відновлювального ремонту : звіт з НДР : тема № 91.243.02.02 / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – 97 с. – Цтех. № ДР 0103U003337. – Инв. № 153/02 – 957.02.
6. Прочность и безотказность подвижного состава железных дорог / А. Н. Савоськин, Г. П. Бурчак, А. П. Матвейчев и др. – Москва : Машиностроение, 1990. – 288 с.
  7. Розробка рекомендацій щодо збільшення ресурсу електропоїздів ЕР-1 на підставі проведення експериментально-аналітичних робіт : отчет о НИР : тема 91.126.97.98 / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 1998. – 116 с. – Инв. № 197/97 – 563.97.98.
  8. Розробка рекомендацій щодо збільшення ресурсу електропоїздів ЕР-2 на підставі проведення експериментально-аналітичних робіт : отчет о НИР : тема 91.128.97.98 / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 1998. – 112 с. – Инв. № 198/97 – 564.97.98.
  9. Borodii, M. V. Development of a constitutive model for biaxial low-cycle fatigue / M. V. Borodii, N. K. Kucher, V. A. Strizhalo // *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structure*. – 1996. – Vol. 19, № 10. – P. 1169–1179. doi: 10.1111/j.1460-2695.1996.tb00941.x.
  10. Brighenti, R. Application of the element-free Galerkin meshless method of 3-D fracture mechanics problems / R. Brighenti // *Engineering Fracture Mechanics*. – 2005. – Vol. 72. – P. 2808–2820.
  11. Freudental, A. M. Fatigue and Fracture Mechanism / A. M. Freudental // *Engineering Fracture Mechanics*. – 1973. – Vol. 15, № 2. – P. 403–414.
  12. Kozin, F. On the probabilistic modeling of fatigue crack growth / F. Kozin, J. L. Bogdanoff // *Engineering Fracture Mechanics*. – 1983. – Vol. 18, № 3. – P. 623–632. doi: 10.1016/0013-7944(83)90055-3.
  13. Lin, Y. K. On statistical moments of fatigue crack propagation / Y. K. Lin, J. N. Yang // *Engineering Fracture Mechanics*. – 1983. – Vol. 18, № 2. – P. 243–256. doi: 10.1016/0013-7944(83)90136-4.

В. Л. ГОРОБЕЦЬ<sup>1</sup>, О. М. БОНДАРЕВ<sup>2\*</sup>, В. М. СКОБЛЕНКО<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 08, ел. пошта onildpps@gmail.com, ORCID 0000-0002-6537-7461

<sup>2\*</sup>Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 08, ел. пошта bondam286@gmail.com, ORCID 0000-0003-4791-5358

<sup>3</sup>Державна адміністрація залізничного транспорту України, вул. Тверська, буд. 5, Київ, Україна, 150, тел./факс +38 (044) 465 13 51, ел. почта scrpzt@ukr.net, ORCID 0000-0003-1153-0827

## ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ ЕР1, ЕР2 ЗА МЕЖАМИ ПРИЗНАЧЕНОГО СТРОКУ СЛУЖБИ

**Мета.** У роботі необхідно провести наукове обґрунтування розробки технічного регламенту заходів та умов експлуатації електропоїздів серій ЕР1, ЕР2 за межами подовженого терміну експлуатації (понад 50 років). **Методика.** Для досягнення поставленої мети було проведено аналіз наукових публікацій з питань живучості основних елементів несучих конструкцій, які навантажуються динамічними знакозмінними навантаженнями. Також проведено аналіз результатів стендових вібраційних випробувань рам візків електропоїздів ЕР1, ЕР2, які були отримані на підставі розробленої методики проведення таких випробувань за участю авторів роботи та виконано відповідне наукове супроводження. Розроблені технічні рішення з відповідними заходами, при виконанні яких стає можливим продовжити строк експлуатації несучих конструкцій електропоїздів ЕР1 і ЕР2 понад 50 років. **Результати.** На підставі комплексу проведених експериментальних та чисельних теоретичних досліджень отримано результати, які сприяли розробці методики щодо оцінки терміну розвитку тріщин в найбільш напружених точках основних несучих конструкцій рам візків та кузовів електропоїздів ЕР1, ЕР2 з досягненням їх небезпечних розмірів. Це надало можливість розробити технічний регламент заходів, що забезпечують безпечну експлуатацію основних несучих конструкцій рам візків та кузовів електропоїздів ЕР1, ЕР2 за межами 50 років. **Наукова новизна.** Для забезпечення безпечної експлуатації електропоїздів серій ЕР1, ЕР2 розроблено методику щодо оцінки терміну розвитку тріщин в найбільш напружених точках несучих конструкцій рам візків та кузовів з досягненням їх небезпечних розмірів. **Практична значимість.** Розроблено технічний регламент заходів, що забезпечують безпечну експлуатацію основних несучих конструкцій рам візків та кузовів електропоїздів ЕР1, ЕР2 за межами 50 років.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

*Ключові слова:* візки; кузов; розрахункові моделі; експериментальні дослідження; теоретичні розрахунки; електропоїзди ЕР1, ЕР2; показники міцності

В. Л. ГОРОБЕЦ<sup>1</sup>, А. М. БОНДАРЕВ<sup>2\*</sup>, В. М. СКОБЛЕНКО<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Каф. «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 08, эл. почта onildpps@gmail.com, ORCID 0000-0002-6537-7461

<sup>2\*</sup>Каф. «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 08, эл. почта bondam286@gmail.com, ORCID 0000-0003-4791-5358

<sup>3</sup>Державна адміністрація залізничного транспорту України, вул. Тверська, буд. 5, Київ, Україна, 150, тел./факс + 38 (044) 465 13 51, эл. почта srpgr@ukr.net, ORCID 0000-0003-1153-0827

## ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ЕР1, ЕР2 ЗА ПРЕДЕЛАМИ НАЗНАЧЕННОГО СРОКА СЛУЖБЫ

**Цель.** В работе необходимо провести научное обоснование разработки технического регламента мероприятий и условий эксплуатации электропоездов серий ЭР1, ЭР2 за пределами продленного срока эксплуатации (более 50 лет). **Методика.** Для достижения поставленной цели был проведен анализ научных публикаций по вопросам живучести основных элементов несущих конструкций, которые нагружаются динамическими знакопеременными нагрузками. Также проведен анализ результатов стендовых вибрационных испытаний рам тележек электропоездов ЭР1, ЭР2, которые были получены на основании разработанной методики проведения таких испытаний с участием авторов работы и обеспечено соответствующее их научное сопровождение. Разработаны технические решения с соответствующими мерами, при выполнении которых становится возможным продлить срок эксплуатации несущих конструкций электропоездов ЭР1 и ЭР2 более 50 лет. **Результаты.** На основании комплекса проведенных экспериментальных и многочисленных теоретических исследований получены результаты, которые способствовали разработке методики оценки срока развития трещин в наиболее напряженных точках основных несущих конструкций рам тележек и кузовов электропоездов ЭР1, ЭР2 с достижением их опасных размеров. Это позволило разработать технический регламент мероприятий, обеспечивающих безопасную эксплуатацию основных несущих конструкций рам тележек и кузовов электропоездов ЭР1, ЭР2 за пределами 50 лет. **Научная новизна.** Для обеспечения безопасной эксплуатации электропоездов серий ЭР1, ЭР2 разработана методика оценки срока развития трещин в наиболее напряженных точках несущих конструкций рам тележек и кузовов с достижением их опасных размеров. **Практическая значимость.** Разработан технический регламент мероприятий, обеспечивающих безопасную эксплуатацию основных несущих конструкций рам тележек и кузовов электропоездов ЭР1, ЭР2 за пределами 50 лет.

*Ключевые слова:* тележки; кузов; расчетные модели; экспериментальные исследования; теоретические расчеты; электропоезда ЭР1, ЭР2; показатели прочности

### REFERENCES

1. Bondarev O.M., Horobets V.L., Hrushchak I.M. Vyznachennia stroku sluzhby nesuchykh konstrukttsii motorvahonnoho rukhomoho skladu iz zastosuvanniam metodyky porivniannia yikh dynamichnoi navantazhenosti [The determination of the service life of rolling stock bearing structures with using the technique of comparing their dynamic load]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 24, pp.18-24.
2. Horobets V.L., Bondarev O.M., Skoblenko V.M. Analiz ekspluatatsiinoi narobky nesuchykh konstrukttsii rukhomoho skladu v zadachakh prodovzhennia terminu yoho ekspluatatsii [Analysis of operational experience supporting structures of rolling stock in the task of extending its operation]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 35, pp. 18-24.
3. *Metodika otsenki ostatochnogo resursa nesushchikh konstrukttsiy tyagovogo podvizhnogo sostava* [Estimation method of the residual life of the bearing structures of the traction rolling stock]. Kyiv, Gosudarstvennaya administratsiya zheleznodorozhnogo transporta Ukrainy Publ., 1998. 51 p.

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

4. *Normy rascheta i otsenki prochnosti nesushchikh elementov i dinamicheskikh kachestv ekipazhnoy chasti motorvagonnogo podvizhnogo sostava zheleznykh dorog MPS RF kolei 1520 mm* [Norms for calculating and assessing the strength of bearing elements and the dynamic properties of the motor-car-wagon rolling stock of Railways, Ministry of Railways, line 1520 mm]. Moscow, VNYYZhT RF Publ., 1997. 146 p.
5. *Provedennia doslidzhen ta pidhotovka tekhnichnykh rishen po poetapnomu podovzhenniu terminu sluzhby elektrovoziv ER1, ER2 do provedennia yikh kapitalno – vidnovliuvalnoho remontu* [Research and preparation of technical solutions upon the phased extension of the service life of the electric ER1, ER2 before their overall repair conducting]. Dnipropetrovsk, DNUZT Publ., 2003. 97 p.
6. Savoskin A.N., Burchak G.P., Matveichev A.P. *Prochnost i bezotkaznost podvizhnogo sostava zheleznykh dorog* [The strength and reliability of railway rolling stock]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ, 1990. 288 p.
7. *Rozrobka rekomendatsii shchodo zbilshennia resursu elektrovoziv ER-1 na pidstavi provedennia eksperymentalno-analitychnykh robit* [Development of recommendations to increase resource of electric ER-1 on the basis of experimental and analytical work]. Dnipropetrovsk, DNUZT Publ., 1998. 116 p.
8. *Rozrobka rekomendatsii shchodo zbilshennia resursu elektrovoziv ER-2 na pidstavi provedennia eksperymentalno-analitychnykh robit* [Development of recommendations to increase resource electric ER-2 on the basis of experimental and analytical work]. Dnipropetrovsk, DNUZT Publ., 1998. 112 p.
9. Borodii M.V., Kucher N.K., Strizhalo V.A. Development of a constitutive model for biaxial low-cycle fatigue. *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structure*, 1996, issue19, no. 10, pp. 1169-1179. doi: 10.1111/j.1460-2695.1996.tb00941.x.
10. Brighenti R. Application of the element-free Galerkin meshless method of 3-D fracture mechanics problems. *Engineering Fracture Mechanics*, 2005, vol. 72, pp. 2808-2820.
11. Freudental A.M. Fatigue and Fracture Mechanism. *Engineering Fracture Mechanics*, 1973, vol. 15, no. 2, pp. 403-414.
12. Kozin F., Bogdanoff J.L. On the probabilistic modeling of fatigue crack growth. *Engineering Fracture Mechanics*, 1983, vol. 18, no. 3, pp. 623-632. doi:10.1016/0013-7944(83)90055-3.
13. Lin Y.K., Yang J.N. On statistical moments of fatigue crack propagation. *Engineering Fracture Mechanics*, 1983, vol. 18, no. 2, pp. 243-256. doi:10.1016/0013-7944(83)90136-4.

*Associate Prof. A. L. Pulariia, Ph. D. (Tech.); Associate Prof. O. D. Zhakovskiy, Ph. D. (Tech.) recommended this article to be published*

Received: Sept. 5, 2014

Accepted: Nov. 18, 2014

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.4.021.24-027.45:656.211.7

А. О. ЛОВСЬКА<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Вагони», Українська державна академія залізничного транспорту, майдан Фейербаха, 7, Харків, Україна, 61500, тел. +38 (057) 730 10 35, ел. пошта alyonaLovskaya@rambler.ru, ORCID 0000-0002-8604-1764

## ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗАПАСУ ЗА ВТОМНОЮ МІЦНІСТЮ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ КУЗОВІВ ВАГОНІВ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗАЛІЗНИЧНИМИ ПОРОМАМИ

**Мета.** У роботі необхідно здійснити визначення коефіцієнту запасу за втомною міцністю несучих конструкцій кузовів вагонів при перевезенні залізничними поромами. **Методика.** Для досягнення зазначеної мети досліджено умови експлуатації вагонів у міжнародному залізнично-водному сполученні. Проведені дослідження динамічних особливостей кузовів вагонів при перевезенні залізничними поромами в умовах хвилювання моря. Складено математичну модель переміщень кузовів вагонів та визначено прискорення, які діють на них відносно штатних місць розміщення на палубах. При визначенні прискорень враховано дійсні гідрометеорологічні характеристики акваторії Чорного моря під час шторму. Визначено коефіцієнт запасу за втомною міцністю несучих конструкцій кузовів вагонів при перевезенні залізничними поромами та встановлено, що при регулярному навантаженні кузова вагона  $n \approx 2,0$ , що вище допустимого значення. **Результати.** Порівняння отриманих величин прискорень із прискореннями, які діють на кузова вагонів при експлуатації на магістральних коліях, показало, що вони перевищують зазначені у нормативних документах прискорення майже на 40 %. Це доводить необхідність урахування навантажень, які діють на кузова вагонів в умовах перевезень на залізничних поромах, при проектуванні вагонів нового покоління. **Наукова новизна.** Запропоновано математичну модель переміщень кузова вагона при перевезенні залізничним поромом в умовах хвилювання моря, яка надає можливість визначення прискорень кузовів вагонів, розміщених на багатопалубних залізничних поромах, з урахуванням гідрометеорологічних характеристик акваторії. **Практична значимість.** Результати проведених досліджень можуть використовуватися при проектуванні вагонів нового покоління з метою забезпечення їх міцності при комбінованих залізнично-водних перевезеннях. Це дасть можливість розробити заходи щодо адаптації кузовів вагонів до взаємодії з засобами закріплення залізничних поромів шляхом оснащення їх несучих конструкцій спеціальними вузлами для закріплення. Таке технічне рішення дозволить зменшити витрати на позапланові види ремонту вагонів при перевезенні їх на залізничних поромах, а також забезпечити безпеку руху комбінованого транспорту.

*Ключові слова:* вагон; динаміка вагона; навантаження конструкції; залізнично-водний транспорт; залізнично-поромні перевезення

### Вступ

Прискорені темпи інтеграції України в систему міжнародних транспортних коридорів зумовлюють створення систем комбінованого транспорту. У зв'язку з цим набули розвитку залізнично-поромні перевезення. Процес перевезення вагонів морем на залізничних поромах (ЗП) супроводжується виникненням та дією на несучу конструкцію кузовів різних типів зусиль, визначальними серед яких є динамічні. Тому, з метою забезпечення безпеки руху вагонів ЗП необхідним є дослідження динамічних зусиль, які діють на несучу конструкцію кузовів при перевезенні морем в умовах його хвилювання.

Особливості визначення динамічних зусиль, які діють на кузова вагонів при перевезенні ЗП

в умовах хвилювання моря наведено в [7]. Недоліками цієї методики є неможливість урахування курсового кута хвилі по відношенню до корпусу ЗП, а також вітрового зусилля, яке діє на надводну проекцію ЗП з кузовами вагонів, розміщеними на його верхній палубі. Крім того, ця методика може враховуватися тільки для плоских морських хвиль.

Питанням удосконалення комбінованих перевезень, зокрема контейнерних, присвячені праці вчених ДНУЗТ [11], де розглянуті особливості кріплення контейнерів на вагонах-платформах. З метою підвищення техніко-економічних показників вагонів при перевезенні контейнерів різного типорозміру виконано обґрунтування удосконалення конструкцій довгобаз-

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

них вагонів-платформ та вагонів-платформ зеленюваного типу для цих перевезень.

Важливо зазначити, що в цих працях дослідженню умов експлуатації вагонів та удосконаленню їх несучих конструкцій при перевезенні ЗП увага не приділяється.

Визначення динамічних особливостей залізничного рухомого складу при взаємодії його з колією наведено в [1, 6, 15, 18]. Необхідно зазначити, що питання дослідження динаміки кузовів вагонів при перевезенні їх ЗП в умовах морського хвилювання в зазначених наукових працях не розглядаються.

Дослідження динаміки вантажного вагона на візках, удосконаленої конструкції, наводиться в [17]. При цьому моделювання динаміки виконувалося для вантажних вагонів Shimmns, обладнаних візками Y25. В ході досліджень визначалися динамічні зусилля в зоні взаємодії колеса з рейками.

Математична модель коливань кузова вантажного вагона при взаємодії з рейковою колією наведена в [16]. Дослідження виконувалися в середовищі програмного забезпечення GENSYS.

Необхідно зауважити, що моделі, наведені в [16, 17], можуть застосовуватися тільки при дослідженні коливань кузова вагона відносно рейкової колії.

На цей час парк вантажних вагонів поповнюється новими конструкціями вагонів, які мають підвищені динамічні показники та техніко-економічні параметри [4, 8, 10, 13, 19].

Необхідно зазначити, що під час проектування цих типів вагонів до уваги не взяті величини навантажень, які можуть діяти на них при перевезенні ЗП в умовах хвилювання моря.

### Мета

Визначення коефіцієнта запасу за втомною міцністю несучих конструкцій кузовів вагонів при перевезенні ЗП.

### Методика

Для визначення інерційної складової навантаження, яке діє на несучу конструкцію кузовів вагонів при перевезенні ЗП в умовах хвилювання моря, складено математичну модель переміщень вагона ЗП при кутових переміщеннях навколо повздовжньої осі (крен), оскільки цей вид коливального процесу здійснює найбіль-

ший вплив на стійкість кузовів вагонів відносно палуб:

$$\left(\frac{D}{12g}(B^2 + 4z_g^2)\right)\ddot{q}_1 + \left(\Lambda_\theta \frac{B}{2}\right)\dot{q}_1 = p' \frac{h}{2} + \Lambda_\theta \frac{B}{2} \dot{F}(t), \quad (1)$$

де  $q_1 = \theta$  – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо повздовжньої осі  $\theta$ . Початок системи координат розміщений в центрі мас ЗП;  $D$  – вагове водовитіснення ЗП, кН;  $B$  – ширина ЗП, м;  $h$  – висота борта ЗП, м;  $\Lambda_\theta$  – коефіцієнт опору коливанням ЗП, кН·с·м<sup>-1</sup>;  $z_g$  – координата центру ваги ЗП, м;  $p'$  – вітрове навантаження, кН;  $F(t)$  – закон дії зусилля, яке збурює рух ЗП з кузовами вагонів, розміщеними на його палубах.

Коефіцієнт опору кутовим переміщенням ЗП відносно повздовжньої осі визначений за формулою:

$$\Lambda_\theta = \int_{-L/2}^{L/2} l' \rho \omega T^2 dL, \quad (2)$$

де  $l'$  – безрозмірний коефіцієнт демпфірування, який приходить на одиницю довжини ЗП та визначається за довідковою літературою залежно від технічних характеристик ЗП;  $\rho$  – щільність морської води, кН/м<sup>3</sup>;  $\omega$  – частота збурюючої дії, с<sup>-1</sup>;  $T$  – осадка ЗП, м.

Під час складання рівняння (1) враховано, що кузов вагона жорстко закріплений відносно палуби і здійснює переміщення разом з нею. Ударна дія морських хвиль на корпус ЗП з вагонами, розміщеними на його борту, не враховувалася. Під час розробки моделі враховано трохіодальний закон руху збурюючої дії (морської хвилі) на ЗП з кузовами вагонів, розміщеними на його палубах та дисипативну складову, яка виникає при коливаннях ЗП в умовах морського хвилювання, що викликає опір його руху, курсові кути морської хвилі по відношенню до корпусу ЗП та вітрове навантаження, що діє на надводну проекцію ЗП з кузовами вагонів, розміщеними на верхній палубі.

Вхідними параметрами моделі є технічні характеристики ЗП, а також гідрометеорологічні характеристики акваторії плавання. Гідроме-

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

теорологічні параметри акваторії плавання ЗП визначені за даними довідкової літератури. За розробленою моделлю розраховані прискорення, які діють відносно штатних місць вагонів на палубах ЗП.

При визначенні параметрів збурюючої дії враховані дійсні гідрометеорологічні характеристики хвилювання моря, які зафіксовані під час шторму в Чорному морі [2, 9]. Оскільки шторм відбувався у II районі Чорного моря, то в розрахунках врахована довжина поромних маршрутів, які проходять через цей район – «Іллічівськ–Поті», «Іллічівськ–Батумі» (рис. 1). В статті наведені результати розрахунків для поромного маршруту «Іллічівськ–Поті», для якого час руху через штормовий район Чорного моря складає близько 4 год, при русі з конструкційною швидкістю 18,6 вузлів (9,6 м/с).

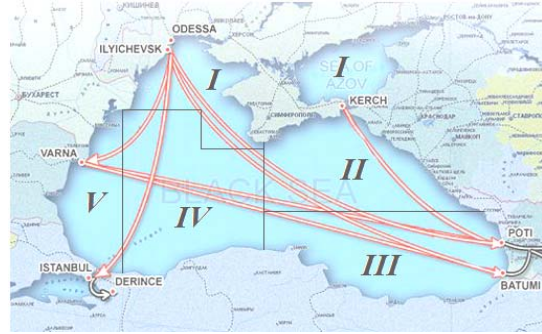


Рис. 1. Схема залізнично-поромних маршрутів України

Fig. 1. Diagram of train-ferry routes of Ukraine

Вирішення диференціального рівняння здійснювалося в середовищі програмного забезпечення MATHCAD. Для врахування змінних параметрів збурюючої дії використано теорію рядів Фур'є, тобто

$$F(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} C_i \cos(\omega_i t + \beta_i) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} a_i \cos(\omega_i t) + \sum_{i=1}^{\infty} b_i \sin(\omega_i t); \quad (3)$$

$$\frac{a_0}{2} = \frac{1}{T} \int_0^T F(t) dt; \quad (4)$$

$$a_i = \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \cos(\omega_i t) dt; \quad (5)$$

$$b_i = \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \sin(\omega_i t) dt. \quad (6)$$

Після виконання відповідних розрахунків, отримано:

$$\begin{aligned} F(t) = & a - \frac{2R e^{kb}}{\omega t} (\cos(k a + \omega t) - 1) + 2b - \frac{2R e^{kb}}{\omega t} \sin(k a + \omega t) + \\ & + \sum_{i=1}^n \left( \frac{2a}{t \omega} \sin \omega t + \frac{R e^{kb}}{t} \left( t \sin(k a) - \frac{1}{2\omega} (\cos(k a + 2\omega t) - \cos(k a)) \right) \right) + \\ & + \frac{2b}{t \omega} \sin(\omega t) - \frac{R e^{kb}}{t} \left( t \cos(k a) + \frac{1}{2\omega} (\sin(k a + 2\omega t) - \sin(k a)) \right) \Bigg) + \\ & + \sum_{i=1}^n \left( -\frac{2a}{t \omega} (\cos(\omega_i t)) + \frac{R e^{kb}}{t} \left( t \cos(k a) - \frac{1}{2\omega} (\sin(k a + 2\omega t)) \right) \right) - \\ & - \frac{2b}{t \omega} (\cos(\omega_i t)) + \frac{R e^{kb}}{t} \left( t \sin(k a) - \frac{1}{2\omega} (\cos(k a + 2\omega t)) \right) \Bigg), \quad (7) \end{aligned}$$

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

де  $R$  – радіус траєкторії, за якою здійснюється оберт кузова вагона у заданий інтервал часу, м;  $k$  – частота траєкторії збурюючого зусилля;  $a$  та  $b$  – горизонтальна та вертикальна координати центру траєкторії, за якою обертається кузов вагона, закріплений відносно палуби ЗП, що має на даний час координати  $x$  та  $z$ ;  $\omega$  – частота збурюючого зусилля у заданий інтервал часу,  $c^{-1}$ .

На підставі виконаних розрахунків отримані прискорення, які діють на кузова вагонів при перевезенні ЗП в умовах хвилювання моря. Результати розрахунків наведені на рис. 2.

З рис. 2 видно, що максимальне значення прискорення складає близько  $0,1 \text{ м/с}^2$  (з урахуванням горизонтальної складової прискорення вільного падіння –  $2,17 \text{ м/с}^2$  ( $0,22 g$ )).

З метою забезпечення міцності несучих конструкцій кузовів вагонів при дії циклічних навантажень в умовах морської хитавиці виконано розрахунок коефіцієнта запасу за втомною міцністю.

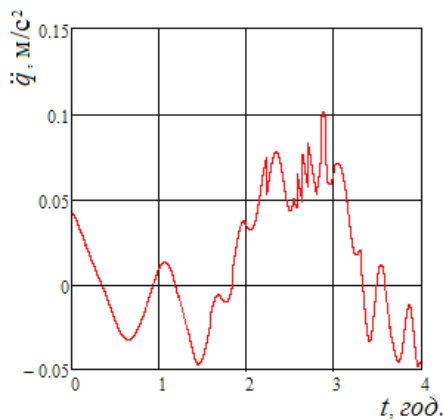


Рис. 2. Прискорення, які діють на крайній від фальшборта кузов вагона, розміщений на верхній палубі ЗП

Fig. 2. Acceleration acting on the extreme from the hull skirting of the car body, placed on the upper deck of a rail-ferry

При цьому використано методику розрахунку, запропоновану МДТУ ім. Н. С. Баумана [14], згідно з якою коефіцієнт запасу за втомною міцністю при багатовісному напруженому стані визначається:

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{екв} K_{\delta}}, \quad (8)$$

де  $\sigma_{-1}$  – межа витривалості, МПа;  $\sigma_{екв}$  – еквівалентні напруження, МПа;  $K_{\delta}$  – коефіцієнт, який враховує характеристики матеріалу.

$$K_{\delta} = \frac{1-R}{2} \left[ \frac{1}{n_{-1} \varepsilon_{\sigma}} + \left( \frac{1}{\beta} - \beta \right) \frac{1}{\alpha_{\sigma}} \right] \frac{1}{\beta_y} + \frac{1+R}{2\alpha_{\sigma}} \psi_{\sigma}, \quad (9)$$

де  $R$  – коефіцієнт асиметрії циклу напружень;  $n_{-1}$  – коефіцієнт, який характеризує чутливість матеріалу до концентрації напружень;  $\varepsilon_{\sigma}$  – масштабний коефіцієнт;  $\beta$  – коефіцієнт якості поверхні;  $\beta_y$  – коефіцієнт зміцнення поверхні;  $\alpha_{\sigma}$  – теоретичний коефіцієнт концентрації напружень;  $\psi_{\sigma}$  – коефіцієнт, який враховує вплив асиметрії циклу.

Коефіцієнти  $R$  та  $n_{-1}$  розраховуються, а інші складові формули (9) знаходяться за довідковою літературою.

