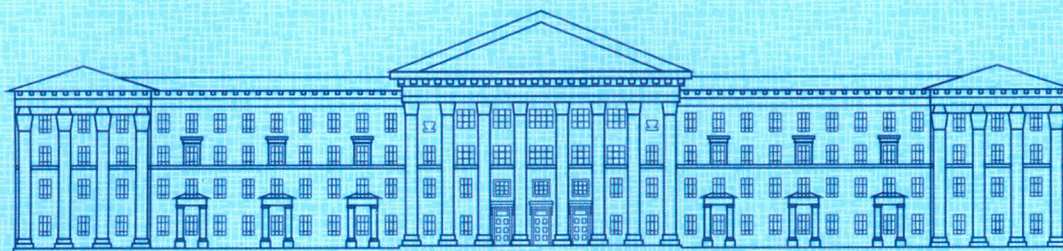




ISSN 2307-3489 (Print)
ISSN 2307-6666 (Online)



НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

3(51)

•• 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

3 (51) 2014

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

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

Дніпропетровськ

2014

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

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

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

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ (УКРАЇНА):

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

ІНОЗЕМНІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Анісімов П. С. (Московський державний університет шляхів сполучення, Російська Федерація); Бялонь А. (Науково-технічний центр залізничного транспорту, Республіка Польща); Васяк І. (Інститут електроенергетики, Республіка Польща); Гусєв Б. В. (Московський державний університет шляхів сполучення, Російська Федерація); Долежел І. (Академія наук, Чеська Республіка); Зіммер К. (Електротехнічний інститут, Республіка Польща); Казакевич М. І. (Федеративна Республіка Німеччина); Лінгайтис В. Л. (Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса, Литва); Вайчунас Г. (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); Стржелецькі Р. (Гданьський 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 02.07.2014 р., протокол № 11

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

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

Видання публікується з 1936 р.:

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

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

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

(НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА)

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

Научный журнал

3 (51) 2014

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

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

Днепропетровск

2014

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

*ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОГО
СОВЕТА УНИВЕРСИТЕТА*

Пшинько А. Н., доктор технических наук

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛА

Мямлин С. В., доктор технических наук

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Козаченко Д. Н., доктор технических наук

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Колесникова Т. А., кандидат наук
по социальным коммуникациям

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ (УКРАИНА):

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

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

Журнал
зарегистрирован

Государственной регистрационной службой Министерства юстиции Украины.
Свидетельство о регистрации КВ № 19609-9409ПР от 29.12.2012 г.
Издание внесено в Перечень научных специализированных изданий Украины постановлением президиума ВАК Украины № 1-05/6 от 16.12.2009 г. (технические науки) и № 1-05/2 от 10.03.2010 г. (экономические науки).
Журнал зарегистрирован в международных каталогах периодических изданий Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat, наукометрических системах Google Scholar, Polish Scholarly Bibliography, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI.

Печатается по решению ученого совета университета от 02.07.2014 г., протокол № 11

Издатель

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

Адрес
учредителя

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

Издание публикуется с 1936 г.:

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

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

NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU

VÌSNIK DNÌPROPETROVS'KOGO NACÌONAL'NOGO UNÌVERSITETU
ZALÌZNIČNOGO TRANSPORTU

(SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS

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

Scientific journal

3 (51) 2014

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

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

Dnipropetrovsk

2014

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

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

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

EDITORIAL BOARD MEMBERS (UKRAINE):

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

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

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

Journal was registered by the State Registration Service of the Ministry of Justice of Ukraine.
 Certificate of Registration KB no.19609-9409PR from 29.12.2012
 Edition is included in the list of scientific professional publications of Ukraine by the Resolution of Presidium of HAC (Higher Attestation Commission) of Ukraine no. 1-05/6 from 16.12.2009 (technical sciences) and no. 1-05/2 from 10.03.2010 (economic sciences).
 Journal is registered in the International Catalogue of periodicals Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat, research and metric systems Google Scholar, Polish Scholarly Bibliography, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI.
 Published according to the Academic Council decision of the University from 02.07.2014, Protocol no. 11

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 656.256.3

А. М. БЕЗНАРЫТНИЙ^{1*}, В. И. ГАВРИЛЮК¹, И. О. РОМАНЦЕВ², В. И. ЩЕКА³

^{1*}Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта beznarytny.am@gmail.com, ORCID 0000-0003-2545-6621

¹Каф. «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, ORCID 0000-0001-9954-4478

²Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта gio_mail.@i.ua

³Каф. «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, shcheka_v@mail.ru, ORCID 0000-0002-2184-2827

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ОБРАТНОЙ ТЯГОВОЙ СЕТИ С УСТРОЙСТВАМИ СИГНАЛИЗАЦИИ, ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ И БЛОКИРОВКИ

Цель. В работе необходимо выявить характер влияния электроподвижного состава на аппаратуру рельсовых цепей, используемых в устройствах автоблокировки и электрической централизации. **Методика.** При подготовке работы были проведены экспериментальные исследования в реальных условиях работы рельсовых цепей, во время проведения анализа экспериментальных данных использовалась методика быстрого преобразования Фурье. **Результаты.** Проведенные исследования дали возможность оценить спектральный состав тягового тока в рельсовой линии при влиянии тягового электроподвижного состава с различными характеристиками тяговых двигателей. **Научная новизна.** В результате исследований получены характеристики тягового тока в рельсовых линиях, который формируется современным ускоренным тяговым подвижным составом с асинхронными тяговыми двигателями. Показана опасность влияния тягового тока, производимого таким подвижным составом, на работу рельсовых цепей железнодорожной автоматики. **Практическая значимость.** Экспериментально показано увеличение мешающего влияния обратной тяговой сети на устройства сигнализации и блокировки при внедрении на участке ускоренного движения. Полученные результаты могут быть положены в основу разработки средств защиты рельсовых цепей от мешающего влияния, повышения электромагнитной совместимости тяговой сети со смежными линиями и в разработку систем технической диагностики.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость; рельсовые цепи; обратная тяговая сеть; электроподвижной состав; тяговый ток; спектральный состав тока; мешающее и опасное влияния

Введение

В настоящее время на сети железных дорог Украины активно внедряется ускоренное движе-

ние, что потребовало внедрения нового типа подвижного состава с асинхронными тяговыми двигателями. Также для повышения эффективности

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

грузовых перевозок активно внедряется движение тяжеловесных грузовых составов. Все это приводит к изменению амплитуды и спектрального состава обратного тягового тока [13, 14]. Так как рельсовые цепи одновременно являются как элементом систем электрической централизации и автоблокировки, так и элементом обратной тяговой сети, обратный тяговый ток, протекая по элементам рельсовой линии, в условиях ее асимметрии в той или иной мере, может негативным образом влиять на работу устройств автоматической локомотивной сигнализации и автоблокировки [1]. Таким образом, возникает вопрос об электромагнитной совместимости системы тягового электроснабжения и устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) в условиях влияния новых факторов.

Несмотря на очевидную важность данного вопроса, имеющиеся на сегодняшний день исследования [2, 9] не дают окончательного ответа на вопрос об электромагнитной совместимости обратной тяговой сети (ОТС) с устройствами СЦБ.

Цель

Целью данной работы является исследование электромагнитной совместимости ОТС с устройствами СЦБ в условиях влияния ускоренного тягового подвижного состава с асинхронными тяговыми двигателями. Для изучения электромагнитной совместимости ОТС с рельсовыми цепями и устройствами автоматической локомотивной сигнализации необходимо изучить спектральный состав обратного тягового тока в ОТС в условиях отсутствия нагрузки, при нагрузке тяговой сети классическим электроподвижным составом и при ее нагрузке подвижным составом с асинхронными тяговыми двигателями и выявить степень его влияния на устройства СЦБ. Для выполнения поставленных задач авторами работы проведены исследования на линии Приднепровской железной дороги с движением классического и ускоренного подвижного состава. Исследования проводились согласно техническому заданию на научно исследовательскую работу [10].