Під час виконання розрахунків для металоконструкції кузова вагона прийнято:  $\sigma_{-1} = 245$  МПа [12];  $\sigma_{екв} = 280$  МПа [3] (при  $\sigma_{\sigma} = 490$  МПа;  $\sigma_T = 345$  МПа для бази  $10^7$  циклів) [5].

На підставі виконаних розрахунків отримано значення коефіцієнта запасу за втомною міцністю при регулярному навантаженні кузова вагона  $n \approx 2,0$ , що вище допустимого значення.

У ході досліджень прийнято припущення про відсутність накопичень напружень від втоми в несучій конструкції кузовів вагонів при накопичуванні на ЗП та слідуванні морем. Тому на практиці значення коефіцієнта запасу за втомною міцністю буде меншим.

## Результати

Порівняння отриманих величин прискорень з прискореннями, які діють на кузова вагонів при експлуатації на магістральних коліях, виявило, що вони перевищують зазначені у нормативних документах прискорення майже на 40 %. Це доводить необхідність урахування навантажень, які діють на кузова вагонів в умовах перевезень на ЗП, при проектуванні вагонів нового покоління.

### Наукова новизна та практична значимість

Запропоновано математичну модель переміщень кузова вагона при перевезенні ЗП в умовах хвилювання моря, яка надає можливість визначення прискорень кузовів вагонів, розміщених на багатопалубних ЗП, з урахуванням гідрометеорологічних характеристик акваторії.

Результати виконаних досліджень можуть використовуватися під час проектування вагонів нового покоління з метою забезпечення їх міцності при комбінованих залізнично-водних перевезеннях.

### Висновки

Виконані дослідження дозволяють зробити такі висновки:

1. На сучасному етапі розвитку комбінованих перевезень доцільною є систематизація характеристик динамічних процесів, яким піддаються вагони при перевезенні конкретним типом ЗП і відповідної морської акваторії плавання, крім того доцільним є удосконалення кузовів вагонів спеціальними конструкційними вузлами для закріплення відносно палуб ЗП.

2. Виконані дослідження сприятимуть підвищенню безпеки руху вагонів на ЗП морем, а також розширенню п. 2.18 «Норм...» [12], з урахуванням внесення уточнених величин прискорень, які діють на кузова вагонів при перевезенні різними типами ЗП та відповідних характеристик акваторій їх плавання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бубнов, В. М. Динамические показатели грузовых вагонов на тележках модели 18-1711 / В. М. Бубнов, С. В. Мямлин, Н. В. Манкевич // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – № 4 (46). – С. 118–126.
2. Ветер и волны в океанах и морях : справоч. данные / [под. ред. И. Н. Давидана]. – Ленинград : Транспорт, 1974. – 360 с.
3. Визняк, Р. И. Уточнение величин усилий, которые действуют на кузова вагонов при их перевозке железнодорожными паромными / Р. И. Визняк, А. А. Ловская // Вестн. ВНИИЖТа. – 2013. – № 2. – С. 20–27.
4. Восьмиосные вагоны / В. И. Филиппов, М. П. Козлов, В. А. Котуранов, А. Г. Маслов // Ж.-д. трансп. – 2007. – № 11. – С. 64–66.

5. ГОСТ 25.504-82. Методы расчета характеристик сопротивления усталости. – Введ. 1983–07–01. – Москва : ИПК стандартов, 1983. – 55 с.
6. Дьомін, Ю. В. Основи динаміки вагонів : навч. посібник / Ю. В. Дьомін, Г. Ю. Черняк. – Київ : КУЕТТ, 2003. – 270 с.
7. Землезин, И. Н. Методика расчета и исследования сил, действующих на вагон при транспортировке на морских паромных / И. Н. Землезин. – Москва : Транспорт, 1970. – 104 с.
8. Инновационный грузовой подвижной состав: технико-экономические параметры / А. А. Романова, Е. А. Жарова, В. А. Решетов, С. В. Хохлов // Трансп. Рос. Федерации. – 2011. – № 3. – С. 16–20.
9. Кабатченко, И. М. Моделирование ветрового волнения. Численные расчеты для исследования климата и проектирования гидротехнических сооружений : автореф. дис. ... д-ра географ. наук : 25.00.28 / Кабатченко Илья Михайлович ; Государств. океанограф. ин-т. – Москва, 2006. – 41 с.
10. Корникова, Т. И. Конкуренция подстегивает производителей / Т. И. Корникова, А. Е. Афанасьев // Вагоны и вагон. хоз-во. – 2009. – № 1. – С. 6–9.
11. Мямлин, С. В. Подвижной состав для перевозки контейнеров железнодорожным транспортом / С. В. Мямлин, А. В. Шатунов, А. В. Сороколет // Сб. науч. тр. ДонИЖТ. – Донецк, 2010. – Вып. 22. – С. 125–132.
12. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – Москва : ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
13. Определение по результатам ходовых испытаний усталостной прочности несущих конструкций железнодорожных вагонов / Е. П. Блохин, Ю. М. Черкашин, Л. А. Манашкин [и др.] // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2005. – Вип. 8. – С. 23–26.
14. Ширшов, А. А. Об определении коэффициента запаса по усталостной прочности при регулярном нагружении / А. А. Ширшов // Машиностроение. – 2013. – № 8. – С. 35–39.
15. Andersson, E. Rail Vehicle Dynamics, KTH Railway Technology / E. Andersson, M. Berg, S. Stichel. – Stockholm : Royal Institute of Technology, 2007. – 378 p.
16. Berghuvud, Ansel. Dynamic modelling of freight wagons : Master's Degree Thesis / Ansel Berghuvud. – Karlskrona : Blekinge Institute of Technology, 2011. – 80 p.
17. Buonsanti, M. Dynamic modelling of freight wagon with modified bogies / M. Buonsanti //

- European J. of Scientific Research. – 2012. – Vol. 86, № 2. – P. 274–282.
18. Wickens, A. H. The dynamics of railway vehicle – From Stephenson to Carter / A. H. Wickens // Proc. of the Institution of Mechanical Engineers. – 1999. – № 212 (Part F). – P. 209–217.
19. New livery for tarmac wagons [Електронний ресурс]. – 2011. – Iss. 17. – P. 2. – Режим доступу: <http://www.vtg-rail.co.uk/v/s/download/pdf>. – Назва з екрана. – Перевірено: 29.06.2011.

А. А. ЛОВСКАЯ<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Вагоны», Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61500, тел. +38 (057) 730 10 35, эл. почта [alyonaLovskaya@rambler.ru](mailto:alyonaLovskaya@rambler.ru), ORCID 0000-0002-8604-1764

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА ПО УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КУЗОВОВ ВАГОНОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМИ ПАРОМАМИ

**Цель.** В работе необходимо осуществить определение коэффициента запаса по усталостной прочности несущих конструкций кузовов вагонов при перевозке железнодорожными паромками. **Методика.** Для достижения поставленной цели исследованы условия эксплуатации вагонов в международном железнодорожно-водном сообщении. Проведены исследования динамических особенностей кузовов вагонов при перевозке железнодорожными паромками в условиях волнения моря. Составлена математическая модель перемещений кузовов вагонов и определены ускорения, которые действуют на них относительно штатных мест размещения на палубах. При определении ускорений учтены действительные гидрометеорологические характеристики акватории Черного моря во время шторма. Определен коэффициент запаса по усталостной прочности несущих конструкций кузовов вагонов при перевозке железнодорожными паромками и установлено, что при регулярном нагружении кузова вагона  $n \approx 2,0$ , что выше допустимого значения.

**Результаты.** Сравнение полученных величин ускорений с ускорениями, которые действуют на кузова вагонов при эксплуатации на магистральных путях, показало, что они превышают указанные в нормативных документах ускорения почти на 40 %. Это доказывает необходимость учета нагрузок, которые действуют на кузова вагонов в условиях перевозки на железнодорожных паромках, при проектировании вагонов нового поколения. **Научная новизна.** Предложена математическая модель перемещений кузова вагона при перевозке железнодорожным паромом в условиях волнения моря, которая предоставляет возможность определения ускорений кузовов вагонов, размещенных на многопалубных железнодорожных паромках, с учетом гидрометеорологических характеристик. **Практическая значимость.** Результаты проведенных исследований могут использоваться при проектировании вагонов нового поколения с целью обеспечения их прочности при комбинированных железнодорожно-водных перевозках. Это даст возможность разработать мероприятия по адаптации кузовов вагонов к взаимодействию со средствами закрепления железнодорожных паромов путем оснащения их несущих конструкций специальными узлами для закрепления. Такое техническое решение позволит уменьшить расходы на внеплановые виды ремонта вагонов при перевозке их на железнодорожных паромках, а также обеспечить безопасность движения комбинированного транспорта.

**Ключевые слова:** вагон; динамика вагона; нагружение конструкции; железнодорожно-водный транспорт; железнодорожно-паромные перевозки

А. А. LOVSKAYA<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Cars», Ukrainian State Academy of Railway Transport, Feuerbach Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61500, tel. +38 (057) 730 10 35, e-mail [alyonaLovskaya@rambler.ru](mailto:alyonaLovskaya@rambler.ru), ORCID 0000-0002-8604-1764

## DETERMINATION OF ASSURANCE COEFFICIENT BY SUPPORTING STRUCTURES FATIGUE OF CAR BODIES DURING TRANSPORTATION BY THE RAILWAY FERRIES

**Purpose.** To determine assurance coefficient by supporting structures fatigue of car bodies during transportation by the railway ferries. **Methodology.** The operating conditions of cars in international railway-water communication

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

have been investigated in previous works for the solution of this problem. To solve the problem there were conducted researches of dynamic features of car bodies transporting by the railway ferries in conditions of the sea storm. A mathematical model of car bodies movement was made up and accelerations acting on them in placements on the decks were determined. During determination of accelerations the actual meteorological characteristics of the Black Sea during a storm were taken into account. The assurance coefficient fatigue by supporting structures of car bodies by the railway ferries was determined and it was found that under regular loading of the car body  $n \approx 2,0$ . It is higher than the admissible value. **Findings.** Comparison of obtained acceleration values with the accelerations acting on car bodies when operating on main-line routes showed that they have exceeded the acceleration specified in the regulations approximately on 40%. It proves the need of accounting the loads acting on car bodies during transportations by the railway ferries when designing new generation cars. **Originality.** There was proposed a mathematical model of car bodies movement by the railway ferries in the conditions of sea storm. It gives the possibility of determining the accelerations of car bodies placed on the decker rail ferries taking into account the hydro-meteorology characteristics. **Practical value.** The results of researches can be used when designing new generation cars to provide their strength during the combination of railway and water transportation. It gives an opportunity to develop measures as to the adaptation of cars bodies to the interaction with the fastenings of railway ferries by means of equipping their bearing constructions with special fastening assembly units. Such technical solution will allow decreasing expenses for unscheduled repair of cars while transporting them by railway ferries and providing safety of combined transport traffic.

*Keywords:* car; car dynamics; construction loading; railway-ferry transport; railway ferry-boat transportation

## REFERENCES

1. Bubnov V.M., Myamlyn S.V., Mankevich N.V. Dinamicheskiye pokazateli gruzovykh vagonov na telezhkakh modeli 18-1711 [Dynamic indicators of freight cars with 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 (46), pp. 118-126.
2. Davidan I.N. *Veter i volny v okeanakh i moryakh* [Wind and waves in the oceans and seas]. Leningrad, Transport Publ., 1974. 360 p.
3. Viznyak R.I., Lovskaya A.A. Utochneniye velichin usiliy, kotoryye deystvuyut na kuzova vagonov pri ikh perezovozke zheleznodorozhnyimi paromami [Clarification of the values of efforts, acting on the body of the cars during their transportation with train ferries]. *Vestnik nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta – Bulletin of All-Russian Research Institute of Railway Transport*, 2013, no. 2, pp. 20-27.
4. Filippov V.I., Kozlov M.P., Koturanov V.A., Maslov A.G. Vosmiosnyye vagony [Eight-axle cars]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway transport*, 2007, no. 11, pp. 64-66.
5. GOST 25.504-82. *Metody rascheta kharakteristik soprotivleniya ustalosti* [State Standard 25.504-82. The calculation methods of fatigue resistance characteristics]. Moscow, Standartinform Publ., 1983. 55 p.
6. Domin Yu.V., Cherniak H.Yu. *Osnovy dynamiky vagoniv* [The bases of car dynamics]. Kyiv, KUETT Publ., 2003. 270 p.
7. Zemlezyn I.N. *Metodika rascheta i issledovaniya sil, deystvuyushchikh na vagon pri transportirovke na morskikh paromakh* [Calculation methods and the study of forces acting on the car during transportation by sea ferries]. Moscow, Transport Publ., 1970. 104 p.
8. Romanova A.A., Zharova Ye.A., Reshetov V.A., Khokhlov S.V. Innovatsionnyy gruzovoy podvizhnoy sostav: tekhniko-ekonomicheskie parametry [Innovative freight rolling stock: techno-economic parameters]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of Russian Federation*, 2011, no. 3, pp. 16-20.
9. Kabatchenko I.M. *Modelirovaniye vetrovogo volneniya. Chislennyye raschety dlya issledovaniya klimata i proyektirovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy*. Avtoreferat Diss. [Modeling of wind waves. Numerical calculations for climate research and design of hydraulic structures. Author's abstracts]. Moscow, 2006. 41 p.
10. Korniykova, T.Y., Afanasev A.E. Konkurentsia podstegivayet proizvoditeley [Competition boosts the manufacturers]. *Vagony i vagonnoe khozyaystvo – Cars and car facilities*, 2009, no.1, pp. 6-9.
11. Myamlin S.V., Shatunov A.V., Sorokolet A.V. Podvizhnoy sostav dlya perezovozki konteynerov zheleznodorozhnym transportom [Rolling stock for transportation of containers by railway transport]. *Sbornik nauchnykh trudov DonYZhTa* [Proc. of Donetsk Institute of Railway Transport], 2010, issue 22, pp. 125-132.
12. *Normy dlya rascheta i proyektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh)* [Rules for calculation and design of railways cars of 1520 mm (unpowered)]. Moscow, GosNIIV – VNIIZhT Publ., 1996. 319 p.

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

13. Blokhin Ye.P., Cherkashin Yu.M., Manashkin L.A., Korotenko M.L., Myamlin S.V., Granovskiy R.B., Gorobets V.L., Garkavi N.Ya., Fedorov Ye.F. Opredeleniye po rezultatam khodovykh ispytaniy ustalostnoy prochnosti nesushchikh konstruktsiy zheleznodorozhnykh vagonov [The definition according to the results of the sea trials of the fatigue strength of bearing constructions of railway cars]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2005, no. 8, pp. 23-26.
14. Shyrshov A.A. Ob opredelenii koeffitsienta zapasa po ustalostnoy prochnosti pri regulyarnom nagruzhennii [Determination of the safety factor for fatigue strength with regular loading]. *Mashinostroyeniye – Mechanical Engineering*, 2013, no. 8, pp. 35-39.
15. Andersson E., Berg M., Stichel S. Rail Vehicle Dynamics, KTH Railway Technology. Stockholm, Royal Institute of Technology Publ., 2007. 378 p.
16. Berghuvud Ansel. Dynamic modelling of freight wagons. Master's Degree Thesis. Karlskrona, Blekinge Institute of Technology Publ., 2011. 80 p.
17. Buonsanti M. Dynamic modelling of freight wagon with modified bogies. *European Journal of Scientific Research*, 2012, vol. 86, no. 2, pp. 274-282.
18. Wickens A.H. The dynamics of railway vehicle – From Stephenson to Carter. *Proc. of the Institution of Mechanical Engineers*, 1999, no. 212 (Part F), pp. 209-217.
19. New livery for tarmac wagons, 2011, issue 17, P. 2. Available at: [www.vtg-rail.co.uk/v/s/download/pdf](http://www.vtg-rail.co.uk/v/s/download/pdf) (Accessed 29 July 2011).

*Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. І. Е. Мартиновим (Україна); д.т.н., проф. С. В. Мямліним (Україна)*

Надійшла до редколегії: 20.08.2014

Прийнята до друку: 14.10.2014

**UDC 629.463.65-047.44**S. V. MYAMLIN<sup>1</sup>, I. U. KEBAL<sup>2\*</sup>, S. R. KOLESNYKOV<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dep. «Cars and Car Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St. 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 776 84 98, e-mail sergeymyamin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

<sup>2\*</sup>Planning and Design Technological Office, Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 371 51 12, e-mail spyhernter-08@mail.ru, ORCID 0000-0002-8408-8294

<sup>3</sup>Planning and Design Technological Office, Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 371 51 12, e-mail romaniuha.nikolay@gmail.com, ORCID 0000-0002-9514-6365

**DESIGN REVIEW OF GONDOLA CAR**

**Purpose.** To ensure the constantly growing volume of freight transportations it is necessary to introduce the innovation rolling stock. It should have the best technical and economic parameters in comparison with the existing fleet. Gondola car is the most popular type of railway freight car. Designs of the modern gondolas are based on many years of operating experience and numerous tests carried out by design and research organizations in the field of car building. To improve the body structure of gondolas it is necessary to perform a review of the existing structures and to identify the trends in their improvement. **Methodology.** The works on improvement the designs of produced gondolas are held by many engineering organizations in almost all industrialized countries. Analysis of the existing body designs of gondola cars is possible by analyzing the research in the field of transport engineering, namely patents, scientific articles, producers catalogues and so on. **Findings.** When analyzing it was determined that there are gondolas of different designs, but the most common are the gondolas with a solid floor and unloading hatches, the covers of which form the floor of gondola design. An effective method for reducing the gondola empty weight and increasing the body volume is also the use of aluminum alloy instead of steel. Results of the improvement analysis of the gondola bodies` designs showed that the creation of the modern gondola car requires from designers and scientists the implementation of scientific and technical solutions providing the increase of carrying capacity and the body volume, reduction of the gondolas empty weight, increase in repair intervals while improving the strength and dynamic qualities at the same time. **Originality.** For the first time the gondolas designs were analyzed, their advantages and disadvantages were considered and the trends in improvement of the given structures of gondola cars were determined. **Practical value.** The generalization of theoretical, scientific and methodological, experimental studies aimed at further improving the technical and economic parameters of gondola cars are urgent when improving the body structure of the gondola cars. The above mentioned design features of the bodies of some models of modern gondola cars have practical value and can be used in further developments.

*Keywords:* gondola; design; body; body volume; carrying capacity

**Introduction**

Railway transport is still the main mode of transport, carrying out most of the freight transportations of both universal and specialized goods. Thus, the greatest part of the freight car fleet of industrialized countries, such as Ukraine, Russia, the United States, Canada and so on form the universal gondola cars. In Ukraine gondolas occupy 35% of the total freight car fleet [12], the number of gondola cars in Russia is about 535.000 out of total fleet 1 million 200 thousands of cars, the fleet of US gondolas is about 230 thousands units out of the fleet 1 million 400 thousands [16]. This contributes to improvement of the gondola designs by the majority of car building enterprises all over the

world. Since in order to reduce the operating costs and improve the economic efficiency of the gondolas use it is necessary to move towards the use of new generation cars, i.e. the cars, whose technical characteristics are considerably superior to existing models.

**Purpose**

To provide the constantly growing volumes of cargo transportations it is necessary to introduce the innovative rolling stock, having the best technical and economic parameters in comparison with the existing car fleet.

Gondola car is the most popular type of railway freight car. The designs of modern gondolas are

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

based on many years of operating experience and numerous tests carried out by the design and research organizations in the field of car building. As a result, the gondola design had been continuously improving to meet the increasing demands of operation. In order to improve the body design of gondola at the design stage it is necessary to analyze the existing designs and to determine the trends for further improvement. Therefore, the subject of this study related to the analysis of design features of gondolas is urgent for the railway transport.

### Methodology

The works on improvement the designs of produced gondolas are held by many engineering organizations in almost all industrialized countries.

Analysis of the body designs of gondola cars is performed as a result of the research of technical description and engineering documentation of gondolas models of different producers, as well as using the materials of scientific publications based on the data of the designers about the obtained results during theoretical and experimental research.

### Findings

Gondolas represent open cars with high sides, used for the transportation of coal, ore, timber, rolled products, metal and other bulk and piece cargo, which do not require protection from the weather. Gondola car body has no roof. It allows loading and unloading efficiency (including unloading on car dumpers).

Floor of the four-axle universal gondolas is in most cases made of 14 discharging hatch covers, but there are solid floor types. This increases the strength and rigidity of the frame and body components, prevents the loss of small fractions because of the leaks between the frame elements and hatch covers. However, it makes impossible unloading of bulk cargo by the gravity of the cargo itself (the use of grabs is prohibited).

The main construction diagrams of gondolas are shown in the Fig. 1.

The gondola body consists of a number of racks attached to the car frame at the bottom, at the top they are connected with the strapping frame. The gaps between the stands are filled with a metal covering (made of flat steel with longitudinal goffer or periodical trough-shaped profile, or smooth

sheets, connected to the frame by resistance spot or arc welding). The shape and height of the body can be different depending on the destination of car and the discharge circuit.

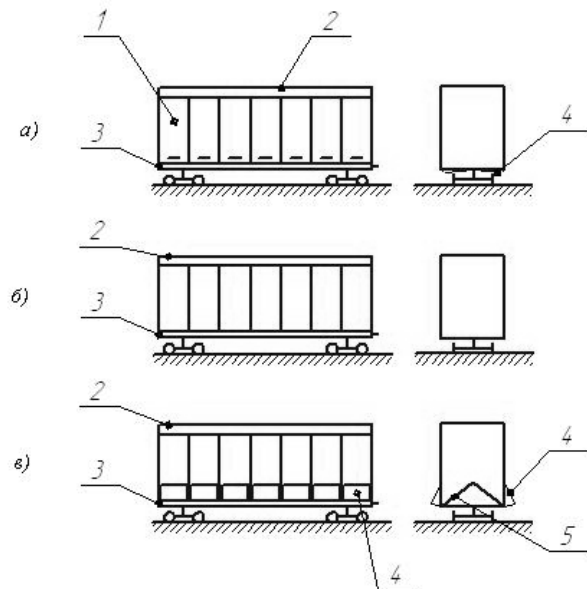


Fig. 1. Construction diagrams of gondolas:  
1 – side wall; 2 – upper chord; 3 – car frame;  
4 – hatch; 5 – gable floor

Bodies of non self-discharging gondolas do not have hatches in the floor (scheme b, Figure 1) and are designed for unloading them on the car dumpers. Constructions of this type of body are reflected in the patents [5, 6, 9, 11]. In the first designs of these gondolas the doors were located in the side and end walls to make the semi-automated unloading possible. Later, the body began to be manufactured without doors. It was fitted with a device for fixing in a car dumper. Before arriving of gondola at the car dumper the frozen load for better discharge can be subjected to vibration loosening and heating in the special garage defrosters [3]. An example of solid-bottom gondola car is the car model 12-757 EI-2 produced by Kriukov car building carriage works (Fig. 2).

The most frequently for unloading the solid-bottom gondola car dumpers the rotory car dumpers are applied (Fig. 3). On these car dumpers the car is rotated relative to its longitudinal axis by 180°. Such car dumpers, in particular, are also produced in Ukraine by the company «Dneprotyazhmash». This company produces a wide range of rotory car dumpers. VRS-75S and VRS-110S can serve as examples of such devices. The first one is

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

intended for unloading the gondolas with carrying capacity up to 75 tons, the second one – up to 110 tons. Both car dumpers are able to provide unloading up to 20 gondola cars per hour [2]. The twinned tipper VRS-2×75 is intended to unload two cars at the same time. At the cost of this its performance is up to 50 cars per hour.



Fig. 2. Gondola car, model 12-757 EI-2, production of Kriukov car building carriage works

When rotated the platform with car moves under the influence of its own weight and bogie springs until the side wall will border on the mounting wall of the car dumper 3. As a result the body deformations (narrowing), bending of racks, damages of the welded joints may take place [4].

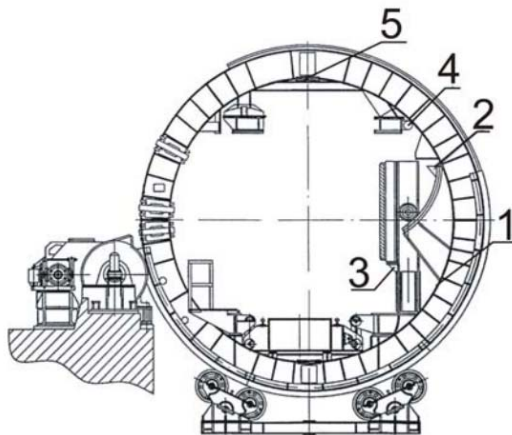


Fig. 3. Rotary car dumper to unload the solid-bottom gondola cars:

1 – rotor; 2 – pressure arrangement; 3 – mounting wall; 4 – small vibrator, which is set at the support foot; 5 – big vibrator mounted on the beam connecting the rotor discs

There are also side car dumpers, the example of which can be VBC-93. It raises the gondola car to the height of 4 meters. The devices of this kind are used in the places, where the high level of ground waters makes it difficult to equip the high cavations.

doi 10.15802/stp2014/33773

Improvement of solid-bottom gondola cars resulted in the creation of car, which has rounded surfaces at the joints of the frame with side and end walls, ensuring the car unloading with minimal possible residues of the cargo using the car dumper. An example of this gondola can be the gondola car model 12-791 produced by Kriukov car building carriage works. Its general view is shown in the Fig. 4.



Fig. 4. Gondola car model 12-791

Except the advantages (unloading the car at the lowest possible cargo residues), this design also has its drawbacks, namely under-utilization of the body useful volume due to rounding in its lower part.

Dumper capsules (universal gondola cars) have markedly different design schemes. They differ in both the body equipment, and the equipment of discharging devices. It should be noted that the gondola cars with unloading hatches currently are the most common, since they do not require special devices for unloading, such as car dumpers.

Unloading of these gondola cars is carried out through the hatches in the floor (the scheme a, Fig. 1) or in the side walls (the scheme b, Fig. 1) under the influence of gravity of the goods themselves. Gondola design equipped by unloading hatches in the floor, is reflected, for example, in the patent [7]. A gondola car model 12-7039 (Kriukov car building carriage works construction) can serve as example of this. Metal construction is made of steel of strength class 450, which have anti-corrosion properties with an axle load of 25 tf (Fig. 5). The use of steel with a high level of strength not only reduces the overall weight of the car, but also contributes to the safety of its operation [1].

The use of steels with a high level of strength not only reduces the overall weight of the car, but also contributes to the safety increase of its opera-

© S. V. Myamlin, I. U. Kebal, S. R. Kolesnykov, 2014

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

tion [1]. Also, this gondola car has a number of other improved indicators, including an increased for 10 years standard service life, and increased time between repairs – up to 500 thousand km. According to the assessment of Ukrzaliznytsia the new car will reduce the annual maintenance costs in 3.5 times, as well as reduce the costs for locomotive traction on 10% [12].



Fig. 5. Universal gondola car with unloading hatches in the floor of the model 12-7039

Hatch covers, forming the bogie floor together with the frame, are used for unloading of bulk cargo from the car in the open position. The weight of every hatch cover is about 200 kg (depending on the design). That is why, to facilitate the closing they are equipped by torsion devices.