Методика

При разработке работы были проведены экспериментальные исследования в реальных

условиях работы рельсовых цепей на участке обращения классического и ускоренного электроподвижного состава, для анализа экспериментальных данных использовалась методика быстрого преобразования Фурье.

Анализ особенностей работы железнодорожной тяговой сети.

Как известно [6, 7], тяговая сеть состоит из контактной сети, рельсового пути, питающих и отсасывающих фидеров и других устройств, присоединяемых по длине линии и контактной подвески непосредственно или через автотрансформаторы.

Работа системы тягового электроснабжения железнодорожного транспорта имеет следующие особенности:

- место подключения тяговой нагрузки к источнику питания изменяется непрерывно;
 - нагрузка носит случайный характер, так как на ее формирование влияют разнообразные факторы, такие как: случайное число поездов на участке, сбои в движении поездов, метеорологические условия;
 - вследствие нелинейности нагрузки появляются дополнительные потери электроэнергии от высших гармоник, увеличивается влияние на смежные линии;
 - несимметричность нагрузки приводит к несимметричности напряжения во внешней системе электроснабжения [8, 12].
- Приведенные факты осложняют аналитический анализ электромагнитной совместимости тяговой сети с устройствами СЦБ, что обуславливает необходимость проведения исследований обратной тяговой сети в реальных условиях эксплуатации, при различных типах тяговой нагрузки.

Исследования спектрального состава тока в обратной тяговой сети.

Исследования проводились на участке, электрифицированном постоянным током, на станции Нижнеднепровск-Узел, Приднепровской железной дороги. Исследовательская аппаратура подключалась к средней точке отсасывающего дроссель-трансформатора обратной тяговой сети.

Переменная составляющая тока в ОТС снималась с помощью бесконтактного датчика тока AmpFLEX A100-0.3-3к/3, полученный таким

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

образом сигнал дискретизировался с помощью аналогово-цифрового преобразователя ADA-1406/DAC и записывался в память персонального компьютера. Дальнейшая обработка сигнала проводилась с помощью программы Spectra Lab 6.0.

Исследования проводились в три этапа. На первом этапе проводилась запись сигналов ОТС при отсутствии нагрузки тяговой сети подвижным составом. При этом в спектре тока в ОТС наблюдались как канонические гармонические составляющие с частотой 300, 600, 1 200 Гц, так и неканонические гармоники с частотами 50, 100, 150, 200 Гц. Временная характеристика и спектральный состав тока в ОТС при отсутствии тяговой нагрузки в фидерной зоне приведены на рис. 1 и 2 соответственно.

На втором этапе исследований проводилась запись и анализ сигналов в ОТС при нагрузке тяговой сети локомотивом ЧС-8 с синхронным тяговым двигателем. При проследовании поездом исследуемого участка в спектре тока в ОТС

наблюдалось увеличение амплитуды гармонических составляющих с частотами, близкими к 50, 100, 150, 200 Гц, а также наблюдалось увеличение амплитуды канонических гармоник с частотой 300, 600, 900, 1 200 Гц, как видно на рис. 3.

На третьем этапе производились исследования тока в ОТС при нагрузке тяговой сети ускоренным подвижным составом с асинхронными тяговыми двигателями SKODA VAGONKA EJ 675 в составе ускоренного регионального поезда интерсити «Днепропетровск–Донецк». Исследования показали значительное повышение амплитуды гармонических составляющих в диапазоне низких частот от 22 до 1 000 Гц, при непрерывности спектра гармоник, также наблюдалось наличие гармоник помех в диапазоне 1...6 кГц, в диапазоне высоких частот наблюдалось резкое снижение амплитуды гармонических составляющих. Спектр сигнала в ОТС при прохождении ускоренного подвижного состава по участку показан на рис. 4.

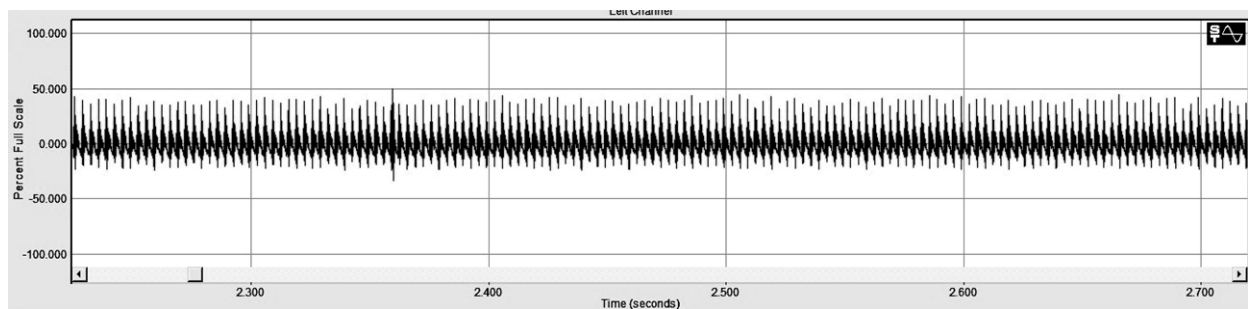


Рис. 1. Временная характеристика тока в ОТС при отсутствии поезда на участке

Fig. 1. The timing characteristic of the current in return traction network (RTN) in the absence of the train in the area

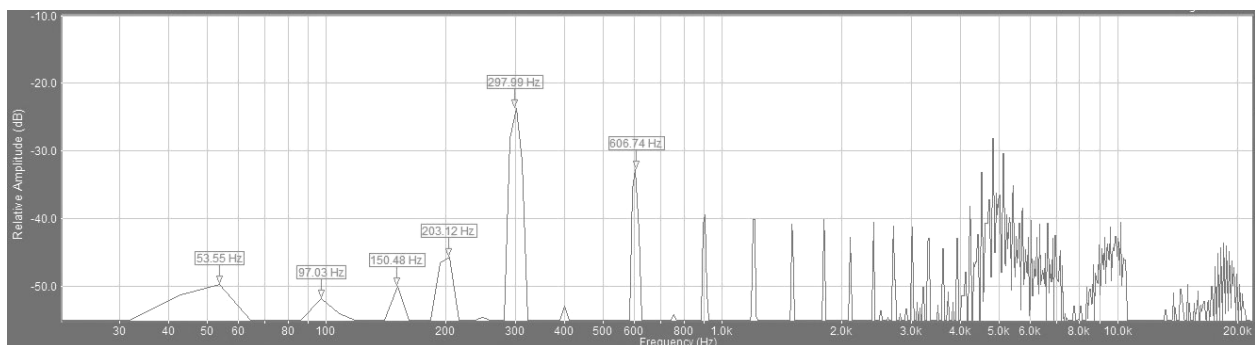


Рис. 2. Спектральный состав тока в ОТС при отсутствии поезда на участке

Fig. 2. Spectral structure of the current in RTN in the absence of the train in the area

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

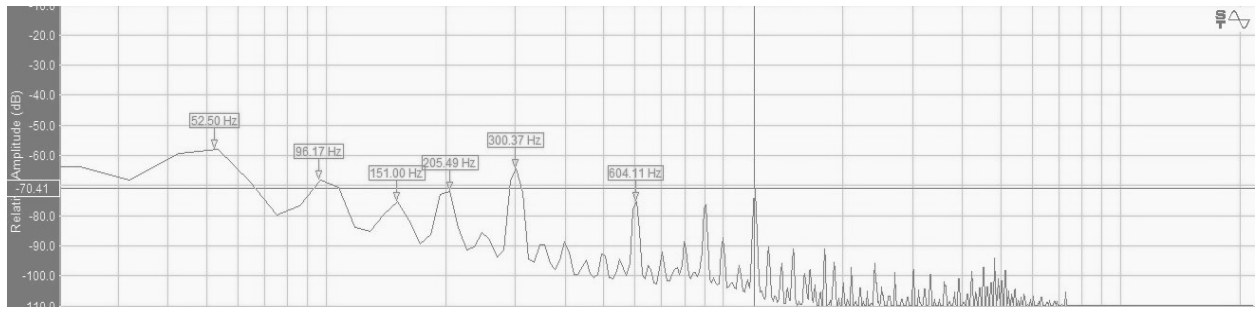


Рис. 3. Спектр тока в ОТС при нагрузке тяговой сети локомотивом ЧС-8

Fig. 3. Current spectrum in the RTN under load of traction network by CHS-8 locomotive

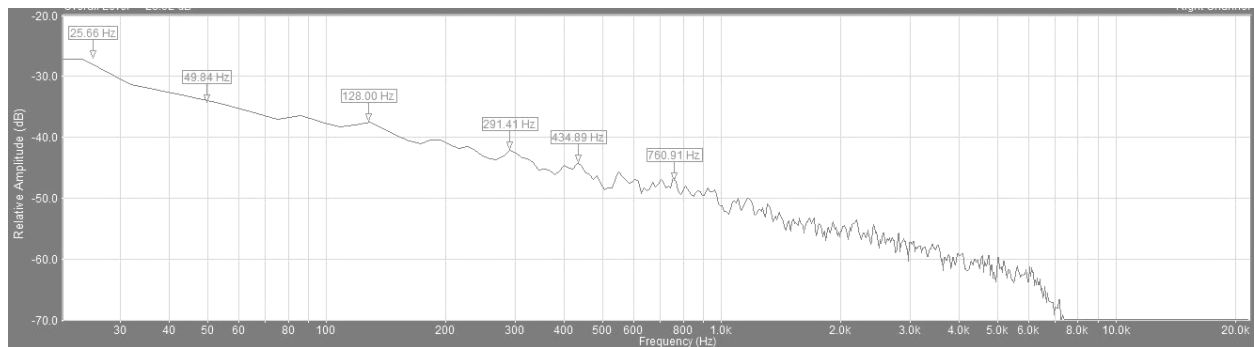


Рис. 4. Спектр сигнала в ОТС при движении электропоезда SKODA VAGONKA EJ675

Fig. 4. Signal spectrum in the RTN at movement of the SKODA VAGONKA EJ675 electric train



Рис. 5. График изменения амплитуды тока на тяговой подстанции

Fig. 5. Graph of current amplitude change at a traction substation

Параллельно проводилась регистрация амплитуды тока в тяговой сети при помощи щитового килоамперметра тяговой подстанции,

изменения показали увеличения амплитуды тока в тяговой сети до 2,5 кА при движении электропоезда SKODA VAGONKA EJ 675 при

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

средней амплитуде тока 1,4 кА. График изменения амплитуды тока в тяговой сети за период измерений показан на рис. 5. Проезд электропоезда по участку происходил на 30, 31, 32 минуте измерений.

Таким образом исследование доказали предположение о повышении фона гармонических помех, при внедрении на участке железной дороги ускоренного электроподвижного состава с асинхронными тяговыми двигателями. В диапазон гармонических помех попадают рабочие частоты кодовых и тональных рельсовых цепей, а также рабочие частоты автоматической локомотивной сигнализации. Таким образом, мешающее влияние тягового тока может приводить к непредвиденным сбоям в работе устройств СЦБ, а как следствие – к сбоям в графике движения поездов.

Приведенные результаты исследований определяют необходимость применения на тяговых подстанциях постоянного тока дополнительных средств фильтрации, настроенных на уменьшение гармонических составляющих на частотах, близких к рабочим частотам устройств СЦБ.

На современном этапе развития электронной техники пассивные LC-фильтры во многом требовательны к применению дорогостоящих материалов и сложны при точной настройке [5, 3, 12], в связи с этим предлагается для уменьшения амплитуды гармонических помех в ОТС применять современные активные фильтры, построенные на принципе компенсации гармонических составляющих, в случае их выявления.

Результаты

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований спектрального состава тока в рельсовой линии в условиях влияния тягового тока, при различных видах тяговой нагрузки. Исследования показали значительное изменение фона гармонических помех в рельсовой линии при внедрении на участке ускоренного движения тягового подвижного состава с асинхронными тяговыми двигателями. Результаты работы обуславливают необходимость применения дополнительных средств фильтрации гармонических помех как на тяговых подстанциях, так и в аппаратуре рельсовых цепей, а также автоматизированных средств технической диагностики.

Научная новизна и практическая значимость

В настоящей работе экспериментально определен спектральный состав тягового тока в обратной тяговой сети при ее нагрузке современным электроподвижным составом, а также получило подтверждение предположение об увеличении влияния тягового тока на аппаратуру рельсовой цепи, на участках с обращением ускоренного электроподвижного состава.

Выводы

Тяговая сеть электрифицированных железных дорог является мощным источником помех для работы устройств СЦБ. Амплитуда таких помех увеличивается при внедрении ускоренных электропоездов с асинхронными тяговыми двигателями. Уменьшение негативного влияния ОТС на устройства СЦБ возможно путем применения средств дополнительной фильтрации, основанных на технологиях активных фильтров гармоник, на тяговых подстанциях постоянного тока.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аркатов, В. С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог / В. С. Аркатов, А. И. Баженов, Н. Ф. Котляренко – М. : Транспорт, 1992. – 384 с.
2. Бадер, М. П. Электромагнитная совместимость : учеб. для вузов / М. П. Бадер. – М. : УМК МПС, 2002. – 638 с.
3. Дослідження умов роботи локомотивних пристроїв АЛС при безупинному проходженні поїзда через станцію / Ю. В. Соболев, С. В. Кошевий, М. С. Кошевий, С. М. Бібіков // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2009. – № 1 (74). – С. 32–43.
4. Завгородний, А. В. Методические аспекты определения уровней опасного и мешающего влияния подвижного состава на работу рельсовых цепей / А. В. Завгородний, В. И. Гаврилюк, В. Г. Сыченко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2005. – Вип. 9. – С. 11–14.
5. Карв, Ш. Активные фильтры гармоник [Электронный ресурс] / Ш. Карв. – Режим доступа: [http://ssily.ru/admin/uploads/states/file/aktivnyie_filtryi_garmonik\(rus\).pdf](http://ssily.ru/admin/uploads/states/file/aktivnyie_filtryi_garmonik(rus).pdf). – Загл. с экрана.
6. Кириленко, А. Г. Электрические рельсовые цепи : учеб. пособие / А. Г. Кириленко, Н. А. Пельменева. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2006. – 94 с.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

7. Крюков, А. В. Моделирование электромагнитных влияний контактной сети железных дорог на смежные линии электропередачи / А. В. Крюков, В. П. Закарюкин, Д. С. Кобычев // Энергет. системы. – 2009. – № 1. – С. 2–7.
8. Маслов, Г. П. Электроснабжение железных дорог : учеб. пособие / Г. П. Маслов, Г. С. Магарай, О. А. Сидоров. – Омск : Омский гос. ун-т путей сообщ. – 2006. – 48 с.
9. Марквард, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог : учеб. для вузов / К. Г. Марквард. – М. : Транспорт, 1982. – 528 с.
10. Технічне завдання на виконання науково-дослідної роботи за темою «Дослідження роботи тягової мережі на дільницях з рухом великопотокових та прискорених поїздів, розробка пропозицій щодо зменшення втрат електроенергії в зворотній тяговій мережі» за договором № 46.17.12.12 ПР/НТО-12341/НЮ від 07.06.2012 р. – 4 с.
11. Шаманов, В. И. Помехи и помехоустойчивость автоматической локомотивной сигнализации : учеб. пособие / В. И. Шаманов. – Иркутск : Изд-во ИРГУПС, 2005. – 236 с.
12. Щека, В. І. Дослідження впливу зворотного тягового струму на режими роботи тональних рейкових кіл / В. І. Щека, І. О. Романцев, К. І. Яшук // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 24–28.
13. Direct-drive induction motor for railway traction applications / Vasile Hoancă, Toma Dordea, Ștefan Păun et al. // Proc. of Romanian Academy, Series A. – Timișoara, 2011. – Vol. 12, № 3. – P. 239–248.
14. Eckel, H.-G. A new family of modular IGBT converters for traction applications [Электронный ресурс] / H.-G. Eckel. – Режим доступа: http://www.etnik.uni-rostock.de/ee/download/publications_LEA/uni_hro_publ_lea_26.pdf. – Загл. с экрана.