Further improvement of universal gondolas has led to the creation of cars with gable floor (Scheme *b* in the Fig. 1), as they provide the best unloading of bulk cargo without any additional equipment. One of these structures of gondola is patented [8] (Fig. 6).

Body of the considered gondola includes frame, gable floor 1, end 2 and side 3 vertical walls and lateral unloading hatches with 4 drives. Lateral vertical walls and lateral unloading hatches are made of flat sheets of exterior paneling on the inner side of which the frames are located. The bottom 1 is inclined to the butts of lateral unloading hatches from the center sill 5, which are placed vertically in the lower part of the side walls.

The car frame is formed by the gable floor and beams, when in the cross-section in the installation places of the transverse horizontal and inclined beams to the center sill it is made of triangular shape.

The bottom form 1 with a slope to the lower ends of vertically placed unloading hatches and triangular shape of the frame cross-section provide:

- unloading without formation of stagnant zones in gondola body and without dirt inclusion of assembled rails and sleepers;
- weight reduction of the frame and bottom and increase in their strength and hardness;
- increase in the utilized useful volume of the body in the existing dimensions;
- improvement of the dynamic qualities of the gondola at the expense of by means of lowering the body center of gravity;
- decrease of the time required to unload the gondola.

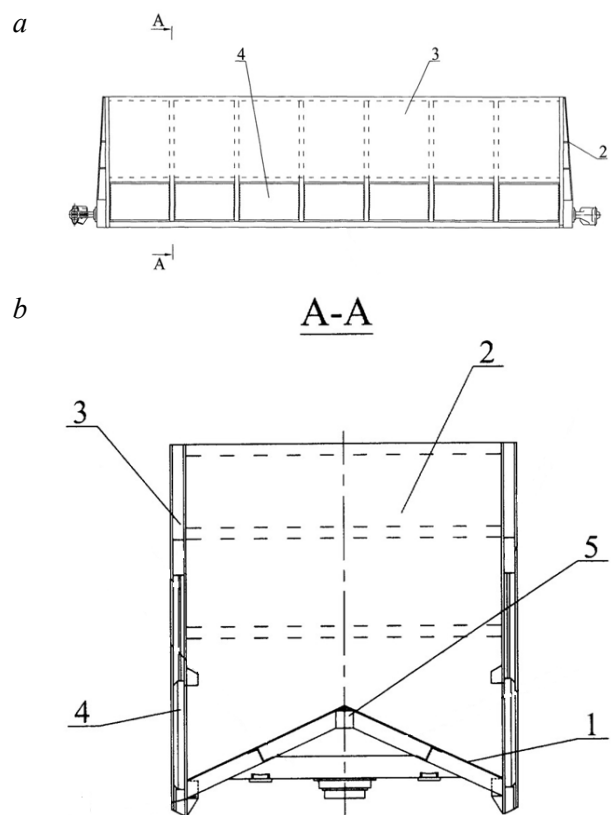


Fig. 6. Gondola with gable floor:  
*a* – side wall (3) with unloading hatches (4);  
*b* – cross-section of the body

On most of cars with the gable floor the crank mechanisms of the hatch locker drivers with pneumatic or hydraulic control are used. In recent years, preference is given to the locker construction with hydraulic control.

One of the most effective ways to improve the efficiency of freight transportations is the most complete use of overall capabilities of railways in CIS.

In 2008 the gondola car, model 12-9828 was built with an axial load of 27 tf, dimension Tpr, which in comparison with 1-T dimension permits

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

an increasing the width in a body on 150 mm, edge height on 500 mm and decreasing the car length on 2 000 mm. This permits to take on 11 gondola cars more under the station tracks mileage of 1 050 meters, namely in addition to transport from 850 (axle load of 23.5 tons) up to 1 350 (axle load of 25 tons) of coal in one train. It does not require strengthening the existing station tracks. The car has increased loading capacity of 83 tons; herewith its length on coupling axles is only 12.1 m (at the standard serial gondola cars 13.92 m). This car is designed for coal transportation, which is important for the industrial enterprises and other inert cargo in closed routes on track roads of 1 520 mm. The payback period of a gondola car is 4.6 years against 7 years for a serial car. Body construction without central center sill in the middle part is related to features of the gondola car. It let maximum use interbogie space in the form of cargo niches for increase net volume of the body. Advantages of the gondola model 12-9828:

- load from the axis on the rail is 27 tf;
- loading capacity is 83 tons;
- increase in useful linear load is 37.4%;
- operating costs reduction on 8-10%;
- annual increase in productivity on 15%;
- increase the number of cars in the train up to 11 gondola cars;
- weight cargo (coal) in the train 6 806 tons;
- mass of additional coal transported by a train from the gondola cars, model 12-9828 in comparison with a train from cars - analogs is 1 871.5 tons.

General view of the gondola car, model 12-9 828 is shown in the Fig. 7.



Fig. 7. Gondola car, model 12-9828

Company Johnstown America has proposed a new manufacturing method of a center sill, one of the main type's frames of cars majority. Usually it is welded from two hot-rolled profiles. The replacement of welded structure by the profile from

cold-rolled steel with a yield point 4 920 instead of 3 515 kg/cm<sup>2</sup> was the result of conducted work. The new frame is strong enough, but the empty weight of the car for coal transportation is reduced by 450 kg [14].

When designing the gondola car one should take into account such an important parameter as the ratio of loading capacity. The higher it is, the more efficiently a car is operated. In this connection it should be noted that increase of this rate, in particular, is provided by the use of aluminum alloys in car building. Economic calculations, made by foreign experts, suggest that although the cost of cars from aluminum alloys by 25-35% higher than steel one, their operation is more effective economically by reducing the weight of the car up to 15%, reduction in energy consumption for haulage of train on 10%, cost reduction for routine and major repair of cars up to 18%. And, in general, by reducing the number of cars and locomotives required for the transportation of a certain load quantity. Also cars, manufactured with use of aluminum alloy, have improved corrosion resistance and operational reliability, the possibility of structures manufacturing without staining and protective coatings. The payback period of aluminum cars is 3-4 years [13].

About 80% of the fleet of coal carriers in USA and Canada are made of steel and about 20% of aluminum alloy (only in USA their number is greater than 100.000 of units). In Europe, the rolling stock with bodies of light alloys has been used since with the 80-ies of the last century, however it was not widespread.

Although in the 60s in SUE "PA "Uralvagonzavod" the universal gondola models 12-505 (four-axle) and 12-504 (six-axle) with bodies of combined structure (covers of unloading hatches and side walls are made of aluminum alloys) were designed, but these projects did not have further development.

The company "SUAL-Holding" has built a gondola from extruded aluminum profile. Increased structural strength of the car was provided by the use of the body as the solid cover. The car has a useful volume of body 99.5 m<sup>3</sup>, the empty weight 18 tons and load capacity 82 tons (Fig. 8). Gondola car has a body made of hollow-core panels. The car was successfully tested in the TestLoop in Scherbinka and speed range Belorechenskaya – Maykop [15].

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

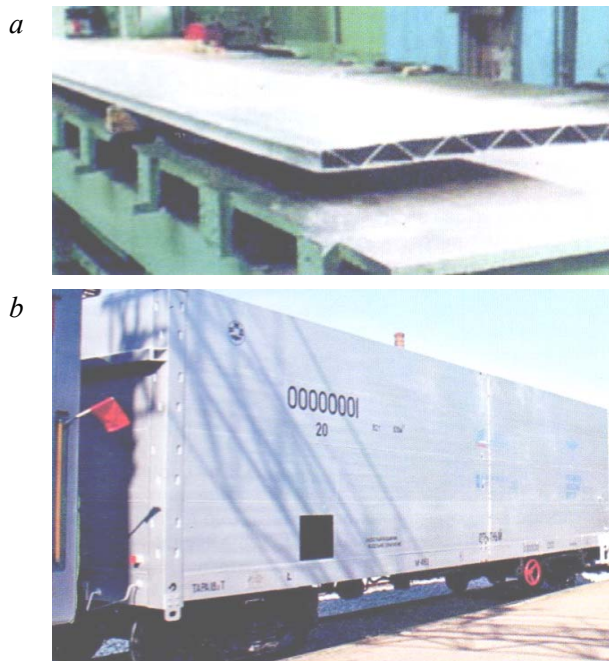


Fig. 8. Gondola of new generation of aluminum alloy:  
*a* – hollow aluminum panel for the construction of freight gondolas; *b* – gondola of aluminum alloy AMg6

Design of the similar gondola is patented [10]. The feature of this gondola is that its side and end walls are hot-pressed hollow panels of alloy 6005A. Hollow extruded panels have high stiffness, bear the concentrated loads well and have high resistance to deformations during welding. One of the main advantages of car design with the extruded panels is the reduction of manufacturing costs by reducing the number of structural elements. Car floor is made of sheet functioning as the bearing component. The upper flanges of the channel bars of cantilever beam and center bearer, beam knees and intermediate transverse beams are welded to this sheet. The sheet thickness is 10–12 mm.

In order to increase the carrying capacity of gondolas it is also possible to increase their axle number. The gondola car model 22-4024 is a specialized eight-axle gondola car to transport the lumpy copper ore from the places of its production to metallurgical enterprises.

The car has a small body volume (83 m<sup>3</sup>) at a sufficiently high load capacity (115 tons), as well as it was designed for transportation of the certain cargo classification with high density.

Ore loading in to the gondola car is made by excavators with buckets, volume of 8.6 m<sup>3</sup> and unloading is via car dumpers. Body frame of the gondola car consists of two reinforced Z, two end beams, two

bolster beams from rolled metal sheets with thickness of 10, 12, 14 mm and intermediate transverse beams from curved profile of 200×120×10 mm. Flooring is made of steel sheets, thickness 10 mm, framed side wall of the body from the racks of curved profile, section 160×80×7 mm, bottom rail of a special curved profile. Frame end wall consists of two corner posts from the corner of 125×125×10 mm, two uprights trough-shaped profile with a wall thickness of 8 mm, the upper tying closed profile 160×80×7 mm and the end frame rail gondola, which is also the bottom plate. Body frame is covered in a shell of metal sheets with thickness of 10 mm.

### Originality and practical value

Creation of the modern gondola car requires the implementation of scientific and technical solutions that could provide increase in carrying capacity, useful volume of the body, cargo unloading without residues in the body, increase repair intervals, high cargo safety during transportations, while improving the strength and dynamic qualities, including the dynamic interaction of the gondola and the railway line [17], improved aerodynamic performance of gondola, which is also important [18]. This will reduce the costs for maintenance and repair, operating costs associated with the reduction of energy consumption for traction of trains and rolling stock maintenance, and, in general, by reducing the number of cars and locomotives required to transport a certain amount of cargo.

Conducted by the author's research concerning the improvement of the gondola cars bodies are of vital importance. They have practical value and can be used in further developments.

### Conclusions

Generalization of theoretical and experimental research directed on further improvement the gondola cars bodies of promising constructions is a necessary condition at improvement the design of the rolling stock. The basic trends of some types of gondola cars embodiment were considered in the paper. The authors place special emphasis on the gondola cars bodies improvement.

Thus, design features of innovative gondola cars bodies that provide meeting requirements for modern railway rolling stock were reviewed.

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

## LIST OF REFERENCE LINKS

- Вакуленко, І. О. Металеві матеріали з підвищеною міцністю для виготовлення вагонів / І. О. Вакуленко, В. Г. Анофрієв // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 37. – С. 216–219.
- Ильин, Ю. Как перевернуть вагон / Ю. Ильин // Транспорт. – 2012. – № 9. – С. 54–57.
- Мотовилов, К. В. Технология производства и ремонта вагонов : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / К. В. Мотовилов, В. С. Лукашук, В. Ф. Криворудченко. – Москва : Маршрут, 2003. – 382 с.
- Основные технологические решения по эффективной разгрузке смерзшегося груза из железнодорожных полувагонов / С. П. Минеев, А. А. Прусова, М. А. Выгодин, А. С. Минеев // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 40. – С. 124–130.
- Пат. 2279362 С2 Российская Федерация, МПК В 61 D 3/00, В 61 D 17/04, В 61 F 1/02. Глуходонный полувагон / Коробка Б. А., Шкабров О. А., Назаренко Л. И., Можейко Е. Р., Ермаков В. В., Шиляев В. Н., Дорошенко В. А. ; заявитель и патентообладатель ОАО «КВСЗ». – № 2004123045/11 ; заявл. 27.07.04 ; опубл. 20.01.06. – 9 с.
- Патент 2391239 С1 Российская Федерация, МПК В 61 D 3/00, В 61 F 1/00. Грузовой полувагон с глухим полом / Иванов А. О., Коссов В. С., Чаркин В. А., Ноздрачёва В. А., Шабеко А. П. ; заявитель и патентообладатель ОАО «Рос. ж. д.». – № 2009119200/11 ; заявл. 21.05.2009 ; опубл. 10.06.10. – 9 с.
- Патент 130565 U1 Российская Федерация, МПК В 61 D 3/00, В 61 F 1/02. Железнодорожный полувагон / Подъяпольский Е. В. ; заявитель и патентообладатель ОАО «Новокузнец. вагоностр. з-д». – № 631267/24 ; заявл. 03.04.13 ; опубл. 27.07.13. – 7 с.
- Патент 2253581 U1 Российская Федерация, МПК В 61 D 3/00, В 61 D 7/00, В 61 F 1/02. Кузов грузового полувагона / Бондаренко Л. М., Коссов В. С., Пустовой В. Н., Сазонов И. В. ; заявитель и патентообладатель : Фед. государств. унитар. предприятие Всерос. науч.-исследоват. и конструкторско-технолог. ин-т подвижного состава М-ва путей сообщ. Рос. Федерации (ФГУП ВНИКТИ МПС России). – № 2003136374/11 ; заявл. 17.12.03 ; опубл. 10.06.05. – 9 с.
- Патент 110044 U1 Российская Федерация, МПК В 61 D 3/00. Полувагон глуходонный / Бороненко Ю. П., Решетов В. А., Лопарев Е. Л., Пешков А. В., Соколов А. М., Хохлов С. В., Тахчукова М. Р., Маненков А. В., Мишин В. М., Набиуллин М. И. ; заявитель и патентообладатель Федер. государств. образоват. учреждение высшего профессионального образования «Петербург. государств. ун-т путей сообщения», ОАО «Рузаев. з-д хим. машиностроения». – № 2011124493/11 ; заявл. 16.06.11 ; опубл. 10.11.11. – 6 с.
- Патент 2345918 С1 Российская Федерация, МПК В 61 D 17/00, В 61 F 1/00, В 61 D 3/00. Полувагон из алюминиевых сплавов / Шарин И. Л., Саликов В. А., Рошупкин А. Н., Корольков В. И., Чернов В. М. ; заявитель и патентообладатель : ОАО «Рос. ж. д.». – № 2007125563/11 ; заявл. 06.07.07 ; опубл. 06.07.07. – 6 с.
- Патент 6119 U Україна, МПК В 61 D 17/00. Залізничний піввагон / Балясний Е. І., Горулько І. О., Дячук М. І., Єпик В. Г., Криворучко С. Г., Пятковський І. С., Харченко С. І. ; заявитель и патентообладатель «ДП «Дарниц. вагоноремонт. з-д». – № 20040907948 заявл. 30.09.04 ; опубл. 15.04.05. – 2 с.
- Современное вагоностроение : монография : в 3 т. / Б. Г. Цыган, А. Б. Цыган, С. Д. Мокроусов, В. П. Щербаков. – Кременчуг : Кременчуг. гор. типография, 2012. – Т. 3 : Организация и технология производства металлоконструкций вагонов. – 628 с.
- Цыган, Б. Г. Современное вагоностроение : монография / Б. Г. Цыган, А. Б. Цыган, С. Д. Мокроусов. – Харьков : Техностандарт, 2008. – Т. 1 : Железнодорожный подвижной состав. – 432 с.
- Цыган, Б. Г. Тенденции развития современного вагоностроения: глобализация производства и интернационализация рынка / Б. Г. Цыган, А. Б. Цыган // Вагон. парк. – 2009. – № 5/6. – С. 26–29.
- Цыган, Б. Г. Тенденции развития современного вагоностроения: глобализация производства и интернационализация рынка / Б. Г. Цыган, А. Б. Цыган // Вагон. парк. – 2009. – № 9/10. – С. 20–23.
- Laney, K. Rolling stock: Locomotives and rail cars Industry and trade summary / K. Laney, M. Anderson. – Washington, 2011. – 128 p.
- Watkins, S. Aerodynamic drag reduction of goods trains / S. Watkins, J. W. Saunders, H. Kumar // J. of Wind Engineering and Industr. Aerodynamics. – 1992. – Vol. 40. – Iss. 2. – P. 147–178. doi:10.1016/0167-6105(92)90363-F.
- Zhai, W. Dynamic interaction between a lumped mass vehicle and a discretely supported continuous rail track / W. Zhai, Z. Cai // Computers & Structures. – 1997. – Vol. 63. – Iss. 5. – P. 987–997. doi:10.1016/S0045-7949(96)00401-4.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

С. В. МЯМЛІН<sup>1</sup>, І. Ю. КЕБАЛ<sup>2\*</sup>, С. Р. КОЛЕСНИКОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 776 84 98, ел. пошта sergeyamyamlin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

<sup>2\*</sup>Проектно-конструкторське технологічне бюро, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 12, ел. пошта blaze\_spyhernter-08@mail.ru, ORCID 0000-0002-8408-8294

<sup>3</sup>Проектно-конструкторське технологічне бюро, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 12, ел. пошта blaze777@inbox.ru, ORCID 0000-0002-0487-9257\$

## АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ НАПІВВАГОНІВ

**Мета.** Для забезпечення постійно зростаючих об'ємів перевезень вантажів необхідно впровадження інноваційного рухомого складу, який володіє кращими техніко-економічними параметрами в порівнянні з існуючим парком. Піввагон є найбільш поширеним видом залізничного вантажного вагона. Конструкції сучасних піввагонів створюються на основі багаторічного досвіду експлуатації та численних випробувань, проведених проектними та дослідницькими організаціями в галузі вагонобудування. Для поліпшення конструкції кузова піввагонів необхідно виконати огляд існуючих конструкцій і визначити тенденції у їх удосконаленні. **Методика.** Роботи з удосконалення конструкції піввагонів, що випускаються, проводяться багатьма конструкторськими організаціями практично у всіх промислово розвинених країнах. Аналіз існуючих конструкцій кузовів піввагонів можливий шляхом огляду досліджень у цій області транспортного машинобудування, а саме: патентів, наукових статей, каталогів виробників та ін. **Результати.** При виконанні аналізу було визначено, що існують піввагони різних конструкцій, але найбільш поширеними є піввагони з глухою підлогою і з розвантажувальними люками, кришки яких утворюють підлогу піввагона. Також ефективним методом зниження маси тари піввагона та збільшення об'єму кузова є застосування в конструкції алюмінієвих сплавів замість сталі. Результати аналізу вдосконалення конструкцій кузовів піввагонів показали, що створення сучасного піввагона вимагає від конструкторів і вчених реалізації наукових і технічних рішень, котрі забезпечують збільшення вантажопідйомності та об'єму кузова, зниження тари піввагонів, збільшення міжремонтних інтервалів із одночасним поліпшенням характеристик міцності та динамічних якостей. **Наукова новизна.** Вперше проведено аналіз конструкцій піввагонів, розглянуті переваги й недоліки конструкцій, визначено тенденції із удосконалення конструкцій піввагонів. **Практична значимість.** Актуальним при вдосконаленні конструкції кузова піввагона є узагальнення теоретичних, науково-методичних, експериментальних досліджень, спрямованих на подальше поліпшення техніко-економічних параметрів піввагонів. Розглянуті конструктивні особливості кузовів деяких моделей сучасних піввагонів мають практичну цінність і можуть бути використані в подальших розробках.

*Ключові слова:* піввагон; конструкція; кузов; об'єм кузова; вантажопідйомність

С. В. МЯМЛИН<sup>1</sup>, И. Ю. КЕБАЛ<sup>2\*</sup>, С. Р. КОЛЕСНИКОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 776 84 98, эл. почта sergeyamyamlin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

<sup>2\*</sup>Проектно-конструкторское технологическое бюро, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 371 51 12, эл. почта spyhernter-08@mail.ru, ORCID 0000-0002-8408-8294

<sup>3</sup>Проектно-конструкторское технологическое бюро, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 371 51 12, эл. почта blaze777@inbox.ru, ORCID 0000-0002-0487-9257\$

## АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ПОЛУВАГОНІВ

**Цель.** Для обеспечения постоянно растущих объёмов перевозок грузов необходимо внедрение инновационного подвижного состава, обладающего лучшими технико-экономическими параметрами в сравнении с существующим парком. Полувагон является наиболее востребованным видом железнодорожного грузового

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

го вагона. Конструкції сучасних полувагонів створюються на основі багаторічного досвіду експлуатації і численних випробувань, проведених проектними і дослідницькими організаціями в області вагостроєння. Для покращення конструкції кузова полувагонів необхідно виконати огляд існуючих конструкцій і визначити тенденції в їх удосконаленні. **Методика.** Роботи по удосконаленню конструкції випускаємих полувагонів проводяться багатьма конструкторськими організаціями практично в усіх промислово розвинутих країнах. Аналіз існуючих конструкцій кузовів полувагонів можливий шляхом огляду досліджень в цій області транспортного машинобудування, а саме: патентів, наукових статей, каталогів виробників і т.д. **Результати.** При виконанні аналізу було визначено, що існують полувагони різних конструкцій, але найбільш поширеними є полувагони з глухим полом і з розгрузочними люками, кришки яких утворюють пол конструкції полувагона. Також ефективним методом зниження маси тары полувагона і збільшення об'єму кузова є застосування в конструкції алюмінієвих сплавів замість сталі. Результати аналізу удосконалення конструкцій кузовів полувагонів показали, що створення сучасного полувагона вимагає від конструкторів і учених реалізації наукових і технічних рішень, що забезпечують збільшення грузопідйомності і об'єму кузова, зниження тары полувагонів, збільшення міжремонтних інтервалів з одночасним покращенням прочностних і динамічних властивостей. **Научна новизна.** Вперше проведено аналіз конструкцій полувагонів, розглянуто їх переваги і недоліки, визначено тенденції в удосконаленні даних конструкцій полувагонів. **Практична значимість.** Актуальним при удосконаленні конструкції кузова полувагона є обобщення теоретичних, науково-методических, експериментальних досліджень, направлених на подальше покращення техніко-економічних параметрів полувагонів. Розглянуті конструктивні особливості кузовів деяких моделей сучасних полувагонів мають практичну цінність і можуть бути використані в подальших розробках.

*Ключові слова:* полувагон; конструкція; кузов; об'єм кузова; грузопідйомність

## REFERENCES

1. Vakulenko I.O., Anofriiev V.H. Metalevi materialy z pidvishhenoiu mitsnistiu dlia vyhotovlennia vahoniv [Metallic materials with high strength for producing cars]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue. 37, pp. 216-219.
2. Ilin Yu. Kak perevernut vagon [How to turn the car]. *Transport - Transport*, 2012, no. 9, pp. 54-57.
3. Motovilov K.V., Lukashuk V.S., Krivorudchenko V.F. *Tekhnologiya proizvodstva i remonta vagonov* [Technology of production and repair of cars]. Moscow, Marshrut Publ., 2003. 382 p.
4. Mineyev S.P., Prusova A.A., Vygodin M.A., Mineyev A.S. Osnovnyye tekhnologicheskiye resheniya po effektivnoy razgruzke smerzshegosya gruzu iz zheleznodorozhnykh poluvagonov [The main technological solutions for the effective discharge of the frozen cargo from gondola car]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 40, pp. 124-130.
5. Korobka B.A., Shkabrov O.A., Nazarenko L.I., Mozheyko Ye.R., Yermakov V.V., Shilyayev V.N., Doroshenko V.A. *Glukhodonnyy poluvagon* [Solid-bottom gondola car]. Patent RF, no. 2004123045/11, 2004.
6. Ivanov A.O., Kossov V.S., Charkin V.A., Nozdracheva V.A., Shabeko A.P. *Gruzovoy poluvagon s glukhim polom* [Freight gondola car with solid floor]. Patent RF, no. 2009119200/11, 2009.
7. Podyapolskiy Ye.V. *Zheleznodorozhnyy poluvagon* [Railway gondola car]. Patent RF, no. 631267/24, 2013.
8. Bondarenko L.M., Kossov V.S., Pustovoy V.N., Sazonov I.V. *Kuzov gruzovogo poluvagona* [Body of the freight gondola]. Patent RF, no. 2003136374/11, 2003.
9. Boronenko Yu.P., Reshetov V.A., Loparev Ye.L., Peshkov A.V., Sokolov A.M., Khokhlov S.V., Takhchukova M.R., Manenkov A.V., Mishin V.M., Nabiullin M.I. *Poluvagon glukhodonnyy* [Solid-bottom gondola car]. Patent RF, no. 2011124493/11, 2011.
10. Sharinov I.L., Salikov V.A., Roshchupkin A.N., Korolkov V.I., Chernov V.M. *Poluvagon iz alyuminiyevykh splavov* [Gondola car of aluminium alloys]. Patent RF, no. 2007125563/11, 2007.
11. Baliasnyi Ye.I., Horulko I.O., Diachuk M.I., Yepik V.H., Kryvoruchko S.H., Piatkovskiy I.S., Kharchenko S.I. *Zaliznychnyi pivvagon* [Railway gondola car]. Patent UA, no. 20040907948, 2004.
12. Tsygan B.G., Tsygan A.B., Mokrousov S.D., Shcherbakov V.P. *Sovremennoye vagonostroyeniye. T. 3: Organizatsiya i tekhnologiya proizvodstva metallokonstruktsiy vagonov* [Modern car building. Vol. 3: Organization and production technology of car steel construction]. Kremenchug, Kremenchug. gor. tipografiya Publ., 2012. 628 p.

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

13. Tsygan B.G., Tsygan A.B., Mokrousov S.D. *Sovremennoye vagonostroyeniye. T. 1: Zheleznodorozhnyy podvizhnoy sostav* [Modern car building. Vol. 1: Railway rolling stock]. Kharkiv, Tekhnostandart Publ., 2008. 432 p.
14. Tsygan B.G., Tsygan A.B. Tendentsii razvitiya sovremennogo vagonostroyeniya: globalizatsiya proizvodstva i internatsionalizatsiya rynka [Trends in the development of modern car building: the globalization of production and the internationalization of market]. *Vagonnyy park – Car Fleet*, 2009, no. 5/6, pp. 26-29.
15. Tsygan B.G., Tsygan A.B. Tendentsii razvitiya sovremennogo vagonostroyeniya: globalizatsiya proizvodstva i internatsionalizatsiya rynka [Trends in the development of modern car building: the globalization of production and the internationalization of market]. *Vagonnyy park – Car Fleet*, 2009, no. 9/10, pp. 20-23.
16. Laney K., Anderson M. Rolling stock: Locomotives and rail cars Industry and trade summary. Washington, 2011. 128 p.
17. Watkins S., Saunders J.W., Kumar H. Aerodynamic drag reduction of goods trains. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 1992, vol. 40, issue 2, pp. 147-178. doi:10.1016/0167-6105(92)90363-F.
18. Zhai W., Cai Z. Dynamic interaction between a lumped mass vehicle and a discretely supported continuous rail track. *Computers & Structures*, 1997, vol. 63, issue 5, pp. 987-997. doi:10.1016/S0045-7949(96)00401-4.