А. М. БЕЗНАРИТНИЙ^{1*}, В. І. ГАВРИЛЮК¹, І. О. РОМАНЦЕВ², В. І. ЩЕКА³

^{1*}Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, тел. +38 (056) 247 18 66, ел. пошта beznaurny.am@gmail.com, ORCID 0000-0003-2545-6621

¹Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ORCID 0000-0001-9954-4478

²Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта gio_mail.@i.ua

³Каф. «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 shceka_v@mail.ru, ORCID 0000-0002-2184-2827

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ЗВОРОТНОЇ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ З ПРИСТРОЯМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ, ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ ТА БЛОКУВАННЯ

Мета. У роботі необхідно виявити характер впливу електрорухомого складу на апаратуру рейкових кіл, що використовуються в пристроях автоблокування та електричної централізації. **Методика.** При підготовці роботи були проведені експериментальні дослідження рейкових кіл, під час проведення аналізу експериментальних даних була використана методика швидкого перетворення Фур'є. **Результати.** Проведені дослідження надали можливість оцінити спектральний склад струму в рейковій лінії в умовах впливу тягового струму електрорухомого складу з різними характеристиками тягових двигунів. **Наукова новизна.** У результаті досліджень отримано характеристики тягового струму в рейкових лініях, який формується пришвидшеним тяговим рухом складом з асинхронними тяговими двигунами. Показано небезпечність впливу тягового струму, що генерується таким рухом складом, на роботу рейкових кіл залізничної автоматики. **Практична значимість.** Експериментальним шляхом показано збільшення негативного впливу зворотної тягової мережі на пристрої сигналізації та зв'язку при впровадженні на дільниці пришвидшеного руху. Отримані результати можуть бути покладені в основу розробки засобів захисту рейкових кіл від негативного впливу, підвищення електромагнітної сумісності тягової мережі зі суміжними лініями, а також у розробку систем технічного діагностування.

Ключові слова: електромагнітна сумісність; рейкові кола; зворотна тягова мережа; електрорухомиий склад; тяговий струм; спектральний склад струму; негативний і небезпечний впливи

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

A. M. BEZNARITNYI^{1*}, V. I. GAVRILYUK¹, I. O. ROMANTSYEV², V. I. SHCHYEKA³

^{1*}Dep. «Automation, Remote Control and Communication», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, tel. +38 (056) 247 18 66, e-mail beznarytny.am@gmail.com, ORCID 0000-0003-2545-6621

¹Dep. «Automation, Remote Control and Communication», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, ORCID 0000-0001-9954-4478

²Dep. «Automation, Remote Control and Communication», 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 rio_mail.@i.ua

³Dep. «Automation, Remote Control and Communication», 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 shceka_v@mail.ru, ORCID 0000-0002-2184-2827

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY RESEARCH OF RETURN TRACTION NETWORK WITH SIGNALING DEVICES, CENTRALIZATION AND BLOCKING

Purpose. It is necessary to identify the influence nature of the electric stock on the equipment of rail circuits that is used in automatic blocking devices and electrical centralization. **Methodology.** During the preparation phase the experimental investigations in real operating conditions of track circuits were conducted. The method of fast Fourier transform was used during the analysis of experimental data. **Findings.** The conducted research made it possible to evaluate the spectral composition of the traction current in a rail line under the influence of electromotive traction rolling stock with different characteristics of traction motors. **Originality.** As a result of research the characteristics of traction current, which is formed by modern accelerated traction rolling stock with asynchronous traction motors in rail lines were obtained. The harmful influence of traction current generated by such rolling stock on the operation of rail circuits of railway automatics was presented. **Practical value.** Experiments show the increase of harmful influence of return traction network on signaling and blocking devices during adoption on accelerated motion section. The obtained results can be used as a basis for development of rail circuits protection from interference, increase of electromagnetic compatibility of traction network with the adjacent lines and the development of technical diagnostics systems.

Keywords: electromagnetic compatibility; track circuits; return traction network; electric rolling stock; traction current; spectral structure of current; harmful and dangerous influences

REFERENCES

1. Arkatov V.S, Bazhenov A.I., Kotlyarenko N.F. *Relsovyye tsepi magistralnykh zheleznykh dorog* [Track circuits of mainline railways]. Moscow, Transport Publ., 1992. 384 p.
2. Bader M.P. *Elektromagnitnaya sovместimost* [Electromagnetic compatibility]. Moscow, CMD MPS Publ., 2002. 638 p.
3. Sobolev Yu.V., Koshevyi S.V., Koshevyi M.S., Bibikov S.M. Doslidzhennia umov roboty lokomotyvnykh prystroiv ALS pry bezupynnomu prokhozheni poizda cherez stantsiiu [Work environment research of locomotive-ALS devices under non-stop passing of a train through the station]. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti – Information management system for rail transport*, 2009, no. 1, pp. 32-43.
4. Zavgorodniy A.V., Gavrilyuk V.I., Sychenko V.G. Metodicheskiye aspekty opredeleniya urovney oparnogo i meshayushchego vliyaniya podvizhnogo sostava na rabotu relsovykh tsepey [Methodological aspects to determine the levels of dangerous and harmful influence on the track circuits operation]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2005, issue 9, pp. 11-14.
5. Karv Sh. *Aktivnyye filtry garmonik* [Active harmonic filters]. Available at: http://ssily.ru/admin/uploads/states/file/aktivnyie_filtryi_garmonik_rus. Pdf (Accessed 24 February 2014).

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

6. Kirilenko A.G., Pelmeneva N.A. *Elektricheskiyye relsovyye tsepi* [Electric track circuits]. Khabarovsk, Izd-vo DVGUPS Publ., 2006. 94 p.
7. Kryukov A.V., Zakaryukin V.P., Kobychiev D.S. *Modelirovaniye elektromagnitnykh vliyaniy kontaktnoy seti zheleznykh dorog na smezhnyye linii elektroperedachi* [Modeling of electromagnetic influences of contact network of railways in the adjacent power lines]. *Energeticheskiye sistemy – Energy Systems*, 2009, no. 1, pp. 2-7.
8. Maslov G.P., Magaray G.S., Sidorov O.A. *Elektrosnabzheniye zheleznykh dorog* [Electricity of railways]. Omsk, Omskiy gos. un-t putey soobshch. Publ., 2006. 48 p.
9. Markvard K.G. *Elektrosnabzheniye elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog* [Electricity of electrified railways]. Moscow, Transport Publ., 1982. 528 p.
10. *Tekhnichne zavdannia na vykonannia naukovo-doslidnoi roboty za temoiu «Doslidzhennia roboty tiahovoi merezhi na dilnytsiakh z rukhom velykovantazhnykh ta pryskorenykh poizdiv, rozrobka propozyitsii shchodo zmenshennia vtrat elektroenerhii v zvorotnii tiahovii merezhi», za dohovorum no. 46.17.12.12 PR/NTO-12341/Nlu vid 07.06.2012 r.* [Technical assignment for execution of research work «Research of electric traction network at sections with heavy traffic and accelerated trains, development of proposals concerning reducing the loss of electric power in the return electric traction network»]. Contract no. 46.17.12.12 PR/NTO-12341/NLU, 2012. 4 p.
11. Shamanov V.I. *Pomekhi i pomekhoustoychivost avtomaticheskoy lokomotivnoy signalizatsii* [Interference and immunity of automatic locomotive signaling]. Irkutsk, Izd-vo IRGUPS Publ., 2005. 236 p.
12. Shcheka V.I., Romantsev I.O., Yashchiuk K.I. *Doslidzhennia vplyvu zvorotnoho tiahovoho strumu na rezhymy roboty tonalnykh reikovykh kil* [Research of influence of return traction current on operating mode of tonal rail circuits]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 24-28.
13. Vasile Hoancă, Toma Dordea, Ștefan Păun, Marius Biriescu, Gheorghe Madescu, Gheorghe Liubă, Marțian Moț. Direct-drive induction motor for railway traction applications. *Proc. of Romanian academy, Series A. Timișoara*, 2011, vol. 12, no. 3, pp. 239-248.
14. Eckel H.-G. A new family of modular IGBT converters for traction applications. Available at: http://www.etenik.uni-rostock.de/ee/download/publications_LEA/uni_hro_publ_lea_26.pdf (Accessed 26 February 2014).

Статья рекомендована к печати к.т.н., доц. А. Н. Самковым (Украина); д.физ.-мат.н., проф. О. В. Коваленко (Украина)

Поступила в редколлегию 24.02.2014

Принята к печати 11.04.2014

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

УДК 656.225.078(477)

Л. В. МАРЦЕНЮК^{1*}

^{1*}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

ОРГАНІЗАЦІЯ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ В УМОВАХ РЕФОРМУВАННЯ

Мета. Кожна з країн пострадянського простору виконує реформування залізничної галузі за різними моделями залежно від орієнтирів та цілей, які вона ставить перед собою. Усі залізничні адміністрації зіштовхнулися з проблемою суттєвого зниження обсягів вантажних і пасажирських перевезень, старіння основних фондів, відсутності інвестицій на їх оновлення. Мета статті полягає в розробці оптимальної структури управління вантажними вагонами в умовах реформування залізничного транспорту. **Методика.** Теоретичну та методологічну основу дослідження становлять системний аналіз проблем забезпечення конкурентоспроможності транспортної галузі у сфері вантажних залізничних перевезень, теоретичні положення економічної науки в галузі ефективності виробництва, ринкової трансформації економіки й управління національним господарством. **Результати.** Автором розроблено удосконалений механізм управління вантажними перевезеннями, який відрізняється від існуючого пристосуванням його до умов реформованої галузі та організацією управлінських компаній. Ці компанії разом із Українським транспортно-логістичним центром централізують управління всіма вантажними вагонами вітчизняних та закордонних компаній-операторів. **Наукова новизна.** Автором наведено теоретичне узагальнення й нове вирішення наукової задачі. Вона виявляється в розробці теоретичних і методологічних підходів до структури управління вантажними вагонами компаній-операторів в умовах реформування залізничного транспорту за рахунок організації в Україні управлінських компаній. Зазначені компанії єднали б одночасно два види діяльності – комерційну та ремонт вагонів різної власності, що дозволить скоротити термін обороту вагонів, зменшити час перебування рухомого складу в неробочому парку й тим самим підвищити ефективність вантажних перевезень. Зокрема, будуть брати в оренду й матимуть право розпоряджатися універсальними вагонами вітчизняних компаній-операторів та окремими спеціальними вагонами й поїздами-маршрутами вітчизняних і закордонних компаній-операторів на договірних умовах. **Практична значимість.** Раціонально застосовані заходи за запропонованими автором напрямками управління вантажними вагонами дозволять суттєво покращити показники використання рухомого складу залізниць та компаній-операторів.

Ключові слова: вантажні перевезення; компанія-оператор; приватизація; реформування

Вступ

Реформування залізничного транспорту є однією з необхідних умов на шляху адаптації українського залізничного транспорту до директив Європейського союзу, дає можливість виходу на ринок приватним компаніям та сприяє підвищенню конкурентоспроможності зазначеного виду транспорту.

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

Мета

В Україні триває реформування залізничного транспорту, метою якого є створення умов для підвищення ефективності функціонування галузі, задоволення потреб національної економіки й населення в перевезеннях, покращення якості транспортних послуг та зменшення транспортної складової в ціні продукції.

Реформування залізничного транспорту в країнах, де економіка працює в умовах сучасного ринку, є процесом необхідним, оскільки держава не в змозі більше фінансувати галузь в повному обсязі.

Методика

Реформування системи залізничного транспорту сьогодні є об'єктивною необхідністю. Воно є першим кроком на шляху адаптації залізничного транспорту України до стандартів Європейського Союзу, а також застосування прозорих механізмів для надання можливості приватним компаніям вийти на ринок залізничних перевезень.

На цьому етапі слід розв'язати багато питань з підвищення ефективності функціонування окремих господарств для їх переходу до роботи в умовах сучасного ринку. Це стосується найбільш прибуткових вантажних перевезень [4].

Доступ до інфраструктури повинен мати будь-який перевізник. Перевізник, у свою чергу, має право надати вантажовласнику вагони для перевезення, які можуть перебувати як у його власності, так і бути орендованими. Таким чином, безпосередньо вантажовласник не має безпосередніх відносин з власником інфраструктури та не переймається питанням наявності рухомого складу [1]. Залізничний перевізник бере на себе зобов'язання щодо вирішення всіх необхідних питань і виставляє вантажовласнику ціну на перевезення. В Україні ж, враховуючи монопольне положення Укрзалізниці, маємо дещо іншу ситуацію [3].

Результати

Враховуючи дослідження, виконані автором, можна зробити висновок, що доцільно, щоб керівні вантажні компанії об'єднали в собі управління усіма ланками технологічного процесу, що дозволить: оперативно впливати на

обіг вантажного вагона; скоротити термін доставки вантажів та врешті-решт зменшити витрати на перевезення.

Крім того, з різною періодичністю вантажні вагони повинні направлятися у вагонні депо для деповського ремонту, а у депо та заводи – для здійснення капітальних та капітального ремонту з подовження терміну служби. Для цього керівні компанії можуть включати в свою структуру на правах власності окремі пункти підготовки вагонів до перевезень, вагоноремонтні депо, інші структурні підрозділи вагонного господарства та деякі вагоноремонтні підприємства на різних умовах.

Наукова новизна та практична значимість

Організаційна структура вантажної компанії передбачає наявність центрального офісу, центрів організації вантажних робіт та технічної бази для ремонту вагонів. Для обслуговування вантажних районів на окремих станціях організовуються базові дільниці. Додатково за договорами вантажна компанія виконує поточний ремонт рухомого складу на пунктах технічного огляду вантажних вагонів та пунктах поточного ремонту вагонів з відчепленням від поїздів.

З метою тримання прибутку від діяльності, пов'язаної з організацією залізничних вантажних перевезень усіма видами сполучення, наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України № 563-Ц від 14.10.2011 року затверджено Положення про Український транспортно-логістичний центр (УТЛЦ), який є державним підприємством і діє як державне комерційне підприємство, що засновано на державній власності, входить до сфери управління Міністерства інфраструктури України і підпорядковане Укрзалізниці [1].

Серед основних видів його діяльності: надання послуг з організації перевезення вантажів; організація перевезень вантажів залізничним транспортом у взаємодії з іншими видами транспорту; надання послуг з транспортного оброблення вантажів; організація логістичної роботи у сфері надання послуг з перевезення вантажів залізничним транспортом, інформаційних та інших додаткових послуг; організація перевезень вантажів у власних вагонах, а також у вагонах інших власників та операторів заліз-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ничного рухомого складу; реалізація маркетингової і тарифної політики Укрзалізниці з урахуванням кон'юнктури міжнародного транспортного ринку, логістичних схем транспортування вантажів, конкурентоспроможності альтернативних напрямків перевезень та інших факторів, що впливають на обсяги перевезень вантажів; виконання комплексного аналізу українських та міжнародних товарних і транспортних ринків з метою залучення додаткових обсягів перевезень вантажів залізничним транспортом; удосконалення системи надання транспортних послуг; організація взаємодії з залізничними адміністраціями та перевізниками інших держав в питаннях тарифної політики при перевезеннях вантажів у міжнародному сполученні; розроблення і впровадження вільних (договірних) тарифів на роботи і послуги, пов'язаних з перевезенням вантажів, щодо яких не здійснюється державне регулювання тарифів; забезпечення проведення договірної роботи з користувачами послуг, пов'язаних з перевезенням вантажів; приймання замовлень на перевезення та узгодження їх у встановленому порядку з організаціями суміжних видів транспорту; ведення претензійно-позовної роботи з питань виконання договорів про надання послуг, пов'язаних з перевезенням вантажів; надання транспортно-експедиційних послуг при перевезенні вантажів; організація обслуговування клієнтів з інформаційного супроводження; організація та координація робіт, пов'язаних з перевантаженням вантажів на інші види транспорту, на митних ліцензійних складах та складах тимчасового зберігання, надання під розміщення вантажів територій, приміщень, складів, митних ліцензійних складів, складів тимчасового зберігання; посередницька діяльність митного брокера та митного перевізника; взаємодія з іншими видами транспорту на національному та міжнародному ринках транспортних послуг; фрахтування національних та іноземних суден для перевезення вантажів, оренда причальних комплексів і складів у морських і річкових портах; проведення фінансових, в тому числі валютних операцій, згідно з законодавством; проведення орендних, товарних операцій; укладення договорів управління майном, договорів позики та інших видів договорів, відповідно до законодавства України; організація та здійс-

нення рекламних послуг, пов'язаних з перевезеннями; надання інформаційних, технічних, юридичних, консалтингових та сервісних послуг; організація і здійснення оптової та роздрібною торгівлі [3].