*Prof. V. F. Ushkalov, D. Sc. (Tech.) recommended this article to be published*

Received: Sept. 12, 2014

Accepted: Nov. 3, 2014

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.463.65.02 – 047.37

О. В. ФОМІН<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Рухомий склад залізниць», Донецький інститут залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту, вул. Артема, 184, Донецьк, Україна, 83122, тел. +38 (067) 813 97 88, ел. пошта fomin1985@list.ru, ORCID 0000-0003-2387-9946

## АНАЛІЗ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ШЕСТИГРАННИХ ПОРОЖНИСТИХ ПРОФІЛІВ ЯК СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ НЕСУЧИХ СИСТЕМ НАПІВВАГОНІВ

**Мета.** Дослідження спрямоване на представлення особливостей та результатів проведених робіт із визначення доцільності впровадження шестигранних порожнистих профілів у якості складових елементів сучасних несучих систем залізничних напіввагонів. **Методика.** При проведенні дослідження використана раніше розроблена автором методика впровадження різних профілів як альтернативи існуючим виконанням несучих елементів модуля кузова вантажного вагону. Вона орієнтована на зниження матеріалоемності досліджуваної конструкції вагону при забезпеченні вимог міцності та експлуатаційної надійності. Розроблена методика включає процедури розрахунку допустимих значень моментів опору перерізу впроваджуваного шестигранного порожнистого профілю та визначення оптимальних (характеризуються мінімальною матеріалоемністю при виконанні умов міцності) значень висоти та мінімальної товщини стінки профілю в умовах конструкційних обмежень. При цьому допустимі моменти опорів розраховуються як такі, що дорівнюють значенням існуючого виконання несучого елемента або як визначений з урахуванням надлишкових конструкційних резервів. У даній роботі застосований перший напрямок. **Результати.** В результаті проведених досліджень виявлено доцільність впровадження шестигранного порожнистого профілю в якості вертикальних стійок стін бокових та горизонтальних поясів стін торцевих напіввагонів, визначені оптимальні параметри таких замінів. **Наукова новизна.** У роботі вперше розглянуто питання доцільності використання шестигранних порожнистих профілів в якості несучих елементів кузовів напіввагонів. Для вирішення цього питання розроблено математичні моделі, які описують залежність основних міцнісних та масових показників відповідних профілів від варіювання геометричних параметрів, а також допоміжний графік. **Практична значимість.** Практичне впровадження результатів проведених досліджень для універсальних напіввагонів дозволить знизити їх тару та відповідно підвищити вантажопідйомність майже на сто кілограмів при виконанні вимог міцності та експлуатаційної надійності. Це (з урахуванням масовості парку) забезпечить значний економічний ефект при їх виготовленні та експлуатації. Розроблені та представлені у статті матеріали можуть бути використані при розгляді та вирішенні аналогічних завдань для других типів вантажних вагонів, а також інших засобів транспортного машинобудування. За результатами виконаних робіт подано заявку на винахід України.

*Ключові слова:* напіввагони; складові елементи несучих систем; шестигранний порожнистий профіль

### Вступ

Ефективність функціонування та конкурентоздатність залізничного транспорту значною мірою залежить від рівня експлуатаційних витрат на рухомий склад. При цьому переважну більшість рухомого складу залізниць України (як і в інших країнах СНД) складає парк вантажних вагонів, який, в свою чергу, більш ніж на третину сформовано морально та фізично застарілими напіввагонами. Тому до пріоритетних напрямків розвитку залізничного транспорту, які визначено в основних положеннях Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 року № 1555-р.) та

Комплексної програми оновлення залізничного рухомого складу України на 2008–2020 роки (розпорядження Кабінету Міністрів України від 14 жовтня 2008 року № 1259) віднесено зниження початкової вартості та підвищення коефіцієнта тари напіввагонів. Вирішити поставлене завдання можливо шляхом модернізації існуючих базових моделей напіввагонів чи впровадження у виробництво принципово нових їхніх конструкцій.

Розроблення та впровадження у виробництво нової моделі напіввагонів є дуже відповідальний та важливий етап у вирішенні проблеми перспективного розвитку залізничного транспорту. Тому концепції проведення науково-технічної

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

політики в області створення нових конструкцій напіввагонів (так само, як і іншого рухомого складу) зумовлює їх розробку на основі застосування альтернативних підходів [1, 2] з виконанням аналізу різних варіантів рішень, тобто створення конкурентного середовища не тільки під час виробництва вагонів, а і на проектувальних та передпроектувальних стадіях. Сказане аргументує актуальність та важливість здійснення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт з відшукування потенційних технічних рішень для удосконалення конструкцій напіввагонів. У ході виконання таких робіт було проаналізовано [8–10] накопичений досвід вирішення аналогічних питань у інших галузях транспортного машинобудування. Результати аналізу вказали на перспективність відшукування альтернативних виконань несучих систем напіввагонів із сталевих порожнистих профілів.

В рамках виконання таких робіт автором була формалізована методика [9] впровадження різних варіантів виконань несучих систем вантажних вагонів, ключові моменти якої наведено нижче. У ході попередніх досліджень з впровадження порожнистих профілів [8–10] як несучі елементи конструкцій напіввагонів були розглянуті круглі, прямокутні та D-подібні труби (рис. 1, а, б).

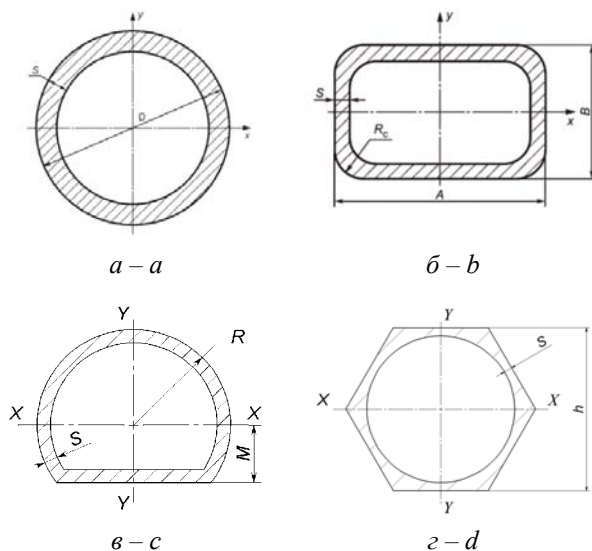


Рис. 1. Перерізи досліджуваних порожнистих профілів:

а – кругла труба; б – прямокутна труба; в – напівтруба (D-подібна труба); г – шестигранний порожнистий профіль

Fig. 1. Cross sections of hollow profiles under study

Результати таких робіт вказали на доцільність подальшого розвитку напрямку впровадження порожнистих профілів. Наступним етапом виконання робіт є розгляд перспективності впровадження шестигранних порожнистих профілів (рис. 1, г), які характеризуються зручністю їх з'єднання з іншими елементами конструкцій напіввагонів за рахунок існування зовнішніх плоских граней, а також покращеними міцнісними властивостями за рахунок круглого внутрішнього перерізу. Проте аналіз значної кількості відповідної до досліджуваного питання літератури вказав на необхідність розроблення математичних залежностей (моделей), які описуватимуть залежність основних міцнісних (моменти опору  $W_x$  та  $W_y$ ) та масового (погонна маса  $m_{пог}$ ) показників таких профілів від варіювання геометричних параметрів  $h$  та  $S$  (рис. 1, г).

### Мета

В статті подано особливості та результати виконаного аналізу доцільності застосування шестигранних порожнистих профілів як складових елементів несучих систем напіввагонів.

### Методика

У загальному вигляді процедуру впровадження шестигранних порожнистих профілів можна подати такими ключовими етапами:

**1 етап** – визначення допустимих значень моментів опору перерізу впроваджуваного шестигранного порожнистого профілю, що здійснюється за допомогою одного із нижче наведених методів [4]. Метод перший включає визначення  $W_x$  та  $W_y$  існуючого виконання несучого елемента, на основі чого визначаються  $[W_x]$ ,  $[W_y]$ . Другий метод є більш перспективним, тому що направлений на визначення та ефективне використання розрахункових резервів міцності з відповідним зниженням матеріалоемності досліджуваного елемента. Для реалізації другого напрямку необхідно комплексно досліджувати роботу елемента [3, 5, 7, 6], що розглядається у сприйнятті експлуатаційних навантажень (відповідно до I, II та III розрахункових режимів Норм). Зазначене на сучасному рівні доцільно здійснювати шляхом дослідження відповідної адекватної розрахункової скінченно-елементної моделі кузова напіввагона. При виявленні розрахункових резервів міцності конструкції (визна-

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

чаються як співвідношення отриманих максимальних експлуатаційних характеристик міцності з їх допустимими значеннями), розраховуються допустимі показники міцності  $[W_x]$ ,  $[W_y]$ .

**2 етап** – включає виконання робіт з визначення оптимальних (характеризуються мінімальною матеріалоемністю при виконанні умов міцності) значень висоти  $h^*$  (рис. 1, в) та мінімальної товщини стінки  $S^*$  профілю, в умовах конструкційних обмежень. На сьогодні для успішної реалізації таких робіт необхідно розробити та сумісно дослідити математичні моделі, які описують зміну моментів опору перерізу напівтруби  $W_x$ ,  $W_y$  та погонної її маси  $m_{пог}$  від варіювання  $h$  та  $S$ . Для визначення математичних моделей та відшукування за їх допомогою оптимальних геометричних параметрів  $h^*$  та  $S^*$  доцільно використовувати розроблений алгоритм визначення оптимальних геометричних параметрів складових елементів вантажних вагонів на основі узагальнених математичних моделей [4] або розробити допоміжний графік рівних значень [11–13].

## Результати

Під час дослідження як  $[W_x]$ ,  $[W_y]$  були взяті значення існуючих виконань несучих елементів. Як досліджувані несучі елементи напіввагонів обрано (рис. 2 та рис. 3):

- обв'язування верхнє, яке виконано із гнutoго профілю прямокутного перерізу розміром  $140 \times 110 \times 7$  мм, звареного по перерізу у коробку;
- вертикальні стійки стін бокових і горизонтальні пояси та стійки середні стін торцевих, які виконано із профілю вагонної стійки (профіль ГОСТ 5257.6-90);
- хребтову балку, яку виконано з двох зварювальних між собою Z-подібних профілів № 31 (ГОСТ 5267.3);
- шворневу балку коробчастого перерізу;
- лобову балку коробчастого перерізу;
- проміжну балку із листового металу.



Рис. 2. Загальний вигляд кузова напіввагона

Fig. 2. General view of the open car body

doi 10.15802/stp2014/33403

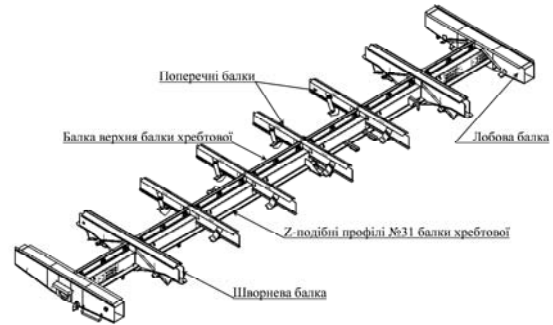


Рис. 3. Загальний вигляд рами напіввагона

Fig. 3. General view of the gondola car frame

У табл. 1 наведені визначені раніше [8–10] значення основних характеристик вищеперелічених елементів.

Таблиця 1

Table 1

№ пор.	Назва конструкційного елементу	Момент опору елементу, $\text{см}^3$	Момент опору елементу, $\text{см}^3$	Погонна маса, $\text{кг/метр погонної довжини}$	Загальна довжина на вагон, м
1	Існуюче виконання обв'язувань верхніх стін бокових та торцевих напіввагонів (профіль $140 \times 110 \times 7$ мм)	$W_x = 104,6$	$W_y = 121,4$	24,7	31,3
2	Аналог із шестигранного профілю ( $h = 144,5$ мм, $S = 0,4$ мм)	$W_x = 122,2$	$W_y = 105,8$	26,7	31,3
3	Вагонна стійка	$W_x = 116,4$	$W_y = 117,6$	28,7	45,5
4	Аналог із шестигранного профілю ( $h = 143,5$ мм, $S = 0,4$ мм)	$W_x = 119,9$	$W_y = 103,9$	26,6	45,5

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Закінчення табл. 1

End of Table 1

№ пор.	Назва конструкційного елемента	Момент опору елемента, см <sup>3</sup>	Момент опору елемента, см <sup>3</sup>	Погонна маса, кг/метр погонної довжини	Загальна довжина на вагон, м
5	Два зварювальних між собою Z-подібні профілі № 31	$W_x = 1\,994,35$	$W_y = 1\,791,91$	133,04	12,67
6	Аналог із шестигранного профілю ( $h = 425$ мм, $S = 0,4$ мм)	$W_x = 2\,012,5$	$W_y = 1\,743$	154,9	12,67
7	Лобова балка (сер.)	$W_x = 619,74$	$W_y = 602,36$	64,39	6
8	Аналог із шестигранного профілю ( $h = 275$ мм, $S = 0,4$ мм)	$W_x = 691,7$	$W_y = 599$	74,1	6
9	Шворнева балка (сер.)	$W_x = 1\,356,31$	$W_y = 445,44$	90,72	6
10	Аналог із шестигранного профілю ( $h = 360$ мм, $S = 0,4$ мм)	$W_x = 1\,355,3$	$W_y = 1\,171,5$	116,4	6
11	Проміжна балка	$W_x = 332,89$	$W_y = 44,08$	36,89	24
12	Аналог із шестигранного профілю ( $h = 209$ мм, $S = 0,4$ мм)	$W_x = 336,24$	$W_y = 291,2$	47,6	24

В подальшому за допомогою розроблених математичних моделей (формули 1–3) [4] та аналізу відповідних допоміжних графіків (при-

клад рис. 4) були визначені оптимальні значення висоти  $h^*$  та мінімальної товщини  $S^*$  для досліджуваних елементів несучих систем. Отримані дані занесені до табл. 1. В результаті розгляду отриманих значень з'ясовано, що впровадження шестигранного порожнистого профілю доцільно як вертикальні стійки стін бокових та горизонтальних поясів і стійок середніх стін торцевих. В такому випадку буде досягнуте зниження матеріалоемності загальної конструкції при виконанні вимог міцності. В інших випадках аналоги існуючих виконань несучих елементів із шестигранних профілів будуть важчими.

### Наукова новизна та практична значимість

Відповідно до вищезазначених етапів були визначені математичні моделі варіювання основних показників (моменти опору перерізу шестигранного порожнистого профілю  $W_x$ ,  $W_y$  та його погонної маси  $m_{noz}$ ) від зміни геометричних параметрів (висоти  $h^*$  (рис. 1, в) та мінімальної товщини стінки  $S^*$ ):

$$m_{noz} = -(1,777E - 08) + (3,900E - 09)h - (3E - 08)S + 0,06289h^2 - 2,45044S^2 + 2,4504hS; \quad (1)$$

$$W_x = 171,774 - 30,814h - 115,56S + 1,5836h^2 - 28,6643S^2 + 20,042hS; \quad (2)$$

$$W_y = 148,779 - 26,691h - 100,08S + 1,37163h^2 - 24,8238S^2 + 17,357hS. \quad (3)$$

Результати перевірки адекватності вищенаведених математичних моделей вказали на їх адекватність та можливість подальшого застосування.

На основі визначених математичних моделей 1–3 було розроблено допоміжний графік (рис. 4) для визначення оптимальних значень змінних параметрів.

Для перевірки працездатності впроваджуваних технічних рішень була розроблена комп'ютерна геометрична просторова модель прототипу напіввагона (рис. 5). При її створенні було прийнято до впровадження виконання стійок вертикальних стін бокових та горизонтальних

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

поясів і стійок середніх стін торцевих із шестигранного порожнистого профілю.

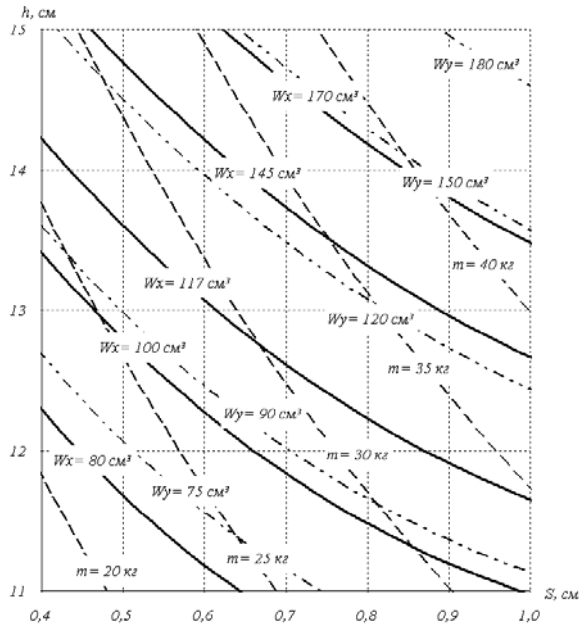


Рис. 4. Допоміжний графік до визначення оптимальних значень перерізу шестигранного порожнистого профілю:

- — — — лінії рівних значень  $m_{\text{ног.}} = f(h, S)$ ;
- лінії рівних значень  $W_x = f(h, S)$ ;
- . . . — лінії рівних значень  $W_y = f(h, S)$

Fig. 4. Auxiliary graph to determine the optimal values of hexagonal hollow profile section

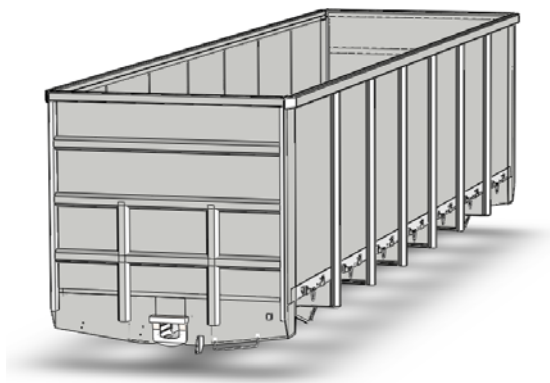


Рис. 5. Просторова геометрична комп'ютерна модель прототипу напіввагона з несучою системою із шестигранних порожнистих профілів

Fig. 5. Spatial geometric computer model of the gondola car prototype with the supporting system with hexagonal hollow profiles

Результати аналізу наведеної та представленної на рис. 5 комп'ютерної моделі засвідчили доцільність виконаних робіт та перспективність їх подальшого розгортання. Так було з'ясовано, що впровадження наведеного на рис. 5 виконання конструкції напіввагона дозволить знизити його тару майже на 100 кг з відповідним підвищенням вантажопідйомності при забезпеченні умов міцності та експлуатаційної надійності.

### Висновки

Результати виконаних та поданих у статті досліджень підтверджують доцільність використання як несучих елементів вантажних вагонів порожнистих профілів. Так впровадження розглянутих у статті, як приклад, технічних рішень дозволить знизити собівартість виготовлення та експлуатації залізничного напіввагона, за рахунок зниження його матеріалоемності, і відповідного збільшення вантажопідйомності при виконанні умов міцності та експлуатаційної надійності, що з урахуванням масовості їх парку забезпечить значний економічний ефект при їх виготовленні та експлуатації.

За результатами робіт подано заявку на винахід.

Наведені матеріали можуть використовуватися під час виконання аналогічних робіт з удосконалення несучих систем інших типів вантажних вагонів та засобів транспортного машинобудування. Вони є основою для виконання подальших науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт з реалізації розглянутого актуального та важливого для залізничного транспорту України напрямку поліпшення техніко-економічних показників вантажних вагонів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горобец, В. Л. Модель выносливости материалов и конструкций с учетом эволюции их механических характеристик / В. Л. Горобец, Ю. И. Саввин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 21. – С. 7–15.
2. Горобец, В. Л. Оценка коэффициентов запаса выносливости и эквивалентных по разрушающей способности циклических напряжений по данным натурных испытаний подвижного состава / В. Л. Горобец // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – Вип. 1. – С. 116–122.

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

3. ГОСТ 26725-97. Полувагоны четырехосные универсальные магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия. – Киев : Госстандарт Украины, 1999. – 13 с.
4. Ермаков, С. М. Математическая теория оптимального эксперимента / С. М. Ермаков, А. А. Жиглявский. – Москва : Наука, 1987. – 320 с.
5. НБ ЖТ ЦВ 01-98. Вагоны грузовые железнодорожные. Нормы безопасности. МПС Россия. – Москва : ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1998. – 17 с.
6. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – Москва : ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1983. – 260 с.
7. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – Москва : ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 354 с.
8. Фомін, О. В. Алгоритм визначення оптимальних геометричних параметрів складових елементів вантажних вагонів на основі узагальнених математичних моделей / О. В. Фомін // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 6 (48). – С. 140–146.
9. Фомін, О. В. Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів : монографія / О. В. Фомін. – Київ : ДЕДУТ, 2014. – 299 с.
10. Фомін, О. В. Оптимізаційне проектування елементів кузовів залізничних напіввагонів та організація їх виробництва : монографія / О. В. Фомін. – Донецьк : ДонІЗТ УкрДАЗТ, 2013. – 251 с.
11. Damage calculation and fatigue life prediction for freight car body / F. Zhao, J. Xie, Y. Yuan, X. Shi // *Advanced Materials Research*. – 2013. – Vol. 652–654. – P. 1357–1361. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.652-654.1357.
12. Konyukhov, A. D. Properties of welds of sheets, made of 1565ch (1565) alloy, applied to the bodies of freight cars / A. D. Konyukhov, A. M. Drits, A. K. Shurtakov // *Tsvetnye Metally*. – 2014. – № 3. – P. 71–76.
13. Zhao, F. Influence of small stress cycles on the fatigue damage of C70E car body / F. Zhao, J. Xie // *J. of Mechanical Engineering*. – 2014. – Vol. 50. – Iss. 10. – P. 121–126. doi: 10.3901/jme.2014.10.121.

А. В. ФОМИН<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Подвижной состав железных дорог», Донецкий институт железнодорожного транспорта Украинской государственной академии железнодорожного транспорта, ул. Артема, 184, Донецк, Украина, 83122, тел. +38 (067) 813 97 88, эл. почта fomin1985@list.ru, ORCID 0000-0003-2387-9946

## АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШЕСТИГРАННЫХ ПОЛЫХ ПРОФИЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ СОСТАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НЕСУЩИХ СИСТЕМ ПОЛУВАГОНОВ

**Цель.** Исследование направлено на представление особенностей и результатов проведенных работ по определению целесообразности внедрения шестигранных полых профилей в качестве составных элементов современных несущих систем железнодорожных полувагонов. **Методика.** При проведении исследования использована ранее разработанная автором методика внедрения разных профилей как альтернативы существующим исполнениям несущих элементов модуля кузова грузового вагона. Она ориентирована на снижение материалоемкости исследуемой конструкции вагона при обеспечении требований прочности и эксплуатационной надежности. Разработанная методика включает процедуры расчета допустимых значений моментов сопротивления сечения внедряемого шестигранного полого профиля и определения оптимальных (характеризуются минимальной материалоемкостью при выполнении условий прочности) значений высоты и минимальной толщины стенки профиля в условиях конструкционных ограничений. При этом допустимые моменты сопротивления рассчитываются как такие, которые равняются значением существующего выполнения несущего элемента или как определенные с учетом избыточных конструкционных резервов. В данной работе применено первое направление. **Результаты.** В результате проведенных исследований обоснована целесообразность внедрения шестигранных полых профилей в качестве вертикальных стоек стен боковых и горизонтальных поясов стен торцевых полувагонов, определены оптимальные параметры таких замен. **Научная новизна.** В работе впервые рассмотрен вопрос целесообразности использования шестигранных полых профилей в качестве несущих элементов кузовов полувагонов. Для решения этого вопроса разработаны математические модели, которые описывают зависимость основных прочностных и массовых показателей соответствующих профилей от варьирования геометрических параметров, а также вспомогательный

doi 10.15802/stp2014/33403

© О. В. Фомін, 2014

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

график. **Практическая значимость.** Практическое внедрение результатов проведенных исследований для универсальных полувагонов позволит снизить их тару и соответственно повысить грузоподъемность почти на сто килограммов при выполнении требований прочности и эксплуатационной надежности. Это с учетом массовости парка обеспечит значительный экономический эффект при их изготовлении и эксплуатации. Разработанные и представленные в статье материалы могут быть использованы при рассмотрении и решении аналогичных заданий для иных типов грузовых вагонов, а также других средств транспортного машиностроения. По результатам выполненных работ подана заявка на изобретение Украины.

*Ключевые слова:* полувагоны; составные элементы несущих систем; шестигранный полый профиль

O. V. FOMIN

<sup>1</sup>\*Dep. «Rolling Stock of Railways», Donetsk Institute of Railway Transport of Ukrainian State Academy of Railway Transport, Artem St., 184, Donetsk, Ukraine, 83122, tel. +38 (067) 813 97 88, e-mail fomin1985@list.ru, ORCID 0000-0003-2387-9946

## APPLICABILITY ANALYSIS OF HEXAHEDRAL HOLLOW PROFILES AS COMPONENT ELEMENTS OF SUPPORTING SYSTEMS FOR GONDOLA CARS

**Purpose.** The purpose of work is presentation of features and results of the conducted works on determination of introduction expedience of hexahedral hollow profiles as the component elements of the modern supporting systems of railway freight gondola cars. **Methodology.** During the research an introduction methodology of different types of profiles as alternative to the existent supporting elements of the body module for freight car was used. This methodology had been developed by the author before. It is oriented to the reduction in material consumption and providing of strength requirements and operating reliability of the car design under study. The developed methodology includes the procedures of admissible values calculation of the resistance moments of the section of the hexahedral hollow profile, which is being introduced. It also includes the determination of optimum (i.e. characterized by the minimum material consumption when meeting the durability requirements) values of height and minimum thickness of profile in the conditions of construction limitations. At the same time the admissible resistance moments are calculated as such, which are equal to the value of existent implementation of supporting element or as such that are determined taking into account the surplus design reserve. The first direction is applied in this work. **Findings.** As a result of the conducted research the introduction expedience of hexahedral hollow profiles as vertical rods of the lateral and latitude belts of the walls of the butt-end freight gondola cars is grounded and the optimum parameters of such replacements are determined. **Originality.** The problem of the use expedience of hexahedral hollow profiles as the supporting elements of the freight gondola cars bodies was first considered in the article. To solve this problem the mathematical models describing the dependence of basic strength and mass indexes of the proper profiles on varying the geometrical parameters, as well as the auxiliary graph are developed. **Practical value.** Practical implementation of the results of conducted research for universal freight gondola cars will reduce their empty weight and accordingly increase their lifting capacity for almost 100 kg. upon the implementation of durability and operating reliability requirements. This taking into account the large scale of their park will provide a considerable economic effect at their producing and operation. The materials developed and presented in the article can be used for consideration and solution of analogical tasks for other types of freight cars, and also for other facilities of the transport engineering. According to the results of the work an invention application of Ukraine was applied.

*Keywords:* gondola cars; component elements of supporting systems; hexahedral hollow profile

### REFERENCES

1. Gorobets V.L., Savvin Yu.I. Model vynoslivosti materialov i konstruktsiy s uchetom evolyutsii ikh mekhanicheskikh kharakteristik [Durability model of materials and structures, taking into account the evolution of their mechanical characteristics]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 21, pp. 7-15.
2. Gorobets V.L. Otsenka koeffitsientov zapasa vynoslivosti i ekvivalentnykh po razrushayushchey sposobnosti tsiklicheskikh napryazheniy po dannym naturnykh ispytaniy podvizhnogo sostava [Evaluation of durability factors and equivalent cyclic stresses according to destroying ability on the field tests of rolling stock]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bul-

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- letin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2003, issue 1, pp. 116-122.
3. GOST 26725-97. *Poluvagony chetyrekhosnyye universalnyye magistralnykh zheleznykh dorog kolei 1520 mm. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya* [State Standard 26725-97. Four-axle universal gondola cars of the mainline railroads with the track 1520 mm]. Kyiv, Gosstandart Ukrainy Publ., 1999. 13 p.
  4. Yermakov S.M., Zhiglyavskiy A.A. *Matematicheskaya teoriya optimalnogo eksperimenta* [Mathematic theory of optimal experiment]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 320 p.
  5. NB ZhT TsV 01-98. *Vagony gruzovyye zheleznodorozhnyye. Normy bezopasnosti. MPS Rossiya* [NB ZhT TsV 01-98. Railway freight cars. Safety Regulations. Ministry of Transportation in Russia]. Moscow, VNIIV-VNIIZhT Publ., 1998. 17 p.
  6. *Normy dlya rascheta i proyektirovaniya novykh i moderniziruyemykh vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh)* [The rules for calculation and design of new and modernized railway cars Transportation Ministry with the track 1520 mm (non-self propelled)]. Moscow, VNIIV-VNIIZhT Publ., 1983. 260 p.
  7. *Normy rascheta i proyektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh)* [The rules for calculation and design of railway cars of Transportation Ministry with the track 1520 mm (non-self propelled)]. Moscow, GosNIIV-VNIIZhT Publ., 1996. 354 p.
  8. Fomin O.V. Alhorytm vyznachennia optymalnykh heometrychnykh parametriv skladovykh elementiv vantazhnykh vahoniv na osnovi uzahalnenykh matematychnykh modelei [Algorithm for determining the optimal geometric parameters of the constituent elements of freight cars based on generalized mathematical models]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 6 (48), pp. 140-146.
  9. Fomin O.V. *Doslidzhennia defektiv ta poskodzhen nesuchykh system zaliznychnykh napivvahoniv* [The study of defects and damages of bearing systems of gondolas]. Kyiv, DETUT Publ., 2014. 299 p.
  10. Fomin O.V. *Optymizatsiine proektuvannia elementiv kuzoviv zaliznychnykh napivvahoniv ta orhanizatsiia yikh vyrobnytstva* [Optimization design of the body elements of railway gondolas and organization of their production]. Donetsk, DonIZT UkrDAZT Publ., 2013. 251 p.
  11. Zhao F., Xie J., Yuan Y., Shi X. Damage calculation and fatigue life prediction for freight car body. *Advanced Materials Research*, 2013, vol. 652-654, pp. 1357-1361. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.652-654.1357.
  12. Konyukhov A.D., Drits A.M., Shurtakov A.K. Properties of welds of sheets, made of 1565ch (1565) alloy, applied to the bodies of freight cars. *Tsvetnye Metally*, 2014, no. 3, pp. 71-76.
  13. Zhao F., Xie J. Influence of small stress cycles on the fatigue damage of C70E car body. *Journal of Mechanical Engineering*, 2014, vol. 50, issue 10, pp. 121-126. doi: 10.3901/jme.2014.10.121.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Г. Пузирем (Україна); д.т.н., проф. С. В. Мямліним (Україна)

Надійшла до редколегії: 20.08.2014

Прийнята до друку: 23.10.2014

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

UDC 624.191.21:624.137.4

S. V. BORSHCHEVSKIY<sup>1\*</sup>, V. D. PETRENKO<sup>2\*</sup>, O. L. TIUTKIN<sup>3\*</sup>,  
YE. YU. KULAZHENKO<sup>4\*</sup>, O. M. KULAZHENKO<sup>5\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Construction of Mines and Underground Structures», Donetsk National Technical University, Artem St., 58, room 414, Donetsk, Ukraine, 83001, tel. +38 (062) 301 03 23, e-mail borshevskiy@gmail.com, ORCID 0000-0002-7194-8785

<sup>2\*</sup>Dep. «Tunnels, Bases and Foundations», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 708 50 69, e-mail petrenko1937@mail.ru, ORCID 0000-0002-5902-6155

<sup>3\*</sup>Dep. «Tunnels, Bases and Foundations», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 290 45 18, e-mail tutkin@mail.ru, ORCID 0000-0003-4921-4758

<sup>4\*</sup>Dep. «Tunnels, Bases and Foundations», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (098) 768 49 21, e-mail jaksson777@rambler.ru, ORCID 0000-0002-4529-7384

<sup>5\*</sup>Dep. «Tunnels, Bases and Foundations», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (096) 992 15 81, e-mail murzilka891@mail.ru, ORCID 0000-0002-6077-1689

### SCIENTIFIC EVIDENCE FOR WALLS FASTENING TECHNOLOGIES OF WORKING TRENCH BY THE SPECIAL METHOD «SLURRY WALL» FOR SHALLOW SUBWAYS' STATIONS

**Purpose.** It's necessary to carry out justification of fastening technology and the choice of the optimal variant, creating dependency diagrams of moving for idealized cases by means of automated methods of calculations. **Methodology.** To achieve this goal, the finite element solid models, which reflect the design of the working trench for the shallow subways' stations, with four ways to fix the "slurry wall", as well as a calculation and analysis of the stress-strain state of structures and fixtures calculated using the complex with using the finite element method (FEM) is built in the software package SCAD. **Findings.** The analysis of the stress-strain state and movements of various fundamental systems of soil nailing and comparing the results by displaying the calculations results of main and equivalent stresses, using the built-in postprocessors in software package SCAD. Namely, were identified extreme tensions arising in the wall and strut rail. It is built the tables and the resulting graph of behavior of the structural fastening condition; the parameters change of the surrounding array on the base of the research. It is possible to analyze and compare the operation of different constructions of slopes fastening of working trench by means of their help. **Originality.** In solving this problem have been analyzed and studied the behavior of the structure fastening the «slurry wall», and its stress-strain state, the location and the fastening areas that need further elaboration, study and introduction of measures to strengthen the construction of fences and auxiliary fixing elements, presented with metal strut rail. **Practical value.** In the era of highly advanced building technologies in the construction of underground facilities with using the special method of "slurry wall" the question arises about the quick selection of optimal parameters, elements and methods of securing its walls from excessive strain and avoidance of displacement to the calculation of possible combinations of permanent loads from soil in the construction of the working trench.

*Key words:* "slurry wall"; strut rail fastening; stress-strain state

## Introduction

Owing to the dynamic growth of the population in the cities and a tendency of the perspective transport infrastructure solution with using of underground space, there is a task in the solution of a number of questions, belonging to area of underground construction. The building of the underground facilities, which is being built by the open method, requires a detailed design and protection from excessive strain of fastening construction, and daily surface around the working trench. The progressive method of fixing of the working trench slopes is the special method of a construction “slurry wall”.

This method of the construction of working trench has several disadvantages, namely: the emergence of excessive deformations and displacements in the system of wall-array local occurrence of extreme stress [2].

The question is to strengthen the design on the finite element model, which is a prototype of the working trench of the shallow subway’s station using the additional fastening by means of strut rail.

## Purpose

Numerical justify fixing technology and selection of optimal variant, creating graphs comparing of fastening for idealized cases and finding methods to prevent undue strain and stress in the wall.

## Methodology

It is build the finite element models that reflect the working trench for the shallow subway’s station, with four ways of fastening “slurry wall” for achieve this task, and also the calculation and analysis of the stress-strain state structures and fastening elements by means of FEM complex calculation is conducted.

## Findings

The analysis of the stress-strain state and movement of various fundamental soil nailing system and comparing of the given results. It is built the tables and resulting graphs behavior and state of construction fasteners, change its settings and parameters surrounding the array on the basis of researches.

## Originality and practical value

In solving task in hand was analyzed and investigated the behavior of fixing construction and its

stress-strain state, found the space and plots of fixing construction which require further elaboration, investigation and resolution measures to strengthen the construction and consolidation items.

During the construction of underground facilities with using a special method “slurry wall” the question that has to be answered is in a fast selection of optimal parameters, elements and ways to consolidate its walls from excessive strain, stabilize the soil mass around working trench, minimizing the value of its deformation and prevent landslides with the expectation gravity load in the construction of working trench.

Developments of finite element model for calculation the dimensional mountings of “slurry wall”.

For calculation the stress-strain state of the fixing construction of the working trench by means of strut rail is used finite-element model which is a section of working trench of length 7 m. The square size of the finite element is taken 0.5 m.

As it is considered the part of the construction, which has the extensive sizes, it is necessary to impose the relocation ban of the appropriate sides: the relocation prohibition along the global axes X, Y, Z, for a basis, and in X, Y directions, on extreme edges, that lying in the YoZ and XoZ planes accordingly [4].

For strut rail fixing two options are selected:

1. Alternative mounting by means of help of one row strut rail, as shown in Fig. 1, and in the form of a pipe with a diameter of 1 000 mm and thick wall of 10 mm;

2. Option fixing with two rows of strut rail, as it is shown in Fig. 1b, in the form of pipes with a diameter of 1 000 mm and a wall thickness of 10 mm;

Strut rail in the submitted models are represented as finite element of square section. For faithful calculation results by means of VC SCAD, it is given elastic modulus, principal moment of inertia section area of pipe and composite unit weight in accordance with section [8, 13].

It is developed models and calculation of a homogeneous soil mass for a more detailed analysis and idealized stress-strain state of fixing construction [6, 7]. It allowed reflecting the real action of one given type of the soil on construction of a barrier.

The calculation was conducted with using parameters that numerically reflect the properties of the material and ground mounting sections and values through their elastic modules, the proportion of materials and Poisson’s ratio for each type of rigidity [3, 5].

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

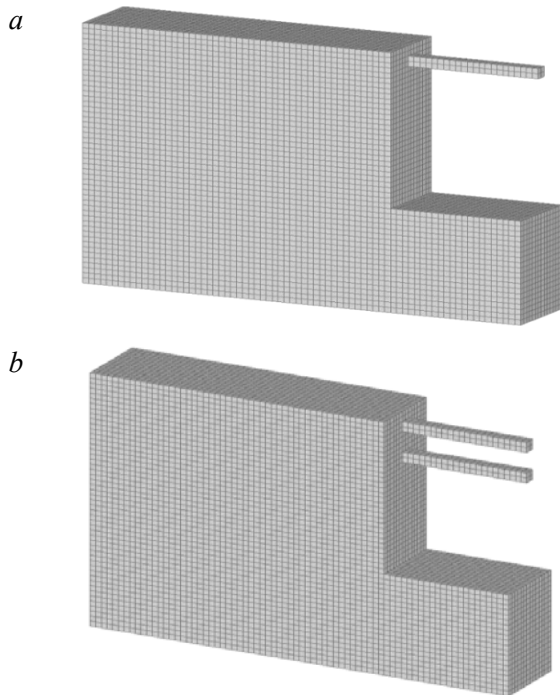


Fig. 1. The finite element model with additional fastening “slurry wall” by means of:  
*a* – one row of strut rail; *b* – two rows of strut rail

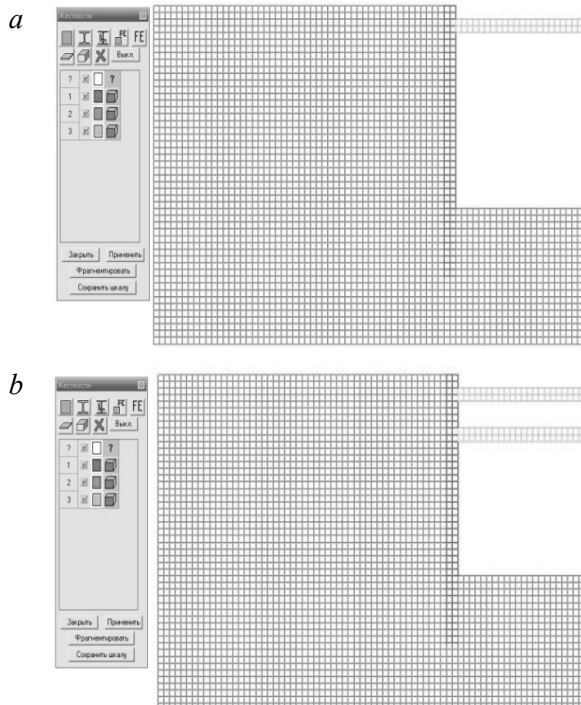


Fig. 2. The rigidities scheme of the finite element model during fixing the walls attaching of the working trenches:  
*a* – by means of the one row of strut rails;  
*b* – by means of the two rows of strut rails

The soils surrounding the array presented in a variety of similar species, such as sandy, loam, clay and sand.

The diagram (Fig. 2, *a, b*) shows the placement of designated models of rigidity, which correspond to the actual placement of fixing construction in the working trench with one and two rows of strut rails, respectively.

These numerical characteristics of the soil and the materials fastening elements are summarized in the Table 1.

Table 1

**Numerical parameters of the material models**

Name of the element	Elasticity modulus $E$ , MPa	Relative density $\gamma$ , kN/m <sup>3</sup>	Poisson’s ratio $\mu$
Soils			
Sandy loam	15	20.00	0.3
Loam	25	20.00	0.3
Clay	30	20.00	0.3
Sand	75	20.00	0.3
Fastenings			
Ferroconcrete	$32.5 \cdot 10^3$	24.50	0.2
Strut rails	$210 \cdot 10^3$	77.00	0.3

For further calculation of construction for strength, that carried on concrete that is used to crack the maximum normal stresses arising in the “slurry wall” along the global Z-axis [10, 14].

The obtaining of normal stresses allows considering multi-axial stress in elements of model and more precisely to clarify behavior of construction in case of interaction it with the environmental array executions and caused by its loadings [6].

It is the initial data for calculating finite-element models of attachment.

The calculation for working trench, slopes consolidation of which are presented in the form of “slurry wall” attached to one and two tiers of strut rails. Each of these models is the section of working trench length of 7 m [11].

For comparing four finite-element models of a special method of working trench slopes fixing by means of “slurry wall” without any additional fixing with the help of strut rails are constructed. The rigidity is appropriated to these models, the similarly provided in Table 1, except strut rail fixing. This model allows to compare system behavior of

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

fixing-array and to define points the application of points of additional coupling in the form of strut rails. The following number 0-1, 0-2, 0-3, and 0-4 for environmental arrays in the form of sandy loam, loam, clay and sand respectively is assigned to these models.

It is analyses the stress-strain state of working trench mounting with the help of “slurry wall” without additional fasteners.

The software package SCAD Office 11.5 was used to calculate the construction of stress-strain state. The scheme of the distribution of normal stresses along the Z-axis, available in wall and it is visible section of their maximum values, and these values are extreme at 10 m from the top “slurry wall” are given on Fig. 3. Data retrieved of tensile stresses in concrete allow picking up reinforcement for the given construction.

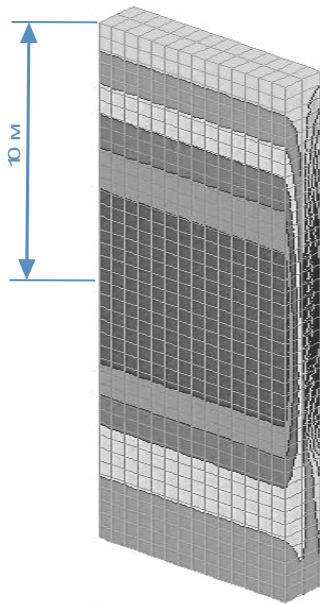


Fig. 3. The scheme of the voltages in the “slurry wall” without the additional fastening.

By means of results it is revealed the trouble spots which need the additional fixing and gains for introduction into service. The maximum expanding and compression stresses which arose in construction when using the environmental array in the form of sandy loam, loam, clay and sand are defined. These data allow calculating fixing construction reinforcements.

In the analysis of horizontal relocation it was revealed that the maximum relocation of “slurry wall”, are watched at the level of top of a retaining wall. All these data are provided in table 2.

Table 2

## Stress and displacement models without additional fastening

No. model	Soil	Tension NZ, kN/cm <sup>2</sup>		Displacement, cm
		+	-	
0-1	Loam sandy	0.61	0.41	24.10
0-2	Clay loam	0.54	0.38	16.00
0-3	Clay	0.53	0.38	14.42
0-4	Sand	0.31	0.26	6.75

During the study the calculation of the finite-element models mount slopes of the working trench with using a special method “slurry wall” without any additional mounting was conducted. The resulting diagrams clearly reflect the processes in the surrounding array and the “slurry wall” [10, 14].

Considering the data provided in Table 2 it is possible to draw a conclusion that “slurry wall” has the considerable margin of safety, but this system doesn’t satisfy a boundary condition of horizontal relocation of the wall top in case of model with loam makes the maximum value of 24,10 cm. So it is necessary to enter additional systems of fixing in the form of executions of the same kind at the level of 1, 5 m from wall top. It will allow compensating relocation, arisen in system without additional fixing [10].

It is analysis of the stress-strain state of working trench mounting with “slurry wall” with additional support in the form of the one row of strut rails.

In models that have been developed and calculated using the finite element method with the introduction of a number of strut rail clearly displayed behavior change “slurry wall”. These changes consist in reducing the horizontal movement of the wall with the array of local and extra stress at the site of attachment to the strut rail fence [12, 15].

The diagram (Fig. 4) shows movement isofield of fastening systems along the X-axis of the global maximum values of displacement and stress: for walls – at the bottom of the working trench and third of the height of the wall from the bottom of the working trench, respectively; and contiguity strut rail at the “slurry wall”. The results are summarized in Table 3.

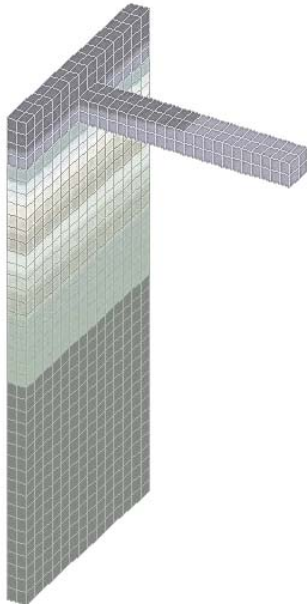


Fig. 4. The scheme of movements along the global X-axis

According to the attained results it is shown that the design has significant reserves of strength for the first group of limiting states. However, it does not satisfy the condition of horizontal displacement (second boundary condition) in different types of soils.

The largest equivalent stress and horizontal displacement observed in the variant with the surrounding array, which is presented in a sandy loam and smallest values of these parameters are observed in the array, in the form of sand.

Table 3

**The stresses and displacement in models with additional fixing with one row of strut rails**

No. model	Soil	Tension NZ, kN/cm <sup>2</sup>		Displacement, cm
		+	-	
1-1	Loam sandy	0.56	0.39	24.03
1-2	Clay loam	0.49	0.36	16.53
1-3	Clay	0.47	0.35	15.06
1-4	Sand	0.26	0.24	7.22

By means of results it is revealed trouble spots which need additionally fixing and gains for introduction into service. The maximum expanding and compression stresses which arose in construction

when using an environmental array in the form of sandy loam, loam, clay and sand are defined. These data allow calculating the fixing construction of reinforcements.

It can be concluded that the introduction of additional spacer model led to reduction of stress in concrete construction “slurry wall” and reduce the horizontal displacement at the top of the working trench. However, at the bottom of the pit horizontal displacement values increased significantly as a result of “slurry wall” “rotation” around the strut rail. In this case it is advisable to introduce an additional row of strut rail vertically, to reduce the expression of this phenomenon.

It is analysis of the stress-strain state of working trench mounting with “slurry wall” with additional support in the form of two rows of strut rails.

In the above models for analysis and comparison have been introduced additional second tier of strut rails. This event allowed significantly reduces the horizontal displacement system mounting and reduce its domestic efforts [14, 16]. The results of models calculation with the help of finite element method are shown in Table 4.

Table 4

**Stress and displacement models with additional fastening with two rows of strut rails**

No. model	Soil	Tension NZ, kN/cm <sup>2</sup>		Displacement, cm
		+	-	
2-1	Loam sandy	0.24	0.54	20.90
2-2	Clay loam	0.27	0.41	13.26
2-3	Clay	0.27	0.38	11.60
2-4	Sand	0.19	0.23	5.66

These results show that the introduction of the additional second row of strut rails allowed reducing the horizontal displacements up to 25% compared to the variants of working trench mounting slopes with using the optional mounting as one row of strut rail. However, there were local extreme tensions at the site of attachment of the second strut rail row. Following to this, efforts for strengthening the places of strut rail attaching point enter the additional reinforcement.

### Conclusions

By results of these conducted researches the analysis of change of the intense deformed status of construction of slopes fixing is made. The solution of these tasks was shown that it didn't lead to introduction of one vertical row of strut rails to significant improvement of indexes and led to the origin of additional tension and extreme relocation at the level of excavation bottom. It shows that with big depths of working trenches it is necessary to enter additional vertical rows of strut rails in the course of carrying out the soil development for shallow subways' stations and other underground engineering constructions [1].

According to the movements it is built the dependency diagrams of elastic modulus and horizontal displacements wall-soil system for each case of working trench fixing. The diagrams are built for extreme values of displacements at the excavation bottom (except option without additional fasteners) and shown in Fig. 5. The data of relocation for a graphics of fixing option of the working trench without strut rails are used for the level of working trench top [16].

This diagram shows efficiency of additional fixing introduction of two vertical rows of strut rails and the changing of deformations value with change of elastic modulus of an environmental array.

The graphs of functions are represented as power function and performance with reliability approximation equal to about 1, which is confirming the existence of power dependence of the elasticity modulus and movement in the system [9].

According to the given results of calculations it is possible to make the following conclusions.

The method of introducing of the additional rows of strut rails in the fastening construction has been achieved the reduction of the horizontal displacement at the excavation bottom. And to reduce the value of the main stress concrete construction "slurry wall", which is allowing arguing about the effectiveness of using this method in any geological conditions, presented by soils with unstable grounds [7].

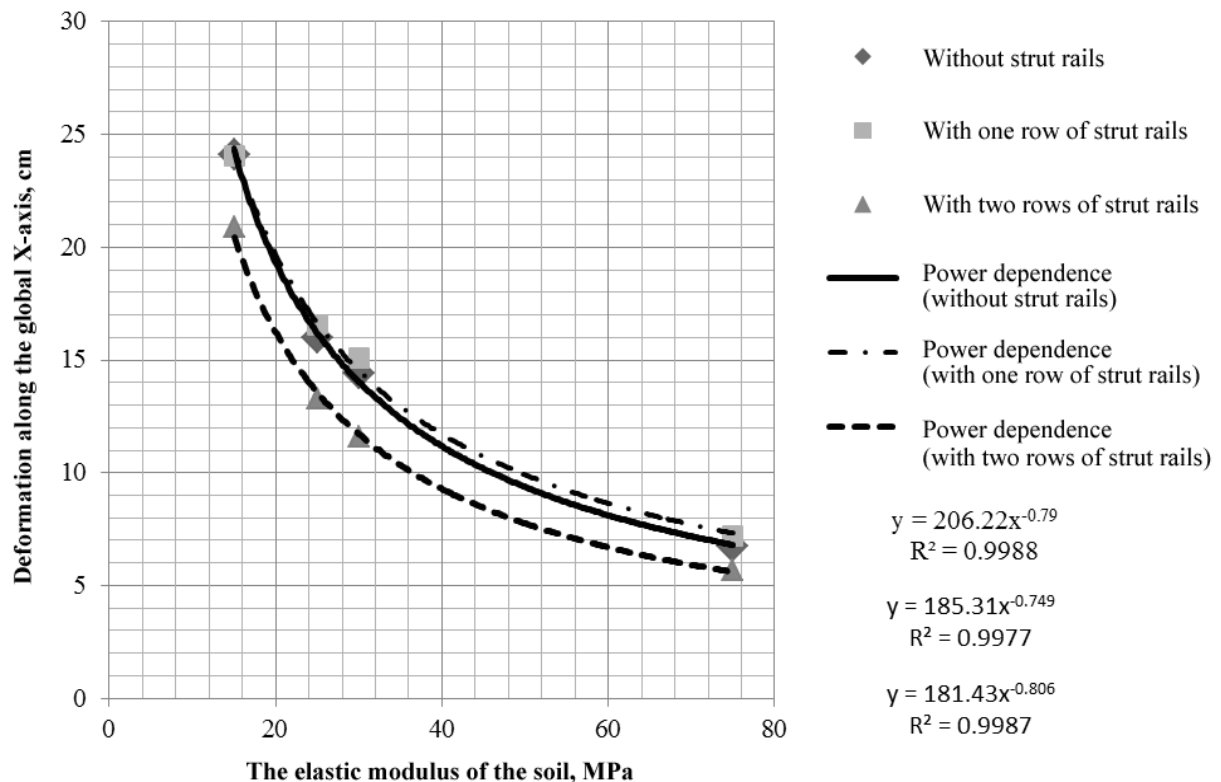


Fig. 5. The dependence graph of the horizontal displacements of the array from the elasticity modulus

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

## LIST OF REFERENCE LINKS

1. Баклашов, И. В. Механика подземных сооружений и конструкции крепей / И. В. Баклашов, Б. А. Картозия. – Москва : Недра, 1984. – 415 с.
2. Изменение напряженно-деформированного состояния грунтов при устройстве глубоких выемок / Н. В. Зуевская, С. А. Дворник, В. Е. Губашова, Ю. В. Вольк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 38. – С. 142–147.
3. Колесников, В. С. Возведение подземных сооружений методом «стена в грунте». Технология и средства механизации : учеб. пособие / В. С. Колесников, В. В. Стрельникова. – Волгоград : ВолГУ, 1999. – 144 с.
4. Купрій, В. П. Моделювання напружено-деформованого стану кріплення глибокого котловану / В. П. Купрій, Д. В. Тютюкін // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 3. – С. 89–94.
5. Нікіфорова, Т. Д. Дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій заглиблених будівель з урахуванням їх взаємодії з ґрунтовим масивом / Т. Д. Нікіфорова // Вісн. Придніпр. держ. акад. буд-ва та архіт. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 1–2. – С. 19–25.
6. Основы моделирования при решении задач горной геомеханики / С. Ф. Алексеенко, А. Г. Заболотный, Л. А. Штанько [и др.]. – Киев : Техника, 1996. – 173 с.
7. Петрова, А. Е. Оценка эффективности ограждений котлованов / А. Е. Петрова, К. Э. Шерстяных // XXXVIII Неделя науки СПбГПУ : материалы междунар. науч.-практ. конф. – Санкт-Петербург, 2010. – Ч. I. – С. 254–255.
8. Рикардс, Р. Б. Метод конечных элементов в теории оболочек и пластин / Р. Б. Рикардс. – Рига : Зинатне, 1988. – 284 с.
9. Розробка та впровадження нових ресурсозберігаючих і техногенно-безпечних технологій будівництва метрополітенів та тунелів в Україні / В. І. Петренко, С. М. Ліхман, В. В. Янікін [та ін.] // Колега. – 2012. – № 3. – С. 4–46.
10. Тютюкін, О. Л. Основи енергетичного підходу до аналізу напружено-деформованого стану системи «кріплення - масив» / О. Л. Тютюкін // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 26. – С. 141–146.
11. Фролов, Ю. С. Метрополитены на линиях мелкого заложения. Новая концепция строительства / Ю. С. Фролов, Ю. Е. Крук. – Москва : ТИМР, 1994. – 202 с.
12. A design method for slurry trench wall stability in sandy ground based on the elasto-plastic FEM / P. Oblozinski, K. Ugai, M. Katagiri [et al.] // Computers and Geotechnics. – 2001. – № 28 (2). – P. 145–159.
13. Chew, S. H. Three-dimensional Finite Element Analysis of a Struttred Excavation / S. H. Chew, K. Y. Yong, A. Y. K. Lim. – Computer Methods and Advances in Geomechanics. – 1997. – Vol. 3. – P. 1915–1920.
14. Hu, X. Research on particle flow approach for modeling face failure mechanism in slurry shield tunneling under complex ground conditions / X. Hu, Z. Zhang // Chinese J. of Rock Mechanics and Engineering. – 2013. – Vol. 32. – Iss. 11. – P. 2258–2267.
15. Konstantakos, D. C. Measured Performance of Slurry Walls / D. C. Konstantakos, M. S. Thesis. – Cambridge : Massachusetts Institute of Technology, 2000. – 361 p.
16. Safety management in tunnel construction: Case study of Wuhan metro construction in China / L. Ding, L. Zhang, X. Wu [et al.] // Electronic J. of Geotechnical Engineering. – 2014. – Vol. 62. – P. 8–15. doi: 10.1016/j.ssci.2013.07.021.