УТЛЦ приймає і виконує доведені до нього в установленому законодавством України порядку державні замовлення і державні завдання, а також враховує їх при формуванні програми, визначенні перспектив свого економічного і соціального розвитку та виборі контрагентів.

На нашу думку, такий великий перелік напрямків діяльності українського транспортно-логістичного центру може привести до того, що підприємство буде зосереджено лише на декількох напрямках з вищезгаданих. Для успішної реалізації всіх поставлених перед ним завдань потрібна потужна сучасна матеріально-технічна база та великий штат досвідчених працівників.

Якщо припустити, що Український транспортно-логістичний центр зможе охопити всі заявлені напрямки діяльності, маючи філії у різних куточках України і який, згідно із його Статутом, буде виступати однією юридичною особою, то в цьому випадку не будуть виконуватися вимоги антимонопольного законодавства, а також Програми економічних реформ України на 2010–2014 роки «Заможне суспільство, конкурентоспроможна економіка, ефективна держава», яка передбачає розвиток конкурентного середовища на ринку послуг залізничного транспорту [1].

До того ж потрібно враховувати вимоги Європейського Союзу щодо реформування залізничної галузі, згідно з якими державам-членам ЄС потрібно розглядати залізниці як будь-яку іншу компанію, що діє на ринку, та зробити їх незалежними від органів державної влади. Крім того, залізнична інфраструктура має бути відкрита для всіх, хто, виконавши відповідні вимоги, захоче надавати транспортні послуги.

В Україні потрібно організувати таке управління парками вагонів, яке дозволить брати в оренду вагони вітчизняних приватних операторів для оптимізації процесу перевезень. Це необхідно для скорочення терміну обігу приватних вагонів, зменшення кількості робочого парку на мережі залізниць, зниження витрат на їх утримання та збільшення інвестицій на розвиток інфраструктури залізниць.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Для реалізації конкурентного середовища на ринку залізничних послуг автором запропоновано створити залежні відкриті акціонерні товариства, які будуть функціонувати разом з приватними компаніями-операторами, підприємствами з ремонту інфраструктури та рухомого складу [1].

Після реформування транспортної галузі в Україні поряд з великими компаніями-операторами будуть працювати маленькі власники рухомого складу, які дуже бережливо ставляться до своїх вагонів. Вони не бажають передавати в оренду або на інших умовах свій рухомий склад для перевезення вантажів. Ці компанії-оператори дуже часто втрачають клієнтів і не мають коштів для оплати нитки графіка або інших транспортних послуг, що призводить їх до банкрутства. Вони залишають вантажні вагони на станціях, оскільки не в змозі їх продати. Рухомий склад накопичується на станціях і знижує їх пропускну спроможність.

Для унеможливлення такого становища в Україні вантажні компанії мусять брати рухомий склад малих компаній-операторів в оренду або на інших умовах, управляти ним на власний розсуд і сплачувати таким операторам кошти за експлуатацію вагонів на умовах договору. У цьому разі вірогідність банкрутства значно зменшується.

Завданнями вантажної компанії в умовах сучасного ринку є: проведення технічної, технологічної політики та визначення нормативів з питань вантажної і комерційної роботи; удо-

сконалення процесу перевезень шляхом упровадження досягнень науково-технічного прогресу, прогресивних технологій і автоматизованих систем управління та застосування передових форм організації праці; підготовка пропозицій до розроблення та удосконалення нормативно-правових і технологічних документів з питань перевезення вантажів у всіх видах сполучень; участь у розробці міжнародних транзитних тарифів і Тарифної політики залізниць країн-учасниць СНД, міжнародних тарифних угод про перевезення вантажів; підготовка нормативних документів щодо правил застосування тарифів і розрахунків за транзитні перевезення; контроль та аналіз розрахунків за вантажні перевезення; організація якісного виконання вантажних перевезень разом з причетними управліннями Укрзалізниці; розробка та актуалізація логістичних схем транспортування основних видів транзитних вантажів; аналіз виконання кількісних та якісних показників роботи компанії.

Відповідність поставленої мети вантажних компаній та Українського транспортно-логістичного центру можуть принести позитивні результати співпраці цих підприємств у сфері вантажних перевезень та забезпечити виконання європейських вимог щодо реформування транспортної галузі.

Порівняльна характеристика результатів реформування залізниць у різних країнах наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика результатів реформування залізниць у різних країнах

Table 1

Comparative characteristics of railway reformation results in different countries

Назва компанії або країни	Переваги	Недоліки
Друга вантажна компанія (Росія)	Підвищення конкурентоспроможності та інвестиційної привабливості, отримання додаткових коштів на оновлення рухомого складу та інфраструктури. Приватний бізнес інвестував у придбання вагонів понад 400 млрд рублів [10].	Кожен власник управляє вантажними вагонами за принципом максимальної прибутковості, обираючи для себе найбільш вигідні або зручні відправки і не беручи до уваги інтереси інших учасників процесу перевезення вантажів і галузі в цілому. Втрачена універсальність вагонного парку. Залізничі зіткнулися з проблемами масових скупчень порожніх вагонів, зустрічними порожніми вагонопотоками – до 100 порожніх поїздів на добу. Штучно створений дефіцит пропозиції вагонів у низці сегментів ринку спровокував зростання цін, а також використання вантажовласниками вагонів як складу [2].

Продовження табл. 1

End of Table 1

Назва компанії або країни	Переваги	Недоліки
Укрзалізниця	Триває реформування залізничного транспорту, метою якого є створення умов для підвищення ефективності функціонування галузі, задоволення потреб національної економіки й населення в перевезеннях, покращення якості транспортних послуг та зменшення транспортної складової в ціні продукції [4, 5].	Зниження продуктивності вантажних вагонів і зростання навантаження на інфраструктуру загально-го користування. Знижується ефективність використання рухомого складу не тільки операторами, але й вантажовласниками. Середній простій вагона під вантажними операціями на одній станції збільшився більш ніж удвічі [9]. Інвентарний парк Укрзалізниці нещадно експлуатується в Росії, приватні вагони до 50 % пробіг здійснюють порожняком.
Керівні вантажні компанії (варіант автора)	Робота з консолідованим парком робить його використання істотно більш ефективним і дозволяє меншою кількістю вагонів перевозити великі обсяги вантажів [1].	Немає законодавчої бази по переходу на особливий порядок ціноутворення на перевезення вантажів у вагонах операторів, який передбачає формування вагонної складової тарифу з урахуванням ринкової вартості залучення рухомого складу.
США	Парк вантажних вагонів налічує 1,3 млн одиниць. При цьому в структурі переважають спеціалізовані вагони – близько 40 %. Одна з принципових відмінностей американського ринку перевезень полягає не тільки в ефективності менеджменту, а й у протяжності залізниць, а також в щільності мережі. Наприклад, в Росії щільність залізничної мережі складає 5 км на 1 тис. кв. км, а в США цей показник майже в шість разів вище – 28 км, у Німеччині – 117 км. Такий простір дозволяє зістиковувати залізничні перевезення з іншими видами транспортування вантажів, відкриває додаткові можливості для логістичної оптимізації маршрутів [13].	В США майже половина вагонів йде порожняком.
Британська модель	1 квітня 1994 року була утворена компанія «Railtrack», що володіє інфраструктурою залізниць, але не займається їх експлуатацією. Компанія продає «нитки» графіка руху поїздів на основі комерційних принципів. Після приватизації на мережі працюють 26 пасажирських і 6 вантажних компаній-операторів рухомого складу, а також 11 компаній, що займаються ремонтом і поточним утриманням колії [11].	Основна мета – вихід на беззбиткову роботу – досягнута не була. Крім того, наявність великої кількості гравців (більше 70), що з'явилися в результаті реформ, сильно ускладнило і заплутало процес прийняття рішень. Компанія «Railtrack» так і не стала приватною в повному розумінні цього слова. На неї було накладено безліч обмежень і заборон. Британське законодавство передбачає державне втручання у всіх випадках, коли з боку компанії буде проявлятися прагнення отримати надприбуток від інвестицій або відмовитися від проектів розвитку без достатньо обґрунтованих причин.

Закінчення табл. 1

End of Table 1

Назва компанії або країни	Переваги	Недоліки
Британська модель	Приватний сектор вкладає в розвиток залізниць інвестиції, всі значні витрати стають «прозорими», бо конкуренція спонукає збільшувати якість послуг.	Тому компанія була вимушена здійснювати інвестиційні проекти, які акціонери не знаходили привабливими, і, навпаки, не мала можливостей відмовитися від збиткових напрямів. У результаті компанія «Railtrack» так і не стала прибутковою, хоча сума збитків (близько 1,2 млрд ф. ст. на рік) зменшилася порівняно з часом перебування у державній власності (1,5–2,0 млрд ф. ст.). Компанія не змогла знайти достатньо коштів для підтримки інфраструктури. У підсумку після декількох серйозних катастроф компанія «Railtrack» стала виключно непопулярною, і уряд припинив субсидування. Потім відбулося неминуче банкрутство компанії, однак її активи не дісталися кредиторам і не були продані з аукціону, а були передані у власність компанії «Network Rail» – квазідержавній «безприбутковій корпорації без акціонерів» [12].

Висновки

Які висновки для України можна винести з досвіду приватизації залізниць інших країн? Аналіз реформ дозволяє виділити два найважливіших аспекти перетворень – форма власності та ступінь державного регулювання. Відмова від державної форми власності (приватизація) призвела до поліпшення як експлуатаційних (вантажобіг, пасажирооборот, навантаження), так і економічних показників. Головним з економічних успіхів приватизації стало бурхливе зростання інвестицій в рухомий склад та інфраструктуру. Разом з тим, високий рівень державного контролю за галуззю не дозволив залізницям розвиватися ефективно. Таким чином, можна зробити висновок, що приватизація – умова необхідна, але не достатня для досягнення успішних результатів реформи. Не менше значення має економічна свобода, тобто відсутність державного втручання в роботу галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бараш, Ю. С. Удосконалення механізму управління вантажними залізничними перевезеннями / Ю. С. Бараш, Л. В. Марценюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 40. – С. 211–215.
2. Беккаліев, Д. Х. Административно-правовая характеристика системы государственного управления железнодорожным транспортом в России / Д. Х. Беккаліев // Юридич. наука. – 2012. – № 4. – С. 65–68.
3. Внукова, С. Н. Совершенствование финансовой ответственности в расчетах за международные грузовые перевозки / С. Н. Внукова, Н. В. Гненний, Т. В. Тесленко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 31. – С. 289–291.
4. Данько, М. І. Реорганізація підприємств у контексті формування корпоративних структур / М. І. Данько // Економіка України. – 2007. – № 1. – С. 64–70.
5. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010–2019 роки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009-p>. – Назва з екрана.
6. Крамаренко, Г. А. Экономико-математическое обоснование потребности в вагонных парках операторов железнодорожного транспорта / Г. А. Крамаренко, В. В. Скалзуб, М. С. Чердниченко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 31. – С. 240–248.
7. Про залізничний транспорт : закон України [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

- <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi>. – Назва з екрана.
8. Про Національний план дій на 2011 рік щодо впровадження Програми економічних реформ на 2010-2014 роки «Заможне суспільство, конкурентоспроможна економіка, ефективна держава»: Указ Президента України № 504/2011 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://president.gov.ua/documents/13492.html>. – Назва з екрана.
 9. Стратегія розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uz.gov.ua/m=all.structure.tomorrow&lng=uk>. – Назва з екрана.
 10. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.protown.ru/information/doc/4308.html>. – Назва з екрана.
 11. Cemil, K. The Evolution of the Privatization of the British Railway [Електронний ресурс] / K. Cemil // *Annales*. – 2010. – № 59. – P. 197–213. – Режим доступу: <http://www.journals.istanbul.edu.tr/tr/index.php/hukuk/article/download/17159/16419>. – Назва з екрана.
 12. Mathieu, G. Railway Reforms in Europe / G. Mathieu // *The Reform of UK Railways – Privatization and Its Results*. – *Japan Railway & Transport Review*. – 2012. – № 34. – P. 16–31.
 13. Slack, B. The geography of transport systems [Електронний ресурс] / B. Slack, J.-P. Rodrigue. – 3rd edition. – New York: Routledge, 2013. – 416 p. – Режим доступу: <http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch9en/appl9en/ch9a1en.html>. – Назва з екрана.

Л. В. МАРЦЕНЮК^{1*}

^{1*}Каф. «Економіка і менеджмент», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (093) 934 18 03, ел. пошта gwinform1@rambler.ru, ORCID 0000-0003-4121-8826

ОРГАНИЗАЦИЯ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК В УКРАИНЕ В УСЛОВИЯХ РЕФОРМИРОВАНИЯ

Цель. Каждая из стран постсоветского пространства выполняет реформирование железнодорожной отрасли по различным моделям в зависимости от ориентиров и целей, которые она ставит перед собой. Все железнодорожные администрации столкнулись с проблемой существенного снижения объемов грузовых и пассажирских перевозок, старения основных фондов, отсутствия инвестиций на их обновление. Цель статьи заключается в разработке оптимальной структуры управления грузовыми вагонами в условиях реформирования железнодорожного транспорта. **Методика.** Теоретическую и методологическую основу исследования составляют системный анализ проблем обеспечения конкурентоспособности транспортной отрасли в сфере грузовых железнодорожных перевозок, теоретические положения экономической науки в области эффективности производства, рыночной трансформации экономики и управления национальным хозяйством. **Результаты.** Автором разработан усовершенствованный механизм управления грузовыми перевозками, который отличается от существующего приспособлением его к условиям реформируемой отрасли и организацией управленческих компаний. Эти компании вместе с Украинским транспортно-логистическим центром централизуют управление всеми грузовыми вагонами отечественных и зарубежных компаний-операторов. **Научная новизна.** Автором приведены теоретическое обобщение и новое решение научной задачи. Она проявляется в разработке теоретических и методологических подходов к структуре управления грузовыми вагонами компаний-операторов в условиях реформирования железнодорожного транспорта за счет организации в Украине управленческих компаний. Указанные компании объединяют одновременно два вида деятельности – коммерческую и ремонт вагонов различной собственности, что позволит сократить оборот вагонов, время пребывания подвижного состава в нерабочем парке и тем самым повысить эффективность грузовых перевозок. В частности, будут брать в аренду и иметь право распоряжаться универсальными вагонами отечественных компаний-операторов и специальными вагонами и поездами-маршрутами отечественных и зарубежных компаний-операторов на договорных условиях. **Практическая значимость.** Рационально примененные меры по предложенным автором направлениям управления грузовыми вагонами позволят существенно улучшить показатели использования подвижного состава железных дорог и компаний-операторов.