С. В. БОРЩЕВСКИЙ<sup>1\*</sup>, В. Д. ПЕТРЕНКО<sup>2\*</sup>, О. Л. ТЮТКИН<sup>3\*</sup>, Е. Ю. КУЛАЖЕНКО<sup>4\*</sup>, Е. Н. КУЛАЖЕНКО<sup>5\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Строительство шахт и подземных сооружений», Донецкий национальный технический университет, ул. Артема, д. 58, к. 414, Донецк, Украина, 83001, тел. +38 (062) 301 03 23, эл. почта borshevskiy@gmail.com, ORCID 0000-0002-7194-8785

<sup>2\*</sup>Каф. «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (050) 708 50 69, эл. почта petrenko1937@mail.ru, ORCID 0000-0002-5902-6155

<sup>3\*</sup> Каф. «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, +38 (066) 290 45 18, эл. почта: tutkin@mail.ru, ORCID 0000-0003-4921-4758

<sup>4\*</sup>Каф. «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (098) 768 49 21, эл. почта jaksson777@rambler.ru, ORCID 0000-0002-4529-7384

<sup>5\*</sup>Каф. «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (096) 992 15 81, эл. почта murzilka891@mail.ru, ORCID 0000-0002-6077-1689

## НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ КРЕПЛЕНИЯ СТЕН КОТЛОВАНОВ СПЕЦИАЛЬНЫМ СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ» ДЛЯ СТАНЦИЙ МЕТРОПОЛИТЕНОВ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

**Цель.** В работе проведено обоснование применения технологий крепления и выбор оптимального варианта, создания графиков зависимостей перемещения для идеализированных случаев при помощи автоматизированных методов расчетов. **Методика.** Для достижения поставленной цели в программном комплексе SCAD построены конечно-элементные объемные модели, которые отображают конструкцию котлована для станций метрополитенов мелкого заложения, с четырьмя способами закрепления «стены в грунте». Также произведен расчет и анализ напряженно-деформированного состояния конструкций и элементов крепления с помощью расчетного комплекса с использованием метода конечных элементов (МКЭ). **Результаты.** При помощи отображения результатов расчетов главных и эквивалентных напряжений, используя встроенные постпроцессоры в программном комплексе SCAD, проведен анализ напряженно-деформированного состояния и перемещений различных принципиальных систем крепление-грунт и сравнение полученных результатов. А именно, были определены экстремальные напряжения, возникшие в стене и расстрелах. На основе исследований построены таблицы и результирующие графики поведения состояния конструкции крепления, изменения параметров окружающего массива. С их помощью можно анализировать и сравнивать работу разных конструкций укрепления откосов котлованов. **Научная новизна.** При решении данной задачи было проанализировано и исследовано поведение конструкции крепления «стены в грунте» и ее напряженно-деформированного состояния. Определены места и участки конструкций крепления, которые нуждаются в дальнейшей детальной разработке, изучении и введении мероприятий для укрепления конструкции ограждения и вспомогательных элементов закрепления, представленных металлическими расстрелами. **Практическая значимость.** В эпоху высокопрогрессивных технологий строительства при сооружении подземных объектов с использованием специального способа «стена в грунте» возникает вопрос быстрого подбора оптимальных параметров элементов и способов укрепления её стен от чрезмерных деформаций. Также стабилизации грунтового массива вокруг котлована, минимизировав значения его деформации и избегания сдвигов с расчетом возможных комбинаций постоянных нагрузок от грунтов при сооружении котлована.

*Ключевые слова:* «стена в грунте»; расстрельное крепление; напряженно-деформированное состояние

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

С. В. БОРЩЕВСЬКИЙ<sup>1\*</sup>, В. Д. ПЕТРЕНКО<sup>2\*</sup>, О. Л. ТЮТЬКІН<sup>3\*</sup>, Є. Ю. КУЛАЖЕНКО<sup>4\*</sup>,  
О. М. КУЛАЖЕНКО<sup>5\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Будівництво шахт і підземних споруд», Донецький національний технічний університет, вул. Артема, д. 58, к. 414, Донецьк, Україна, 83001, тел. +38 (062) 301 03 23, ел. пошта borshevskiy@gmail.com, ORCID 0000-0002-7194-8785

<sup>2\*</sup>Каф. «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (050) 708 50 69, ел. пошта petrenko1937@mail.ru, ORCID 0000-0002-5902-6155

<sup>3\*</sup>Каф. «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, ел. пошта tutkin@mail.ru, ORCID 0000-0003-4921-4758

<sup>4\*</sup>Каф. «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (098) 768 49 21, ел. пошта jaksson777@ Rambler.ru, ORCID 0000-0002-4529-7384

<sup>5\*</sup>Каф. «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (096) 992 15 81, ел. пошта murzilka891@mail.ru, ORCID 0000-0002-6077-1689

## НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ КРІПЛЕННЯ СТІН КОТЛОВАНІВ СПЕЦІАЛЬНИМ СПОСОБОМ «СТІНА В ГРУНТІ» ДЛЯ СТАНЦІЙ МЕТРОПОЛІТЕНУ МІЛКОГО ЗАКЛАДЕННЯ

**Мета.** В роботі проведено обґрунтування застосування технологій кріплення та вибір оптимального варіанту, створення графіків підбору кріплення для ідеалізованих випадків за допомогою сучасних автоматизованих методів розрахунку. **Методика.** Для досягнення поставленої задачі в програмному комплексі SCAD побудовано скінченно-елементні об'ємні моделі, які відображають конструкцію котловану для станції метрополітену мілкового закладення, з двома різними способами закріплення «стіни в ґрунті». Також проведено розрахунок та аналіз напружено-деформованого стану конструкцій та елементів кріплення за допомогою розрахункового комплексу з використанням методу скінченних елементів (МСЕ). **Результати.** За допомогою відображення результатів розрахунків головних та еквівалентних напружень, використовуючи вбудовані постпроцесори в програмному комплексі SCAD, проведено аналіз напружено-деформованого стану та переміщень різних принципів систем кріплення-ґрунт і порівняння отриманих результатів. А саме, було визначено екстремальні напруження, які виникли в стіні та розстрілах. На основі досліджень побудовані таблиці та результуючі графіки поведінки та стану конструкції кріплення, зміни його параметрів та параметрів оточуючого масиву. За їх допомогою можна аналізувати та порівнювати роботу різних конструкцій закріплення відкосів котлованів. **Наукова новизна.** При вирішенні даної задачі було проаналізовано та досліджено поведінку конструкції кріплення «стіни в ґрунті» та її напружено-деформованого стану. Виявлені місця та ділянки конструкцій кріплення, які потребують подальшої детальної розробки, дослідження та вирішення заходів із укріплення конструкції огороження та додаткових елементів закріплення, які представлені металевими розстрілами. **Практична значимість.** В епоху високорозвинених технологій будівництва при спорудженні підземних об'єктів із використанням спеціального способу «стіна в ґрунті» постає питання швидкого підбору оптимальних параметрів елементів та способів для закріплення його стін від надмірних деформацій. Також стабілізації ґрунтового масиву навколо котловану, мінімізувавши значення його деформацій та запобігання зсувів, з розрахунком можливих комбінацій постійного навантаження від ґрунтів при спорудженні котловану станції.

*Ключові слова:* «стіна в ґрунті»; розстрільне кріплення; напружено-деформований стан

### REFERENCES

1. Baklashov I.V., Kartoziya B.A. *Mekhanika podzemnykh sooruzheniy i konstruksii krepey* [Mechanics of underground constructions and supports design]. Moscow, Nedra Publ., 1984. 415 p.
2. Zuyevskaya N.V., Dvornik S.A., Gubashova V.Ye., Volyk Yu.V. *Izmeneniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyanya gruntov pri ustroystve glubokikh vyyemok* [The change of soils stress-stain state at operation of deep excavation]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni*

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

- akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 38, pp. 142-147.
3. Kolesnikov V.S., Strelnikova V.V. *Vozvedeniye podzemnykh sooruzheniy metodom «stena v grunte». Tekhnologiya i sredstva mekhanizatsiy* [Building of underground constructions by the way of «slurry wall». Technology and means of mechanization]. Volgograd, VolGU Publ., 1999. 144 p.
  4. Kupriy V.P., Tiutkin D.V. Modeliuvannya napruzhenno-deformovanoho stanu kriplennia hlybokoho kotlovanu [Modeling of stress-strain state of mount deep ditch]. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka* [Bridges & tunnels: theory, research, practice]. Dnipropetrovsk, 2012, issue 3, pp. 89-94.
  5. Nikiforova T.D. Doslidzhennia napruzhenno-deformovanoho stanu zalizobetonnykh konstruksiy budivel z urakhuvanniam yikh vzaiemodiyi z hruntovym masyvom [The stress-strain state investigation of reinforced-concrete structures of the earth sheltered building interacting with soil mass]. *Visnyk Prydniprovskoyi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture], 2013, issue 1-2, pp. 19-25.
  6. Alekseyenko S.F., Zabolotnyy A.G., Shtanko L.A. *Osnovy modelirovaniya pry reshenii zadach geomekhaniki* [The basis of modeling in solving problems of Geomechanics]. Kyiv, Tekhnika Publ., 1996. 173 p.
  7. Petrova A.Ye., Sherstyanykh K.Ye. Otsenka effektivnosti ograzhdeniy kotlovanov [Assessment of efficiency fencing of pits]. *XXXVIII Nedelya nauky Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta: materialy mezhdunarodnoy Nauchno-prakticheskoy konferentsiy. Ch. I.* [XXXVIII week of science St. in Petersburg State Polytechnic University: materials of the Int. Scientific-Practical Conf. Part I]. Saint Petersburg, 2010, pp. 254-255.
  8. Rikards R.B. *Metod konechnykh elementov v teorii obolochek i plastin* [Finite-element method in the theory of shells and plates]. Riga, Zinatne Publ., 1988. 284 p.
  9. Petrenko V.I., Likhman S.M., Yanikin V.V. Rozrobka ta vprovadzhenia novykh resursozberihaiuchykh i tekhnohenno-bezpechnykh tekhnolohii budivnytstva metropoliteniv ta tuneliv [Development and implementation of new resources saving and technogenic-safety buildings technology of subways and tunnels in Ukraine]. *Kolega – Colleague*, 2012, no. 3, pp. 4-46.
  10. Tiutkin O.L. *Osnovy enerhetychnoho pidkhodu do analizu napruzhenno-deformovanoho stanu systemy «kriplennia - masyv»* [Basics energetic approach to the analysis of the stress-strain state of the “mount – array”]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 26, pp. 141-146.
  11. Frolov Yu.S., Kruk Yu.Ye. *Metropoliteny na liniyakh melkogo zalozheniya. Novaya kontseptsiya stroitelstva* [Subways lines shallow. New construction concept]. Moscow, TIMR Publ., 1994. 204 p.
  12. Oblozinski P.A, Ugai K., Katagiri M., Saitoh K., Ishii T., Masuda T., Kuwabara K. A design method for slurry trench wall stability in sandy ground based on the elasto-plastic FEM. *Computers and Geotechnics*, 2001, no. 28 (2), pp. 145-159. doi: 10.1016/j.ssci.2013.07.021.
  13. Chew S.H., Yong K.Y., Lim A.Y. Three-dimensional Finite Element Analysis of a Struttred Excavation. *Computer Methods and Advances in Geomechanics*, 1997, vol. 3, pp. 1915-1920.
  14. Hu X., Zhang Z. Research on particle flow approach for modeling face failure mechanism in slurry shield tunneling under complex ground conditions. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2013, vol. 32, issue 11, pp. 2258-2267.
  15. Konstantakos D.C., Thesis M.S. Measured Performance of Slurry Walls. Cambridge, Institute of Technology Publ., 2000. 361 p.
  16. Ding L., Zhang L., Wu X, Skibniewski M.J., Qunzhou Y. Safety management in tunnel construction: Case study of Wuhan metro construction in China. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 2014, vol. 62, pp. 8-15. doi: 10.1016/j.ssci.2013.07.021.

*Prof. M. M. Biliaiev, D. Sc. (Tech.); Prof. A. Ye. Roienko, D. Sc. (Tech.) recommended this article to be published*

Received: Aug. 20, 2014

Accepted: Oct. 14, 2014

**ТЕМАТИЧНИЙ ПОКАЖЧИК ЖУРНАЛУ «НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ.  
ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ» ЗА 2014 РІК**

<b>Наука та прогрес транспорту</b>	<b>№</b>	<b>Стор.</b>	<b>Моделювання аварійного забруднення атмосфери при надзвичайній ситуації в сховищі твердого ракетного палива. М. М. Біляєв, О. В. Берлов, О. В. Шевченко</b>	<b>5</b>	<b>29</b>
Розвиток наукової школи транспортної механіки: творча спадщина Є. П. Блохіна. С. В. Мямлін, Т. О. Колесникова	1	7			
Розробка критеріїв ефективності заряду й розряду твердотілого теплового акумулятора. С. С. Беліменко, В. О. Іщенко	5	7	<b>Економіка та управління</b>		
<b>Автоматизовані системи управління на транспорті</b>			Удосконалена методика визначення економічної ефективності будівництва та експлуатації високошвидкісної магістралі в Україні. Ю. С. Бараши, А. В. Момот	1	33
Аналіз сучасного стану пристроїв автоблокування, методів його обслуговування та контролю. А. М. Безнаритний, В. І. Гаврилюк, О. О. Гололобова	1	22	Стратегічний вплив мобільності на організації. Г. Головкова	1	51
Математичне моделювання стрілочного електродвигуна змінного струму. С. Ю. Буряк	2	7	Проблема економічної безпеки в сучасних макро- та мікроекономічних концепціях. І. І. Рекун	1	59
Математичне моделювання вхідних пристроїв системи автоматичної локомотивної сигналізації. О. О. Гололобова	2	21	Методичний підхід щодо визначення привабливості пасажирських перевезень залізничного транспорту. Н. О. Божок	2	31
Дослідження електромагнітної сумісності зворотної тягової мережі з пристроями сигналізації, централізації та блокування. А. М. Безнаритний, В. І. Гаврилюк, І. О. Романцев, В. І. Шека	3	7	Вдосконалення процесу вантажних перевезень та механізму управління ними. Л. В. Марценюк, А. В. Вишнякова	2	41
Дослідження діагностичних ознак стрілочних електроприводів змінного струму. С. Ю. Буряк, В. І. Гаврилюк, О. О. Гололобова, А. М. Безнаритний	4	7	Організація вантажних перевезень в Україні в умовах реформування. Л. В. Марценюк	3	15
Дослідження впливу ліній електропередачі на роботу системи автоматичної локомотивної сигналізації неперервної дії. О. О. Гололобова, В. І. Гаврилюк, М. О. Ковригін, С. Ю. Буряк	5	17	Напрями удосконалення обліку та внутрішнього аудиту дебіторської заборгованості підприємств. В. Д. Зелікман, Ю. А. Соніна	4	37
Дослідження часової залежності та спектрального складу сигналу в колі стрілочних електродвигунів змінного струму. С. Ю. Буряк, В. І. Гаврилюк, О. О. Гололобова	6	7	Механізм створення проекту з відкриття ферми в контексті розвитку сільського туризму. Л. В. Марценюк, Ю. М. Проскурня, Т. В. Тесленко	4	43
<b>Екологія на транспорті</b>			Дослідження підходів до підвищення ефективності функціонування підрозділів залізничного транспорту з позиції сталого розвитку. О. І. Харченко	4	52
Моделювання локального захисту будівель (shelter-in-place) із урахуванням сорбції небезпечної речовини на поверхнях усередині приміщень. М. М. Біляєв, Н. В. Росточило, Ф. В. Недопьокін	4	23	Напрямки розвитку внутрішнього туризму в Україні. Л. В. Марценюк	6	23
			Удосконалення методів економічного моделювання для підвищення ефективності використання інвестицій. С. В. Мямлін, К. В. Жижко	6	34

Моделювання фінансово-економічної безпеки транспортних підприємств на основі факторного аналізу. <i>А. О. Новіков, М. М. Новікова</i>	6	42	Визначення енергетичної ефективності системи взаємного навантаження тягових електричних машин. <i>А. М. Афанасов, А. Ю. Друбецький, С. В. Арпуль, А. П. Хворостянкіна</i>	2	67
<b>Експлуатація та ремонт засобів транспорту</b>					
Основні вимоги та принципи створення бортових систем діагностування локомотивів. <i>Є. Б. Боднар</i>	1	68	Аналіз ефективності системи теплопостачання студмістечка дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. <i>О. М. Пшійко, В. О. Габрінець, В. М. Горячкін</i>	2	74
Удосконалення методів стимулювання відправницької маршрутизації на залізничному транспорті. <i>А. І. Верлан</i>	1	75	Передумови експериментального дослідження електромагнітної сумісності тягового асинхронного електроприводу в структурі системи тягового електропостачання постійного струму. <i>Ю. С. Бондаренко</i>	3	34
Вплив параметрів контактної мережі на значення швидкості зростання струму при коротких замиканнях у силових колах електрорухомого складу. <i>О. О. Карзова</i>	2	49	Вплив якості живлячої електроенергії на нагрівання допоміжних машин електрорухомого складу змінного струму. <i>Л. В. Дубинець, О. Л. Маренич, О. О. Маренич, О. Ю. Балійчук, О. М. Духновський</i>	3	42
Оцінка професійного ризику та аналіз помилкових дій працівників операторського профілю Придніпровської залізниці. <i>О. А. Никифорова, Г. Г. Сидоренко</i>	2	58	Імовірно-статистичний і кореляційно-спектральний аналізи струму рекуперації електрорухомого складу постійного струму. <i>А. В. Нікітенко, М. О. Костін</i>	3	51
Вплив «вікон» на пропускну спроможність залізничного напрямку. <i>М. І. Музикін, Г. І. Нестеренко</i>	3	24	Визначення раціональних режимів взаємного навантаження тягових двигунів електрорухомого складу магістрального та промислового транспорту. <i>А. М. Афанасов</i>	4	67
Модель раціонального відновлення технологічного обладнання депо промислового підприємства. <i>М. І. Капіца, Т. С. Гришечкіна</i>	4	60	Сучасні підходи з технічного обслуговування та ремонту обладнання тягових підстанцій електрифікованих залізниць на основі Smart-технологій. <i>О. О. Матусевич</i>	4	75
Дослідження закономірностей пасажиропотоків у залізничному приміському сполученні. <i>Т. М. Грушевська</i>	5	39	Визначення частоти високочастотної ланки для перспективної схеми електрорухомого складу. <i>Д. О. Забаріло</i>	5	65
Пошкодження робочих елементів інструменту, пов'язаних із пластичним деформуванням затверділих органічних речовин. <i>А. Р. Мілянич</i>	5	48	Теоретичні аспекти та методи ідентифікації параметрів пристроїв систем електричної тяги. Метод вагової функції. <i>Т. М. Міщенко</i>	5	74
Дослідження властивості масштабної інваріантності системи організації поїздопотоків на основі теорії перколяції. <i>А. В. Прохорченко</i>	5	56	Підвищення ефективності транспортного обслуговування тролейбусами на основі рівнів спожитої ними потужності. <i>В. В. Аулін, І. О. Плохов, Д. В. Голуб</i>	6	59
Методологія визначення величини параметру складності нештатної ситуації під час ведення поїзду. <i>О. М. Горобченко</i>	6	50			
<b>Електричний транспорт</b>					
Електродинаміка передачі та втрат електроенергії в пристроях систем електричної тяги. <i>М. О. Костін</i>	1	86			

Регулювання небалансного електромагнітного моменту в системах взаємного навантаження електричних машин тягового та моторвагонного рухомого складу магістрального та промислового транспорту. <i>А. М. Афанасов</i>	6	70	Вплив хімічних сполук на формування електродугового розряду. <i>І. О. Вакуленко, С. О. Плітченко, Д. М. Макаревич</i>	4	86
Удосконалення технічного обслуговування обладнання тягових мереж на основі процесного підходу. <i>Д. В. Міронов</i>	6	78	Термостійкість графітизованої сталі. <i>В. О. Савченко</i>	4	95
<b>Залізнична колія</b>			Вплив хімічних речовин на формування електродугового розряду. <i>І. О. Вакуленко, С. О. Плітченко, Д. М. Макаревич</i>	5	92
Методика визначення допустимих швидкостей руху поїздів на складних ділянках плану залізниці. <i>М. Б. Курган, Д. М. Курган, Н. П. Хмелевська, С. Ю. Байдак</i>	2	83	Підвищення якості вторинних силумінів шляхом використання рафінувально-модифікувальної, термічної та лазерної обробки. <i>І. П. Волчок, О. Л. Скуйбіда, О. В. Лютова, Н. В. Широкобокова</i>	5	101
Результати обстеження георадарним комплексом дефектних місць земляного полотна Донецької залізниці. <i>В. Д. Петренко, В. В. Ковалевич</i>	5	83	Комплексне модифікування вторинних силумінів. <i>О. А. Мітяєв, І. П. Волчок, Р. О. Фролов, К. М. Лоза, О. В. Гнатенко, В. В. Лукінов</i>	6	87
<b>Матеріалознавство</b>			Вплив фізичних і теплових процесів на структуру та властивості високохромистого чавуну при обробці різанням. <i>В. В. Нетребко</i>	6	97
Механізм впливу розміру зерна фериту на міцність при втомі низьковуглецевої сталі. <i>І. О. Вакуленко, С. В. Пройдак</i>	1	97	Розробка складу наповнювача на основі сплаву Fe–B–C для зносостійких композиційних покриттів. <i>О. В. Сухова, Н. О. Здоровець</i>	6	104
Обґрунтування оцінки та вибору кінематичних і трибологічних характеристик системи «шестірня-зубчаста рейка» станів холодної прокатки труб. <i>Т. М. Кадильникова, Л. Ф. Сушко</i>	1	105	<b>Моделювання задач транспорту та економіки</b>		
Вплив електричного іскрового розряду на твердість вуглецевої сталі. <i>І. О. Вакуленко, С. В. Пройдак, З. Страдомські, В. А. Дядько</i>	2	95	Комплексне оцінювання стану та якості функціонування залізничних станцій. <i>Д. О. Поліщук</i>	1	112
До вибору технологічної схеми пом'якшувальної термічної обробки високохромистого чавуну. <i>В. Г. Єфременко, Ю. Г. Чабак, К. Шимидзу, А. В. Джеренова, Б. В. Єфременко</i>	2	103	Математична модель формування оптимального портфеля проектів із урахуванням випадкових факторів. <i>І. А. Корхіна</i>	2	111
Оцінка необерненої ушкоджуваності при втомі вуглецевої сталі. <i>І. О. Вакуленко, О. М. Перков, М. Кнапінські, М. Болотова</i>	3	65	Класифікація аеропортів і пріоритетність їх реконструкції. <i>К. В. Марінцева</i>	2	119
Вибір матеріалу та технологія виготовлення заготовок з алюмінієвого сплаву АК6. <i>Н. Є. Калініна, С. І. Мамчур, К. О. Мусіна, М. В. Грекова, Т. К. Лопаткіна</i>	3	75	Похідна функції множини по мірі та її застосування (Теоретичні основи інвестиційних задач). <i>А. А. Босов, П. О. Лоза</i>	3	92
Отримання зварних виробів з спечених титанових сплавів. <i>О. Є. Катустян, О. В. Овчинников, І. О. Вакуленко</i>	3	84	Моделі кінематики і динаміки циліндричних роликотітаників залізничного транспорту. <i>А. В. Гайдамака</i>	3	100
			Стратегічне управління транспортним вантажним комплексом. <i>А. М. Огороков</i>	4	101

Розробка математичної моделі процесів тепломасообміну відкритого плавального басейну. <i>М. В. Шаптала, Д. Є. Шаптала</i>	6	113	Пружно-фрикційний ковзун для візка вантажного вагона. <i>Г. Вайчунас, С. В. Мямлін, А. А. Босов, В. Я. Панасенко, І. В. Клименко, Є. Ф. Федоров</i>	3	117
<b>Нетрадиційні види транспорту</b>					
Обґрунтування способів зниження енергоспоживання підвісних канатних доріг. <i>С. В. Ракиша, О. С. Куроп'ятник, А. О. Курка</i>	1	125	Дослідження функціонування різних структурних варіантів гнучких потоків для ремонту вагонів за допомогою імітаційного моделювання. <i>В. В. Мямлін</i>	3	124
Дослідження можливості використання резервів енергії приводів під-вісних канатних доріг з урахуванням діаграм окружних зусиль. <i>Ю. К. Горячев, А. С. Куроп'ятник, М. Р. Измайлов</i>	3	109	Експериментальні дослідження динамічних якостей вантажних вагонів з візками різних конструкцій. <i>С. В. Мямлін, О. О. Тен, Л. О. Недужа</i>	3	136
Основи резонансно-структурної теорії віброударного розвантаження транспортних засобів. <i>Р. Д. Іскович-Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський</i>	5	109	Концепція оптимального за енерговитратами пасажирського вагона з використанням нетрадиційних джерел енергії. <i>В. О. Габриниць, І. В. Титаренко</i>	4	111
<b>Промисловий транспорт</b>					
Розробка заходів із покращення показників міцності несучих конструкцій головних вагонів дизель-поїздів ДР1А на підставі виконаних експериментально-теоретичних робіт. <i>О. М. Бондарев, В. Л. Горобець, Д. О. Ягода, О. О. Бондарев</i>	1	132	Напрямки удосконалення системи утримання моторвагонного рухомого складу <i>О. С. Крашенінін, В. А. Гогаєв</i>	4	119
Методи та дослідження з подовження терміну служби несучих конструкцій тягового рухомого складу для промислового транспорту. <i>О. М. Бондарев, В. Л. Горобець, С. В. Мямлін</i>	2	130	Вісь колісної пари з порожниною постійного перерізу. <i>С. Р. Колесников, Н. Р. Романюха, І. Ю. Кебал</i>	5	119
<b>Рухомий склад і тяга поїздів</b>					
Динаміка вантажних вагонів на візках моделі 18-1711 із різною конструкцією клинів ресорного підвішування. <i>М. Б. Манкевич</i>	1	142	Дослідження динамічних характеристик піввагонів на перспективних візках. <i>С. В. Мямлін, В. М. Бубнов, Є. О. Письменний</i>	5	126
Раціоналізація конструкції опорних пристроїв вагонів-цистерн для рідких вантажів. <i>М. В. Павлюченков</i>	1	151	Особливості експлуатації електропоїздів EP1, EP2 за межами призначеного строку служби. <i>В. Л. Горобець, О. М. Бондарев, В. М. Скобленко</i>	6	119
Визначення впливу показників тертя в системі «кузов – візок» на динаміку вантажного вагона. <i>С. В. Мямлін, Л. О. Недужа, А. О. Швець</i>	2	152	Визначення коефіцієнту запасу за втомною міцністю несучих конструкцій кузовів вагонів при перевезенні залізничними поромами. <i>А. О. Ловська</i>	6	128
Дослідження кривих ліній, заданих кубічним розподілом кривини. <i>С. А. Устенко, С. В. Діданов, О. Ю. Агарков</i>	2	164	Аналіз конструкцій напіввагонів. <i>С. В. Мямлін, І. Ю. Кебал, С. Р. Колесников</i>	6	139
			Аналіз доцільності застосування шестигранних порожнистих профілів у якості складових елементів несучих систем напіввагонів. <i>О. В. Фомін</i>	6	146
			<b>Транспортне будівництво</b>		
			Порівняльний аналіз моделей залізничних навантажень С14 та LM71 для балкових мостів. <i>В. Є. Артёмов, О. С. Распопов</i>	1	160

Дослідження застосування наскрізних двотаврів для прогонових будов наплавних мостів. <i>Ю. М. Горбатюк, К. І. Солдатов, М. С. Папко</i>	2	173	Наукове обґрунтування технологій кріплення стін котлованів спеціальним способом «стіна в ґрунті» для станцій метрополітену мілкого закладення. <i>С. В. Борщевський, В. Д. Петренко, О. Л. Тютькін, Є. Ю. Кулаженко, О. М. Кулаженко</i>	6	154
Організація системи матеріального забезпечення будівництва. <i>А. В. Радкевич, І. А. Арутюнян</i>	3	146	<b>Розвиток вищої школи</b>		
Аналіз деформованого стану конструкцій перегінних тунелів київського метрополітену на ділянці переходу від спондилових глин до бучацьких пісків. <i>В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, О. Л. Тютькін, Д. В. Тютькін</i>	4	127	Розвиток концентрації й стійкості уваги студентів-залізничників у процесі психологічної та психофізичної підготовки. <i>В. В. Пічурін</i>	2	187
Перспективи застосування різьбового з'єднання арматури. <i>А. В. Радкевич, А. М. Нетеса</i>	4	139	Механізм цивільно-правового захисту прав патентовласника на основі формули винаходу. <i>Н. В. Марченко</i>	3	160
Контактна міцність механоактивованих дрібнозернистих бетонів із доменних гранульованих шлаків. <i>В. І. Большаков, М. О. Єлісєєва, С. А. Щербак</i>	5	138	Рівень розвитку психологічної і психофізичної підготовленості студентів до професійної праці на залізниці. <i>В. В. Пічурін</i>	4	148
Аналіз і перспективи застосування ефективних ресурсозберігаючих технологій у виробництві бетону. <i>Г. П. Іванова, О. І. Труфанова</i>	5	150			
Чисельне моделювання в'язкопружних матеріалів. <i>С. П. Панченко</i>	5	157			

## ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ЖУРНАЛА «НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА. ВЕСТНИК ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА» ЗА 2014 ГОД

### Наука и прогресс транспорта

Развитие научной школы транспортной механики: творческое наследие Е. П. Блохина. *С. В. Мямлин, Т. А. Колесникова* 1 7

Разработка критериев эффективности заряда и разряда твердотельного теплового аккумулятора. *С. С. Белименко, В. А. Ищенко* 5 7

### Автоматизированные системы управления на транспорте

Анализ современного состояния устройств автоблокировки, методов её обслуживания и контроля. *А. М. Безнарытний, В. И. Гаврилюк, О. А. Гололобова* 1 22

Математическое моделирование стрелочного электродвигателя переменного тока. *С. Ю. Буряк* 2 7

Математическое моделирование входных устройств системы автоматической локомотивной сигнализации. *О. А. Гололобова* 2 21

Исследование электромагнитной совместимости обратной тяговой сети с устройствами сигнализации, централизации и блокировки. *А. М. Безнарытний, В. И. Гаврилюк, С. Ю. Буряк, О. А. Гололобова* 3 7

Исследование диагностических признаков стрелочных электроприводов переменного тока. *С. Ю. Буряк, В. И. Гаврилюк, О. А. Гололобова, А. М. Безнарытний* 4 7

Исследование влияния линий электропередачи на работу системы автоматической локомотивной сигнализации непрерывного действия. *О. А. Гололобова, В. И. Гаврилюк, М. А. Ковригин, С. Ю. Буряк* 5 17

Исследование временной зависимости и спектрального состава сигнала в цепи стрелочных электродвигателей переменного тока. *С. Ю. Буряк, В. И. Гаврилюк, О. А. Гололобова* 6 7

### Экология на транспорте

Моделирование локальной защиты зданий (shelter in-place) с учетом сорбции опасного вещества на поверхностях внутри помещений. *Н. Н. Беляев, Н. В. Росточило, Ф. В. Недопёкин* 4 23

Моделирование аварийного загрязнения атмосферы при чрезвычайной ситуации в хранилище твердого ракетного топлива. *Н. Н. Беляев, А. В. Берлов, А. В. Шевченко* 5 29

### Экономика и управление

Усовершенствованная методика определения экономической эффективности строительства и эксплуатации высокоскоростной магистрали в Украине. *Ю. С. Бараши, А. В. Момот* 1 33

Стратегическое влияние мобильности на организации. *А. Головкова* 1 51

Проблема экономической безопасности в современных макро- и микро концепциях. *И. И. Рекун* 1 59

Методический подход к определению привлекательности пассажирских перевозок железнодорожного транспорта. *Н. А. Божок* 2 31

Совершенствование процесса грузовых перевозок и механизма управления ими. *Л. В. Марценюк, А. В. Вишнякова* 2 41

Организация грузовых перевозок в Украине в условиях реформирования. *Л. В. Марценюк* 3 15

Пути совершенствования учета и внутреннего аудита дебиторской задолженности предприятий. *В. Д. Зеликман, Ю. А. Соница* 4 37

Механизм создания проекта по открытию фермы в контексте развития сельского туризма. *Л. В. Марценюк, Ю. Н. Проскурня, Т. В. Тесленко* 4 43

Исследование подходов к повышению эффективности функционирования подразделений железнодорожного транспорта с позиции устойчивого развития. *О. И. Харченко* 4 52

Направления развития внутреннего туризма в Украине. <i>Л. В. Марценюк</i>	6	23	Методология определения величины параметра сложности нештатной ситуации во время ведения поезда. <i>А. Н. Горобченко</i>	6	50
Совершенствование методов экономического моделирования для повышения эффективности использования инвестиций. <i>С. В. Мямлин, К. В. Жижко</i>	6	34	<b>Электрический транспорт</b>		
Моделирование финансово-экономической безопасности транспортных предприятий на основе факторного анализа. <i>А. А. Новиков, М. Н. Новикова</i>	6	42	Электродинамика передачи и потерь электроэнергии в устройствах систем электрической тяги. <i>Н. А. Костин</i>	1	86
<b>Эксплуатация и ремонт средств транспорта</b>			Определение энергетической эффективности системы взаимного нагружения тяговых электрических машин. <i>А. М. Афанасов, А. Е. Друбецкий, С. В. Арпуль, А. П. Хворостянкина</i>	2	67
Основные требования и принципы создания бортовых систем диагностики локомотивов. <i>Е. Б. Боднарь</i>	1	68	Анализ эффективности системы теплоснабжения студгородка Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. <i>А. Н. Пшинько, В. А. Габриней, В. Н. Горячкин</i>	2	74
Совершенствование методов стимулирования отправительской маршрутизации на железнодорожном транспорте. <i>А. И. Верлан</i>	1	75	Влияние качества питающей электроэнергии на нагревание вспомогательных машин электроподвижного состава переменного тока. <i>А. Ю. Балыйчук, Л. В. Дубинец, А. Н. Духновский, О. А. Маренич, О. Л. Маренич</i>	3	34
Влияние параметров контактной сети на значение скорости нарастания тока при коротком замыкании в силовых цепях электроподвижного состава. <i>О. А. Карзова</i>	2	49	Предпосылки экспериментального исследования электромагнитной совместимости тягового асинхронного электропривода в структуре системы тягового электроснабжения постоянного тока. <i>Ю. С. Бондаренко</i>	3	42
Оценка профессионального риска и анализ ошибочных действий работников операторского профиля приднепровской железной дороги. <i>Е. А. Никифорова, А. Г. Сидоренко</i>	2	58	Вероятностно-статистический и корреляционно-спектральный анализы тока рекуперации электроподвижного состава постоянного тока. <i>А. В. Никитенко, Н. А. Костин</i>	3	51
Влияние «окон» на пропускную способность железнодорожного направления. <i>М. И. Музыкин, Г. И. Нестеренко</i>	3	24	Определение рациональных режимов взаимного нагружения тяговых двигателей электроподвижного состава магистрального и промышленного транспорта. <i>А. М. Афанасов</i>	4	67
Модель рационального восстановления технологического оборудования депо промышленного предприятия. <i>М. И. Капица, Т. С. Гришечкина</i>	4	60	Современные подходы технического обслуживания и ремонта оборудования тяговых подстанций электрифицированных железных дорог на основе smart-технологий. <i>А. А. Матусевич</i>	4	75
Исследование закономерностей пассажиропотока в железнодорожном пригородном сообщении. <i>Т. Н. Грушевская</i>	5	39	Определение частоты высокочастотного звена для перспективной схемы электроподвижного состава. <i>Д. А. Забарило</i>	5	65
Повреждения рабочих элементов инструмента, связанных с пластическим деформированием затвердевших органических веществ. <i>А. Р. Милянчи</i>	5	48			
Исследование свойства масштабной инвариантности системы организации поездопотоков на основе теории перколяции. <i>А. В. Прохорченко</i>	5	56			

Теоретические аспекты и методы идентификации параметров устройств системы электрической тяги. Метод весовой функции. <i>Т. Н. Мищенко</i>	5	74	Оценка необратимой повреждаемости при усталости углеродной стали. <i>И. О. Вакуленко, О. Н. Перков, М. Кнапински, М. Болотова</i>	3	65
Повышение эффективности транспортного обслуживания троллейбусами на основе уровней потребляемой ими мощности. <i>В. В. Аулин, И. О. Плохов, Д. В. Голуб</i>	6	59	Выбор материала и технология изготовления заготовок из алюминиевого сплава АК6. <i>Н. Е. Калинина, С. И. Мамчур, Е. А. Мусина, М. В. Грекова, Т. К. Лопаткина</i>	3	75
Регулирование небалансного электромагнитного момента в системах взаимного нагружения электрических машин тягового и моторвагонного подвижного состава магистрального и промышленного транспорта. <i>А. М. Афанасов</i>	6	70	Получение сварных изделий из спеченных титановых сплавов. <i>А. Е. Капустян</i>	3	84
Усовершенствование технического обслуживания оборудования тяговых сетей на основе процессного подхода. <i>Д. В. Миронов</i>	6	78	Влияние химических соединений на формирование электродугового разряда. <i>И. А. Вакуленко, С. А. Плитченко, Д. Н. Макаревич</i>	4	86
<b>Железнодорожный путь</b>			Термостойкость графитизированной стали. <i>В. А. Савченко</i>	4	95
Методика определения допустимых скоростей движения поездов на сложных участках плана железной дороги. <i>Н. Б. Курган, Д. Н. Курган, Н. П. Хмельевская, С. Ю. Байдак</i>	2	83	Влияние химических соединений на формирование электродугового разряда. <i>И. А. Вакуленко, С. А. Плитченко, Д. Н. Макаревич</i>	5	92
Результаты обследования георадарным комплексом дефектных мест земляного полотна Донецкой железной дороги. <i>В. Д. Петренко, В. В. Ковалевич</i>	5	83	Повышение качества вторичных силуминов путём использования рафинирующе-модифицирующей, термической и лазерной обработок. <i>И. П. Волчок, Е. Л. Скуйбеда, О. В. Лютова, Н. В. Широкобокова</i>	5	101
<b>Материаловедение</b>			Комплексное модифицирование вторичных силуминов. <i>А. А. Митяев, И. П. Волчок, Р. А. Фролов, К. Н. Лоза, О. В. Гнатенко, В. В. Лукинов</i>	6	87
Механизм влияния размера зерна феррита на усталостную прочность низкоуглеродистой стали. <i>И. А. Вакуленко, С. В. Пройдак</i>	1	97	Влияние физических и тепловых процессов на структуру и свойства высокохромистого чугуна при обработке резанием. <i>В. В. Нетребко</i>	6	97
Обоснование оценки и выбора кинематических и трибологических характеристик системы «шестерня-зубчатая рейка» станова холодной прокатки труб. <i>Т. М. Кадильникова, Л. Ф. Сушко</i>	1	105	Разработка состава наполнителя на основе сплава Fe–V–C для износостойких композиционных покрытий. <i>Е. В. Суховая, Н. А. Здоровец</i>	6	104
Влияние электрического искрового разряда на твердость углеродистой стали. <i>И. А. Вакуленко, С. В. Пройдак, З. Страдомски, В. А. Дядько</i>	2	95	<b>Моделирование задач транспорта и экономики</b>		
К выбору технологической схемы смягчающей термической обработки высокохромистого чугуна. <i>В. Г. Ефременко, Ю. Г. Чабак, К. Шимидзу, А. В. Джеренова, Б. В. Ефременко</i>	2	103	Комплексное оценивание состояния и качества функционирования железнодорожных станций. <i>Д. А. Полищук</i>	1	112
			Математическая модель формирования оптимального портфеля проектов с учетом случайных факторов. <i>И. А. Корхина</i>	2	111

Классификация аэропортов и приоритетность их реконструкции. <i>К. В. Маринцева</i>	2	119	Рационализация конструкции опорных устройств вагонов-цистерн для жидких грузов. <i>М. В. Павлюченков</i>	1	151
Производная функции множества по мере и её применение (Теоретические основы инвестиционных задач). <i>А. А. Босов, П. А. Лоза</i>	3	92	Определение влияния показателей трения в системе «кузов – тележка» на динамику грузового вагона. <i>С. В. Мямлин, Л. А. Недужая, А. А. Швец</i>	2	152
Модели кинематики и динамики цилиндрических роликоподшипников железнодорожного транспорта. <i>А. В. Гайдамака</i>	3	100	Исследование кривых линий, заданных кубическим распределением кривизны. <i>С. А. Устенко, С. В. Диданов, А. Ю. Агарков</i>	2	164
Стратегическое управление транспортным грузовым комплексом. <i>А. М. Огороков</i>	4	101	Упруго-фрикционный скользун для тележки грузового вагона. <i>Г. Вайчунас, С. В. Мямлин, А. А. Босов, В. Я. Панасенко, И. В. Клименко, Е. Ф. Федоров</i>	3	117
Разработка математической модели процессов тепломассообмена открытого плавательного бассейна. <i>М. В. Шаптала, Д. Е. Шаптала</i>	6	113	Исследование функционирования различных структурных вариантов гибких потоков для ремонта вагонов при помощи имитационного моделирования. <i>В. В. Мямлин</i>	3	124
<b>Нетрадиционные виды транспорта</b>			Экспериментальные исследования динамических качеств грузовых вагонов с тележками разных конструкций. <i>С. В. Мямлин, А. А. Тен</i>	3	136
Обоснование способов снижения энергопотребления подвесных канатных дорог. <i>С. В. Ракиша, А. С. Куропятник, А. А. Курка</i>	1	125	Концепция оптимального по энергозатратам пассажирского вагона с использованием нетрадиционных источников энергии. <i>В. А. Габринец, И. В. Титаренко</i>	4	111
Исследование возможности использования резервов энергии приводов подвесных канатных дорог с учетом диаграмм окружных усилий. <i>Ю. К. Горячев, А. С. Куропятник, М. Р. Измайлов</i>	3	109	Направления совершенствования системы содержания моторвагонного подвижного состава. <i>О. С. Крашенинин, В. А. Гогаев</i>	4	119
Основы резонансно-структурной теории виброударной разгрузки транспортных средств. <i>Р. Д. Искович-Лотоцкий, Я. В. Иванчук, Я. П. Веселовский</i>	5	109	Ось колесной пары с полостью постоянного сечения. <i>С. Р. Колесников, Н. Р. Романюха, И. Ю. Кебал</i>	5	119
<b>Промышленный транспорт</b>			Исследование динамических характеристик полувагонов на перспективных тележках. <i>С. В. Мямлин, В. М. Бубнов, Е. А. Письменный</i>	5	126
Разработка мероприятий по улучшению показателей прочности несущих конструкций головных вагонов дизель-поездов ДР1А на основании выполненных экспериментально-теоретических работ. <i>А. М. Бондарев, В. Л. Горобеи, Д. А. Ягода, А. А. Бондарев</i>	1	132	Особенности эксплуатации электропоездов ЕР1, ЕР2 за пределами назначенного срока службы. <i>В. Л. Горобеи, А. М. Бондарев, В. М. Скобленко</i>	6	119
Методы и исследования по продлению срока службы несущих конструкций тягового подвижного состава для промышленного транспорта. <i>А. М. Бондарев, В. Л. Горобеи, С. В. Мямлин</i>	2	130	Определение коэффициента запаса по усталостной прочности несущих конструкций кузовов вагонов при перевозке железнодорожными парами. <i>А. А. Ловская</i>	6	128
<b>Подвижной состав железных дорог и тяга поездов</b>					
Динамика грузовых вагонов на тележках модели 18-1711 с разной конструкцией клиньев рессорного подвешивания. <i>Н. Б. Манкевич</i>	1	142			

Анализ конструкций полувагонов. <i>С. В. Мямлин, И. Ю. Кебал, С. Р. Колесников</i>	6	139	Анализ и перспективы применения эффективных ресурсосберегающих технологий в производстве бетона. <i>А. П. Иванова, О. И. Труфанова</i>	5	150
Анализ целесообразности приме- нения шестигранных полых профилей в качестве составных элементов несущих систем полувагонов. <i>А. В. Фомин</i>	6	146	Численное моделирование вязкоупругих материалов. <i>С. П. Панченко</i>	5	157
<b>Транспортное строительство</b>					
Сравнительный анализ моделей железнодорожных нагрузок С14 и LM71 для балочных мостов. <i>В. Е. Артемов, А. С. Распопов</i>	1	160	Научное обоснование технологий крепления стен котлованов специаль- ным способом «стена в грунте» для станций метрополитенов мелкого заложения. <i>С. В. Борщевский, В. Д. Петренко, О. Л. Тюткин, Е. Ю. Кулаженко, Е. Н. Кулаженко</i>	6	154
Исследование применения сквозных двутапков для пролетных строений наплавных мостов. <i>Ю. Н. Горбатюк, К. И. Солдатов, М. С. Панко</i>	2	173	<b>Развитие высшей школы</b>		
Организация системы материального обеспечения строительных объектов. <i>А. В. Радкевич, И. А. Арутюнян</i>	3	146	Развитие концентрации и устойчиво- сти внимания студентов- железнодорожников в процессе пси- хологической и психофизической подготовки. <i>В. В. Пичурин</i>	2	187
Анализ деформированного состояния конструкций перегонных тоннелей киевского метрополитена на участке перехода от спондиловых глин к бу- чацким пескам. <i>В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, А. Л. Тюткин, Д. В. Тюткин</i>	4	127	Механизм гражданско-правовой за- щиты прав патентовладельца на ос- новании формулы изобретения. <i>Н. В. Марченко</i>	3	160
Перспективы применения резьбового соединения арматуры. <i>А. В. Радкевич, А. Н. Нетеса</i>	4	139	Уровень развития психологической и психофизической подготовленности студентов к профессиональному тру- ду на железной дороге. <i>В. В. Пичурин</i>	4	148
Контактная прочность механоактиви- рованных мелкозернистых бетонов из доменных гранулированных шлаков. <i>В. И. Большаков, М. А. Елисеева, С. А. Щербак</i>	5	138			

**SUBJECT INDEX TO THE JOURNAL «SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS.  
BULLETIN OF DNIPROPETROVSK NATIONAL UNIVERSITY OF RAILWAY  
TRANSPORT» FOR 2014**

**Science and Transport Progress**

Development of scientific school of transport mechanics: artistic legacy of Ye. P. Blokhin. *S. V. Myamlin, T. A. Kolesnykova*

1 7

Development of criteria of charge and discharge efficiency of solid state of heat accumulator. *S. S. Belymenko, V. O. Ishchenko*

5 7

**Transport Automated Control Systems**

Current state analysis of automatic block system devices, methods of its service and monitoring. *A. M. Beznarytnyy, V. I. Gavrilyuk, O. O. Gololobova*

1 22

Mathematical modeling of AC electric point motor. *S. Yu. Buryak*

2 7

Mathematical modeling of the unput devices in automatic locomotive signaling system. *O. O. Gololobova*

2 21

Electromagnetic compatibility research of return traction network with signaling devices, centralization and blocking. *A. M. Beznarytnyy, V. I. Gavrilyuk, I. O. Romantsyev, V. I. Shchyeka*

3 7

Diagnostic features research of AC electric point motors. *S. Yu. Buryak, V. I. Gavrilyuk, O. O. Hololobova, A. M. Beznarytnyy*

4 7

Study of transmission lines effect on the system operation of continuous automatic cab signalling.

*O. O. Hololobova, V. I. Havryliuk, M. O. Kovryhin, S. Yu. Buriak*

5 17

Study of time dependence and spectral composition of the signal in circuit of AC electric Point motors.

*S. Yu. Buryak, V. I. Havrilluk, O. O. Hololobova*

6 7

**Transport Ecology**

Modeling of the building local protection (shelter – in place) including sorbtion of the hazardous contaminant on indoor surfaces. *N. N. Belyayev, N. V. Rostochilo, F. V. Nedopekin*

4 23

Simulation of the accidental pollution after the emergency in to the storage of rocket solid propellant.

*M. M. Biliaiev, A. V. Berlov, A. V. Shevchenko*

5 29

**Economics and Management**

Improved method of determination of economic efficiency of construction and operation of high speed mainline in Ukraine. *Yu. S. Barash, A. V. Momot*

1 33

Strategic impact of mobility on organizations. *A. Golovkova*

1 51

Economic safety problem in modern macro and micro concepts. *I. I. Rekun*

1 59

Methodical approach to determination of passenger transportation attractive-ness on railway transport. *N. A. Bozhok*

2 31

Improvement of freight transportation process and their management mechanism. *L. V. Martsenyuk, A. V. Vyshniakova*

2 41

Organization of freight transportation in Ukraine in the reformation conditions. *L. V. Martsenyuk*

3 15

Improvement ways of accounting and internal audit of enterprise receivables. *V. D. Zelikman, Yu. A. Sonina*

4 37

Creation mechanism of the project on farm opening in the context of rural tourism development.

*L. V. Martsenyuk, Yu. M. Proskurnia, T. V. Teslenko*

4 43

Research of approaches to increase the efficiency of functioning of railway transport subdivisions from the point of view of sustainable development.

*O. I. Kharchenko*

4 52

Directions for the development of domestic tourism in Ukraine.

*L. V. Martseniuk*

6 23

Upgrading of economic simulation methods for increasing efficiency of investments. *S. V. Myamlin, K. V. Zhyzhko*

6 34

**Operation and Repair of Transport Means**

Basic requirements and principles of creation onboard diagnostic systems of locomotives. *Ye. B. Bodnar*

1 68

Stimulation methods improvement of exit route on railway transport.

*A. I. Verlan*

1 75

Influence of contact network parameters on value of current rise speed during short circuit in power circuits of electric rolling stock. *O. A. Karzova*

2 49

Professional risk assessment during performing official duties of station dispatchers on Prydniprovsk railway. *O. A. Nykyforova, H. H. Sydorenko*

2 58

Influence of maintenance windows on the working capacity of railway route. *M. I. Muzykin, G. I. Nesterenko*

3 24

Rational recovery model of depot processing equipment at the industrial enterprise. *M. I. Kapitsa, T. S. Hryshechkina*

4 60

Research of regularities of passenger flows in the rail suburban traffic. *T. M. Hrushevska*

5 39

Operating elements damage of tools connected with the plastic deformation of hardened organic compounds. *A. R. Milianych*

5 48

Investigation of scale-invariant property of organization system of train traffic volume based on the percolation theory. *A. V. Prokhorchenko*

5 56

Methodology for determining the value of complexity parameter for emergency situation during driving of the train. *O. M. Horobchenko*

6 50

**Electric Transport**

Electrodynamics of transmission and losses of power in the devices of electric traction systems. *M. O. Kostin*

1 86

Energy efficiency determination of loading-back system of traction electric machines. *A. M. Afanasov, A. Ye. Drubetskiy, C. V. Arpul, A. P. Khvorostyankina*

2 67

Effectiveness analysis of campus heat supply system of Dnipropetrovsk national university of railway transport. *O. M. Pshinko, V. O. Gabrinets, V. M. Goriachkin*

2 74

Influence of feeding electric energy quality on heating of the auxiliary machines of ac electric rolling stock. *O. Yu. Baliichuk, L. V. Dubynets, O. M. Dukhnovskiy, O. O. Marenych, O. L. Marenych*

3 34

Backgrounds of experimental investigation of electromagnetic compatibility of traction asynchronous electric drives in the structure of DC traction power supply system. *Yu. S. Bondarenko*

3 42

Statistic, probabilistic, correlation and spectral analysis of regenerative braking current of DC electric rolling stock. *A. V. Nikitenko, M. O. Kostin*

3 51

Rational modes determination of traction motors loading-back for electric rolling stock in mainline and industrial transport. *A. M. Afanasov*

4 67

New approaches to maintenance and repairing of the traction substations equipment on electrified railways at the basis of Smart technologies. *O. O. Matushevich*

4 75

Frequency determination of high-frequency link for perspective electric rolling stock. *D. O. Zabarylo*

5 65

Theoretical aspects and methods of parameters identification of electric traction system devices. Method of weight function. *T. N. Mishchenko*

5 74

Efficiency improvement of transport service by trolley buses based on the levels of their power demand. *V. V. Aulin, I. O. Plokhov, D. V. Holub*

6 59

Regulation of unbalanced electromagnetic moment in mutual loading systems of electric machines of traction rolling stock and multiple unit of mainline and industrial transport. *A. M. Afanasov*

6 70

The improvement of maintenance service for traction networks equipment on the base of process approach. *D. V. Mironov*

6 78

**Railway Track**

Methodology of determination of admissible speeds of train movement on difficult sections of railroad plan. *M. B. Kurhan, D. M. Kurhan, N. P. Khmelevska, S. Yu. Baidak*

2 83

The results of the defect places investigation of Donetsk railway road bed by ground penetrating radar complex. <i>V. D. Petrenko, V. V. Kovalevych</i>	5	83	Complex modification of secondary silumins. <i>A.A. Mityayev, I.P. Volchok, R.A. Frolov, K.N. Loza, O.V. Hnatenko, V.V. Lukinov</i>	6	87
<b>Material Science</b>					
The influence mechanism of ferrite grain size on strength stress at the fatigue of low-carbon steel. <i>I. A. Vakulenko, S. V. Proydak</i>	1	97	Influence of physical and heat processes on the structure and properties of high-chromium cast iron during machining. <i>V. V. Netrebko</i>	6	97
Rationale of the evaluation and selection of kinematic and tribological characteristics of the system «pinion – gear rack» of cold-pilgering mills. <i>T. M. Kadilnikova, L. F. Sushko</i>	1	105	Development of (Fe–B–C)-based filler for wear-resistant composite coatings. <i>O. V. Sukhova, N. O. Zdorovets</i>	6	104
<b>Transport and Economic Tasks Modeling</b>					
Influence of electric spark on hardness of carbon steel. <i>I. O. Vakulenko, S. V. Proydak, Z. Stradomski, V. A. Diadko</i>	2	95	Complex evaluation of the state and quality of railway station operating. <i>D. O. Polishchuk</i>	1	112
To selection of technological scheme of softening heat treatment for high chromium cast iron. <i>V. G. Efremenko, Yu. G. Chabak, K. Shimizy, A.V. Dzherenova, B.V. Efremenko</i>	2	103	Mathematical model of optimal project portfolio forming based on random factors. <i>I. A. Korkhina</i>	2	111
Estimation of irreversible damageability at fatigue of carbon steel. <i>I. O. Vakulenko, O. N. Perkov, M. Knapinski, D. M. Bolotova</i>	3	65	Airports classification and priority of their reconstruction. <i>K. V. Marintseva</i>	2	119
The material choice and blanks operation technology of AK6 aluminium alloy. <i>N. Ye. Kalinina, S. I. Mamchur, K. O. Musina, M. V. Hrekova, T. K. Lopatkina</i>	3	75	Derivative of set measure functions and its application (theoretical bases of investment objectives). <i>A. A. Bosov, P. A. Loza</i>	3	92
Production of weldments from sintered titanium alloys. <i>A. Ye. Kapustyan, A. V. Ovchinnikov, I. A. Vakulenko</i>	3	84	Kinematics and dynamics models of cylindrical roller bearing of railway transport. <i>A. V. Gaydamaka</i>	3	100
Influence of chemical compounds on the forming of welding arc. <i>I. O. Vakulenko, S. O. Plitchenko, D. M. Makarevych</i>	4	86	Strategic management of transport cargo complex. <i>A. M. Okorokov</i>	4	101
Heat resistance of graphitized steel. <i>V. O. Savchenko</i>	4	95	Mathematical model development of heat and mass exchange processes in the outdoor swimming pool. <i>M. V. Shaptala, D. E. Shaptala</i>	6	113
<b>Non-Traditional Transport Modes</b>					
Influence of chemical compounds on the forming of welding arc. <i>I. O. Vakulenko, S. O. Plitchenko, D. M. Makarevich</i>	5	92	Substantiation of ways of decrease in power consumption of ropeways. <i>S. V. Raksha, A. S. Kuropyatnik, A. A. Kurka</i>	1	125
Quality improvement of secondary silumins by using refining-modifying, heat and laser treatments. <i>I. P. Volchok, O. L. Skuibida, O. V. Liutova, N. V. Shyrokobokova</i>	5	101	Possibility research of the use of energy reserve of aerial ropeway drives taking into account the twisting forces diagrams. <i>Yu. K. Goryachev, A. S. Kuropyatnik, M. R. Izmaylov</i>	3	109
			The basis of resonance-structure theory for vibroimpact unloading of the vehicles. <i>R. D. Iskovych-Lototskyi, Ya. V. Ivanchuk, Ya. P. Veselovskyi</i>	5	109

**Industrial Transport**

Developing measures to improve strength indices of supporting structures for head cars of diesel trains DR1A on the basis of experimental and theoretical works. *O. M. Bondarev, V. L. Gorobets, D. O. Yagoda, O. O. Bondarev* 1 132

Methods and research concerning service life extension of supporting structures of traction rolling stock for industrial transport. *O. M. Bondarev, V. L. Gorobets, S. V. Myamlin* 2 130

**Rolling Stock and Train Traction**

Dynamics of freight cars on bogies model 18-1711 with different wedge designs of spring suspension. *N. B. Mankevych* 1 142

Structure rationalization of tank cars support devices for fluids. *M. V. Pavliuchenkov* 1 151

Determination of friction performance influence in the system «body–bogie» on the freight car dynamics. *S. V. Myamlin, L. O. Neduzha, A. O. Shvets* 2 152

Investigation of curves set by cubic distribution of curvature. *S. A. Ustenko, S. V. Didanov, O. Yu. Agarkov* 2 164

Elastic-friction side bearer for freight car bogie. *G. Vaiciunas, S. V. Myamlin, A. A. Bosov, V. Ja. Panasenko, I. V. Klimenko, Ye. F. Fedorov* 3 117

Operation study of different structural options of flexible flows for car repair using simulation modeling. *V. V. Myamlin* 3 124

Experimental Research of dynamic qualities of freight cars with bogies of different designs. *S. V. Myamlin, O. O. Ten, L. O. Neduzha* 3 136

Concept of the minimum energy passenger car with use of unconventional energy sources. *V. A. Gabrinets, I. V. Tytarenko* 4 111

Improvement directions of maintenance system of multiple unit. *O. S. Krasheninina, V. A. Gogaiev* 4 119

Wheelset axle with the cavity of uniform cross section. *S. R. Kolesnykov, M. R. Romaniukha, I. YU. Kegal* 5 119

Investigation of dynamic characteristics of gondola cars on perspective bogies. *S. V. Myamlin, V. M. Bubnov, Ye. O. Pysmennyi* 5 126

Operation characteristics of electric trains ER1, ER2 beyond designed service life. *V. L. Gorobets, O. M. Bondarev, V. M. Skoblenko* 6 119

Determination of assurance coefficient by supporting structures fatigue of car bodies during transportation by the railway ferries. *A. A. Lovskaya* 6 128

Design review of gondola car. *S. V. Myamlin, I. U. Kegal, S. R. Kolesnykov* 6 139

Applicability analysis of hexahedral hollow profiles as component elements of supporting systems for gondola cars. *O. V. Fomin* 6 146

**Transport Construction**

Comparative analysis of models of railway loads C14 and LM71 for girder bridges. *V. Artomov, A. Raspopov* 1 160

Research of using open double t beams for spans in floating bridges. *Yu. M. Gorbatiuk, K. I. Soldatov, M. S. Papko* 2 173

System organization of material providing of building. *A. V. Radkevich, I. A. Arutyunyan* 3 146

Analysis of deformed state structures of the Kyiv metro running tunnels on a transition zone from spondylov's clay to buchatskiy sands. *V. D. Petrenko, V. T. Huzchenko, O. L. Tiutkin, D. V. Tiutkin* 4 127

Application prospects of threaded joint of armature. *A. V. Radkevych, A. N. Netesa* 4 139

Contact strength of mechanoactivated fine concretes from granulated blast-furnace slags. *V. I. Bolshakov, M. O. Yeliseieva, S. A. Shcherbak* 5 138

Analysis and application prospects of effective resources-saving technologies in concrete manufacture. *H. P. Ivanova, O. I. Trufanova* 5 150

Numerical simulation of viscoelastic materials. *S. P. Panchenko* 5 157

Scientific evidence for walls fastening technologies of working trench by the special method «slurry wall» for shallow subways' stations. <i>S. V. Borshchevskiy, V. D. Petrenko, O. L. Tiutkin, Ye. Yu. Kulazhenko, O. M. Kulazhenko</i>	6	154	Civil protection mechanism of the assignee rights based on the patent claim. <i>N. V. Marchenko</i>	3	160
<b>High School Development</b>			Level of psychological and psychophysical readiness of students for professional labor on railway. <i>V. V. Pichurin</i>	4	148
Development of attention concentration and stability of railway students in the process of psychological and psychophysical training. <i>V. V. Pichurin</i>	2	187			

# ЗМІСТ

## ***АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ***

<b>С. Ю. БУРЯК, В. І. ГАВРИЛЮК, О. О. ГОЛОЛОВОВА</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСОВОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ТА СПЕКТРАЛЬНОГО СКЛАДУ СИГНАЛА В КОЛІ СТРІЛОЧНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ЗМІННОГО СТРУМУ .....	7
---	---

## ***ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ***

<b>Л. В. МАРЦЕНЮК</b> НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ВНУТРІШНЬОГО ТУРИЗМУ В УКРАЇНІ .....	23
<b>С. В. МЯМЛІН, К. В. ЖИЖКО</b> УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ЕКОНОМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ІНВЕСТИЦІЙ .....	34
<b>А. О. НОВІКОВ, М. М. НОВІКОВА</b> МОДЕЛЮВАННЯ ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ НА ОСНОВІ ФАКТОРНОГО АНАЛІЗУ .....	42

## ***ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ***

<b>О. М. ГОРОБЧЕНКО</b> МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПАРАМЕТРА СКЛАДНОСТІ НЕСХВАТНОЇ СИТУАЦІЇ ПІД ЧАС ВЕДЕННЯ ПОЇЗДА .....	50
---	----

## ***ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ***

<b>В. В. АУЛІН, І. О. ПЛОХОВ, Д. В. ГОЛУБ</b> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРОЛЕЙБУСАМИ НА ОСНОВІ РІВНІВ СПОЖИТОЇ НИМИ ПОТУЖНОСТІ .....	59
<b>А. М. АФАНАСОВ</b> РЕГУЛЮВАННЯ НЕБАЛАНСНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО МОМЕНТУ В СИСТЕМАХ ВЗАЄМНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ТЯГОВОГО ТА МОТОРВАГОННОГО РУХОМОГО СКЛАДУ МАГІСТРАЛЬНОГО ТА ПРОМИСЛОВОГО ТРАНСПОРТУ .....	70
<b>Д. В. МІРОНОВ</b> УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ТЯГОВИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ПРОЦЕСНОГО ПІДХОДУ .....	78

## ***МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО***

<b>О. А. МІТЯЄВ, І. П. ВОЛЧОК, Р. О. ФРОЛОВ, К. М. ЛОЗА, О. В. ГНАТЕНКО, В. В. ЛУКІНОВ</b> КОМПЛЕКСНЕ МОДИФІКУВАННЯ ВТОРИННИХ СИЛУМІНІВ .....	87
<b>В. В. НЕТРЕБКО</b> ВПЛИВ ФІЗИЧНИХ І ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ВИСОКОХРОМИСТОГО ЧАВУНУ ПРИ ОБРОБЦІ РІЗАННЯМ .....	97
<b>О. В. СУХОВА, Н. О. ЗДОРОВЕЦЬ</b> РОЗРОБКА СКЛАДУ НАПОВНЮВАЧА НА ОСНОВІ СПЛАВУ FE–V–C ДЛЯ ЗНОСОСТІЙКИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ .....	104

## ***МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ***

<b>М. В. ШАПТАЛА, Д. Є. ШАПТАЛА</b> РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОМАСООБМІНУ ВІДКРИТОГО ПЛАВАЛЬНОГО БАСЕЙНУ .....	113
--	-----

## ***РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ***

<b>В. Л. ГОРОБЕЦЬ, О. М. БОНДАРЕВ, В. М. СКОБЛЕНКО</b> ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ EP1, EP2 ЗА МЕЖАМИ ПРИЗНАЧЕНОГО СТРОКУ СЛУЖБИ .....	119
<b>А. О. ЛОВСЬКА</b> ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗАПАСУ ЗА ВТОМНОЮ МІЦНІСТЮ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ КУЗОВІВ ВАГОНІВ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗАЛІЗНИЧНИМИ ПОРОМАМИ .....	128

<b>С. В. МЯМЛІН, І. Ю. КЕБАЛ, С. Р. КОЛЕСНИКОВ</b> АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ НАПІВВАГОНІВ .....	136
<b>О. В. ФОМІН</b> АНАЛІЗ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ШЕСТИГРАННИХ ПОРОЖНИСТИХ ПРОФІЛІВ ЯК СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ НЕСУЧИХ СИСТЕМ НАПІВВАГОНІВ.....	146
<b><i>ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО</i></b>	
<b>С. В. БОРЩЕВСЬКИЙ, В. Д. ПЕТРЕНКО, О. Л. ТЮТЬКІН, С. Ю. КУЛАЖЕНКО, О. М. КУЛАЖЕНКО</b> НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ КРІПЛЕННЯ СТІН КОТЛОВАНІВ СПЕЦІАЛЬНИМ СПОСОБОМ «СТІНА В ГРУНТІ» ДЛЯ СТАНЦІЙ МЕТРОПОЛІТЕНУ МІЛКОГО ЗАКЛАДЕННЯ .....	154
<b>ТЕМАТИЧНИЙ ПОКАЖЧИК ЖУРНАЛУ «НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ. ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ» ЗА 2014 РІК .....</b>	164

# СОДЕРЖАНИЕ

## ***АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ***

<b>С. Ю. БУРЯК, В. И. ГАВРИЛЮК, О. А. ГОЛОЛОБОВА</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ ЗАВИСИМОСТИ И СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СИГНАЛА В ЦЕПИ СТРЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА .....	7
--	---

## ***ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ***

<b>Л. В. МАРЦЕНЮК</b> НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ВНУТРЕННЕГО ТУРИЗМА В УКРАИНЕ .....	23
<b>С. В. МЯМЛИН, К. В. ЖИЖКО</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИЙ .....	34
<b>А. А. НОВИКОВ, М. Н. НОВИКОВА</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА .....	42

## ***ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА***

<b>А. Н. ГОРОБЧЕНКО</b> МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ПАРАМЕТРА СЛОЖНОСТИ НЕШТАТНОЙ СИТУАЦИИ ВО ВРЕМЯ ВЕДЕНИЯ ПОЕЗДА .....	50
---	----

## ***ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ***

<b>В. В. АУЛИН, И. О. ПЛОХОВ, Д. В. ГОЛУБ</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРОЛЛЕЙБУСАМИ НА ОСНОВЕ УРОВНЕЙ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ НИМИ МОЩНОСТИ .....	59
<b>А. М. АФАНАСОВ</b> РЕГУЛИРОВАНИЕ НЕБАЛАНСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА В СИСТЕМАХ ВЗАИМНОГО НАГРУЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ТЯГОВОГО И МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА МАГИСТРАЛЬНОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА .....	70
<b>Д. В. МИРОНОВ</b> УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ТЯГОВЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА .....	78

## ***МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ***

<b>А. А. МИТЯЕВ, И. П. ВОЛЧОК, Р. А. ФРОЛОВ, К. Н. ЛОЗА, О. В. ГНАТЕНКО, В. В. ЛУКИНОВ</b> КОМПЛЕКСНОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ СИЛУМИНОВ .....	87
<b>В. В. НЕТРЕБКО</b> ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗАНИЕМ .....	97
<b>Е. В. СУХОВАЯ, Н. А. ЗДОРОВЕЦ</b> РАЗРАБОТКА СОСТАВА НАПОЛНИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ СПЛАВА FE–B–C ДЛЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ .....	104

## ***МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТА И ЭКОНОМИКИ***

<b>М. В. ШАПТАЛА, Д. Е. ШАПТАЛА</b> РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССООБМЕНА ОТКРЫТОГО ПЛАВАТЕЛЬНОГО БАССЕЙНА .....	113
--	-----

## ***ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ТЯГА ПОЕЗДОВ***

<b>В. Л. ГОРОБЕЦ, А. М. БОНДАРЕВ, В. М. СКОБЛЕНКО</b> ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ EP1, EP2 ЗА ПРЕДЕЛАМИ НАЗНАЧЕННОГО СРОКА СЛУЖБЫ .....	119
<b>А. А. ЛОВСКАЯ</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА ПО УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КУЗОВОВ ВАГОНОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМИ ПАРОМАМИ .....	128

**С. В. МЯМЛИН, И. Ю. КЕБАЛ, С. Р. КОЛЕСНИКОВ**  
АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ПОЛУВАГОНОВ..... 136

**А. В. ФОМИН**  
АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШЕСТИГРАННЫХ ПОЛЫХ ПРОФИЛЕЙ  
В КАЧЕСТВЕ СОСТАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НЕСУЩИХ СИСТЕМ ПОЛУВАГОНОВ..... 146

***ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО***

**С. В. БОРЩЕВСКИЙ, В. Д. ПЕТРЕНКО, О. Л. ТЮТЬКИН, Е. Ю. КУЛАЖЕНКО, Е. Н. КУЛАЖЕНКО**  
НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ КРЕПЛЕНИЯ СТЕН КОТЛОВАНОВ  
СПЕЦИАЛЬНЫМ СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ» ДЛЯ СТАНЦИЙ  
МЕТРОПОЛИТЕНОВ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ..... 154

**ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ЖУРНАЛА «НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА.  
ВЕСТНИК ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА» ЗА 2014 ГОД..... 169**

# CONTENTS

## ***TRANSPORT AUTOMATED CONTROL SYSTEMS***

<b>S. YU. BURYAK, V. I. HAVRILIUK, O. O. HOLOLOBOVA</b> STUDY OF TIME DEPENDENCE AND SPECTRAL COMPOSITION OF THE SIGNAL IN CIRCUIT OF AC ELECTRIC POINT MOTORS .....	7
--	---

## ***ECONOMICS AND MANAGEMENT***

<b>L. V. MARTSENIUK</b> DIRECTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF DOMESTIC TOURISM IN UKRAINE.....	23
<b>S. V. MYAMLIN, K. V. ZHYZHKO</b> UPGRADING OF ECONOMIC SIMULATION METHODS FOR INCREASING EFFICIENCY OF INVESTMENTS .....	34
<b>A. O. NOVIKOV, M. M. NOVIKOVA</b> MODELING OF FINANCIAL AND ECONOMIC SECURITY OF TRANSPORT ENTERPRISES BASED ON FACTOR ANALYSIS .....	42

## ***OPERATION AND REPAIR OF TRANSPORT MEANS***

<b>O. M. HOROBCHENKO</b> METHODOLOGY FOR DETERMINING THE VALUE OF COMPLEXITY PARAMETER FOR EMERGENCY SITUATION DURING DRIVING OF THE TRAIN.....	50
---	----

## ***ELECTRIC TRANSPORT***

<b>V. V. AULIN, I. O. PLOKHOV, D. V. HOLUB</b> EFFICIENCY IMPROVEMENT OF TRANSPORT SERVICE BY TROLLEY BUSES BASED ON THE LEVELS OF THEIR POWER DEMAND.....	59
<b>A. M. AFANASOV</b> REGULATION OF UNBALANCED ELECTROMAGNETIC MOMENT IN MUTUAL LOADING SYSTEMS OF ELECTRIC MACHINES OF TRACTION ROLLING STOCK AND MULTIPLE UNIT OF MAINLINE AND INDUSTRIAL TRANSPORT .....	70
<b>D. V. MIRONOV</b> THE IMPROVEMENT OF MAINTENANCE SERVICE FOR TRACTION NETWORKS EQUIPMENT ON THE BASE OF PROCESS APPROACH .....	78

## ***MATERIAL SCIENCE***

<b>A. A. MITYAYEV, I. P. VOLCHOK, R. A. FROLOV, K. N. LOZA, O. V. HNATENKO, V. V. LUKINOV</b> COMPLEX MODIFICATION OF SECONDARY SILUMINS .....	87
<b>V. V. NETREBKO</b> INFLUENCE OF PHYSICAL AND HEAT PROCESSES ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF HIGH-CHROMIUM CAST IRON DURING MACHINING .....	97
<b>O. V. SUKHOVA, N. O. ZDOROVETS</b> DEVELOPMENT OF (FE-B-C)-BASED FILLER FOR WEAR-RESISTANT COMPOSITE COATINGS .....	104

## ***TRANSPORT AND ECONOMIC TASKS MODELING***

<b>M. V. SHAPTALA, D. E. SHAPTALA</b> MATHEMATICAL MODEL DEVELOPMENT OF HEAT AND MASS EXCHANGE PROCESSES IN THE OUTDOOR SWIMMING POOL .....	113
---	-----

## ***ROLLING STOCK AND TRAIN TRACTION***

<b>V. L. GOROBETS, O. M. BONDAREV, V. M. SKOBLLENKO</b> OPERATION CHARACTERISTICS OF ELECTRIC TRAINS ER1, ER2 BEYOND DESIGNED SERVICE LIFE .....	119
<b>A. A. LOVSKAYA</b> DETERMINATION OF ASSURANCE COEFFICIENT BY SUPPORTING STRUCTURES FATIGUE OF CAR BODIES DURING TRANSPORTATION BY THE RAILWAY FERRIES .....	128
<b>S. V. MYAMLIN, I. U. KEBAL, S. R. KOLESNYKOV</b> DESIGN REVIEW OF GONDOLA CAR .....	136

<b>O. V. FOMIN</b> APPLICABILITY ANALYSIS OF HEXAHEDRAL HOLLOW PROFILES AS COMPONENT ELEMENTS OF SUPPORTING SYSTEMS FOR GONDOLA CARS .....	146
<b><i>TRANSPORT CONSTRUCTION</i></b>	
<b>S. V. BORSHCHEVSKIY, V. D. PETRENKO, O. L. TIUTKIN, YE. YU. KULAZHENKO, O. M. KULAZHENKO</b> SCIENTIFIC EVIDENCE FOR WALLS FASTENING TECHNOLOGIES OF WORKING TRENCH BY THE SPECIAL METHOD «SLURRY WALL» FOR SHALLOW SUBWAYS' STATIONS .....	154
<b>SUBJECT INDEX TO THE JOURNAL «SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS. BULLETIN OF DNIPROPETROVSK NATIONAL UNIVERSITY OF RAILWAY TRANSPORT» FOR 2014 .....</b>	<b>174</b>

## 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! Згідно з міжнародними стандартами якості наукових публікацій необхідним є:** наявність авторських розширених і структурованих резюме (рефератів – abstracts), у т.ч. англійською мовою, рецензій, притатейних списків літератури в романському алфавіті тощо.

**Рекомендуємо скористатися правилами до оформлення статей журналу:**  
<http://library.diit.edu.ua/HTMLs/scientists/Vumogu/Vumogu.pdf>.

**Для здачі статті до друку автору/авторам необхідно:**

**1. Для електронної інформації сформувати всі матеріали в п'яти файлах:**

- **Перший** – із текстом статті та анотацій з ключовими словами. Назва файлу – прізвище та ініціали автора (першого співавтора) латинськими літерами, наприклад: Ivanov\_II\_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\_recenziia.jpg.
- **Четвертий** – Експертний висновок (відсканований, складається у вільній формі). Назва файлу – Ivanov\_II\_vysnovok.jpg.
- **П'ятий** – Ліцензійний договір (відсканований). Назва файлу – Ivanov\_II\_dogovir.jpg. Текст договору: <http://library.diit.edu.ua/HTMLs/scientists/Vumogu/license.doc>.

**2. Для друкованої інформації.** До редакції надаються особисто або надсилаються поштою такі матеріали: 1) два друкованих примірники рукопису з підписами всіх співавторів на останньому аркуші роботи; 2) оригінал Ліцензійного договору з підписами всіх співавторів; 3) оригінал експертного висновку; 4) рекомендація до друку за підписом відповідального редактора розділу (для співробітників ДНУЗТ).

**Відповідальність за зміст статті, правильність, точність і коректність цитування, посилань та перекладу покладається на авторів.**

**Остаточне рішення щодо публікації ухвалює редакційна колегія журналу.**

**Статті, відхилені редакційною колегією, повертаються авторам для доопрацювання.**

**Шановні автори, запрошуємо до співробітництва!**

**З питань опублікування звертайтеся до редакції журналу за адресою:**

Науково-технічна бібліотека (ауд. 166),  
 Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,  
 вул. Лазаряна, 2,  
 м. Дніпропетровськ,  
 Україна,  
 49010  
 e-mail: visnik@diit.edu.ua  
 Адреса сайту журналу: <http://stp.diit.edu.ua/>

**З питань придбання примірників журналу телефонуйте за номером (056) 776 90 59 Грідасова А. В.**



## 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 3x4.

### 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**  
№ 6 (54) 2014

(українською, російською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск – А. І. Миргородська  
Комп'ютерне верстання – Ю. С. Марков  
Літературна обробка – О. М. Врублевська

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Ум. друк. арк. 21,86. Тираж 300 пр. Зам. № 1316.

**Дніпропетровський національний університет 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)**

№ 6 (54) 2014

(на украинском, русском и английском языках)

Ответственный за выпуск – А. И. Миргородская  
Компьютерная верстка – Ю. С. Марков  
Литературная обработка – О. М. Врублевская

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Ус. печат. лист. 21,86. Тираж 300 экз. Зак. № 1316.

**Днепропетровский национальный университет 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. 6 (54) 2014

(in Ukrainian, Russian and English languages)

Responsible for issue – А. І. Myrhorodska  
Computer makeup – Yu. S. Markov  
Redaction – О. М. Vrublevska

Format 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Conventional printed sheet 21,86. Circulation 300. Order no. 1316.

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

*Address of editor and editorial office*

Lazaryan St., 2, r. 267, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

*Tel.:* +38 (056) 371-51-05

*E-mail:* lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

*Address of small offset printing office*

Lazaryan St., 2, r. 1201, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

*Tel.:* +38 (056) 47-19-66, *Fax:* +38 (056) 47-19-83



СУЧАСНІ ЗАКЛАДИ ОСВІТИ - 2014  
П'ята Міжнародна Виставка

# CERTIFICATE

ЯКОСТІ НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЙ  
УДОСТОЄНИЙ

Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна



Міністерство освіти і науки України

Міністр

С. Квіт

Підстава:  
показники наукометричної  
бази даних Scopus  
за 2013 рік



Національна академія  
педагогічних наук України

Президент

В. Кремень



Україна, м. Київ

Асоціація користувачів  
Української науково-освітньої  
телекомунікаційної мережі «Уран»

Голова Ради

Ю. Якименко



Передплатний індекс - 68926  
Подписной индекс - 68926  
Subscription index - 68926



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

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2014. 6(54). 1-187