Ключевые слова: грузовые перевозки; компания-оператор; приватизация; реформирование

L. V. MARTSENIUK^{1*}

¹Dep. «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

ORGANIZATION OF FREIGHT TRANSPORTATION IN UKRAINE IN THE REFORMATION CONDITIONS

Purpose. Each country of the former Soviet Union carries out railroad industry reformation according to different models depending on orienting points and the goals it establishes. All railway administrations have faced the problem of considerable reduction of freight and passenger transportation volumes, aging of main assets, lack of investments for their renovation. The purpose of the paper is the development of optimal management structure of freight cars in conditions of railway transport reformation. **Methodology.** The theoretical and methodological basis for research is a systematic analysis of problems of providing the competitiveness of the transport industry in the field of freight railway transportations, theoretical principles of economics in the production efficiency, market economics transformation and management of the national economy. **Findings.** The author has developed an improved mechanism for freight traffic management, which differs from the existing one by its adaptation to the conditions of industry being reformed and the organization of management companies. These companies together with the Ukrainian transport and logistics center centralize management of all freight cars of both domestic and foreign operating companies. **Originality.** Author presents the theoretical generalization and new solution of the scientific problem. It appears in the development of theoretical and methodological approaches to the management structure of the freight cars by operating companies in conditions of railway transport reforming through the management companies organization in Ukraine. The above mentioned companies will combine two types of activity – the commercial one and the cars repair of different property, it will reduce car turnover, stay time of rolling stock in the inoperative park and thereby improve the efficiency of freight transportations. Particularly, they will lease and have the right to dispose universal cars of domestic operating companies and special cars and trains - routes of domestic and foreign operating companies on a contractual basis. **Practical value.** The author has proposed directions of freight cars management. Their rational use will significantly improve the utilization rates of railway rolling stock and operating companies.

Keywords: freight transportations; operating company; privatization; reformation

REFERENCE

1. Barash Yu.S., Martseniuk L.V. Udoskonalennia mekhanizmu upravlinnia vantazhnykh zaliznychnykh perevezenniamy [Management mechanism improvement of freight railway transportation]. *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 40, pp. 211-215.
2. Bekkaliyev D.Kh. Administrativno-pravovaya kharakteristika sistemy gosudarstvennogo upravleniya zheleznodoro-zhnykh transportom v Rossii [Administrative and legal characteristics of the public administration system of railway transport in Russia]. *Yuridicheskaya nauka – Jurisprudence*, 2012, no. 4, pp. 65-68.
3. Vnukova S.N., Gnennyi N.V., Teslenko T.V. Sovershenstvovaniye finansovoy otvetstvennosti v raschetakh za mezhdunarodnyye gruzovyye перевозки [Improvement of financial responsibility in the calculations for international freight transportations]. *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 31, pp. 289-291.
4. Danko M.I. Reorganizatsiya pidpriemstv u konteksti formuvannia korporatyvnykh struktur [Reorganization of enterprises in the context of the corporate structures formation]. *Ekonomika Ukrainy – Economy of Ukraine*, 2007, no. 1, pp. 64-70.
5. *Derzhavna tsilova prohrama reformuvannia zaliznychnoho transportu na 2010–2019 roky* [State Program of railway reformation in 2010-2019 years]. Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009-p> (Accessed 20 March 2014).

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

6. Kramarenko G.A., Skalozub V.V., Cherednichenko M.S. Ekonomiko-matematicheskoye obosnovaniye potrebnosti v vagonnykh parkakh operatorov zheleznodorozhnogo transporta [Economic and mathematical justification of need in railway transport operators in car fleets]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 31, pp. 240-248.
7. *Pro zaliznychnyi transport: zakon Ukrainy* [On railway transport: Ukrainian law]. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi> (Accessed 20 March 2014).
8. *Pro Natsionalnyi plan dii na 2011 rik shchodo vprovadzhennia Prohramy ekonomichnykh reform na 2010-2014 roky «Zamozhne suspilstvo, konkurentospromozhna ekonomika, efektyvna derzhava»* [About the National Action Plan for 2011 concerning the program of economic reforms implementation for 2010-2014 years: «Prosperous society, competitive economy, effective state»]. Available at: <http://president.gov.ua/documents/13492.html/> (Accessed 20 March 2014).
9. *Stratehiia rozvytku zaliznychnoho transportu na period do 2020 roku* [Development strategy of railway transport for the period up to 2020 year]. Available at: <http://www.uz.gov.ua/m=all.structure.Tomorrow&lng=uk> (Accessed 20 March 2014).
10. *Strategiya razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda* [Railway transport development strategy of the Russian Federation up to 2030 year]. Available at: <http://www.protown.ru/information/doc/4308.html> (Accessed 20 March 2014).
11. Cemil K. The Evolution of the Privatization of the British Railway. *Annales*, 2010, no. 59, pp. 197-213. Available at: <http://www.journals.istanbul.edu.tr/tr/index.php/hukuk/article/download/17159/16419> (Accessed 20 March 2014).
12. Mathieu G. Railway Reforms in Europe. The Reform of UK Railways – Privatization and Its Results. – *Japan Railway & Transport Review*, 2012, no. 34, pp. 16-31.
13. Slack B., Rodrigue J.-P. The geography of transport systems. 3rd edition. New York, Routledge, 2013. 416 p. Available at: <http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch9en/app19en/ch9a1en.html>. (Accessed 20 March 2014).

Стаття рекомендована до публікації д.е.н., проф. Ю. С. Барашем (Україна); д.е.н., проф. К. Ф. Ковальчуком (Україна)

Надійшла до редколегії 13.03.2014

Прийнята до друку 30.04.2014

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 656.22

М. І. МУЗИКІН¹, Г. І. НЕСТЕРЕНКО^{2*}

¹ДП «Придніпровська залізниця», пр. К. Маркса, 108, Дніпропетровськ, Україна, 49600, тел. +38 (095) 251 53 14,
ел. пошта grafmim@rambler.ru, ORCID 0000-0003-2938-7061

^{2*}Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 70,
ел. пошта galinamuzykina@rambler.ru, ORCID 0000-0003-1629-0201

ВПЛИВ «ВІКОН» НА ПРОПУСКНУ СПРОМОЖНІСТЬ ЗАЛІЗНИЧНОГО НАПРЯМКУ

Мета. У дослідженні необхідно здійснити аналіз процесу стабілізації руху поїздів після перерви та втрат у пропускній спроможності. **Методика.** Розглянуто процес руху поїздів за напрямком (двоколінійній лінії із сортувальною станцією) в екстремальних умовах, коли надаються «вікна» для капітального ремонту колії. Під час дослідження цього процесу проведено розрахунки часу відновлення нормального руху після «вікна». У даному процесі відсутні організаційні втручання, спрямовані на зміну тих чи інших показників. Він викладений у дослідженні в чистому вигляді, щоб показати, як система сама приходить до рівноваги. **Результати.** У результаті дослідження виявлено, що головні втрати пропускної спроможності при наданні «вікна» на графіку утворюються не внаслідок перерви руху, а в результаті збурень, викликаних ним. Фактичний простій у наведеному дослідженні склав близько 300 поїздо-годин. Безпосередньо через «вікно» він дорівнює 129 поїздо-годин. Втрати склали більш як половину загального простою поїздів, викликаного самим «вікном». **Наукова новизна.** Авторами доведено існування можливості скорочення втрат пропускної спроможності залізничного напрямку в результаті цілеспрямованого впливу на цей процес. **Практична значимість.** Реалізація даних дій надасть практичну можливість скорочення втрати пропускної спроможності.

Ключові слова: пропускна спроможність; «вікно»; простій поїздів; технічні станції; система тягового забезпечення лінії

Вступ

Значний внесок у розв'язання наукової проблеми з розвитку пропускної спроможності залізниць зробили Васильєв І. І., Максимович Б. М., Тихомиров І. Г., Тихонов К. К., Макарович А. М., Дьяков Ю. В., Батурін О. П., Акуліничев В. М., Сотніков Є. О., Хейт Ф., Сотніков І. Є., Кочнев Ф. П., Образцов В. М., Савенко А. С., Архангельський Е. В., Самсонкін В. М., Бутько Т. В., Яновський П. О., Козлов В. Є. та інші вчені [8, 14, 17].

Аналіз вітчизняного та закордонного досвіду показав, що існуюча методика розрахунку пропускної спроможності невиправдано ускла-

днена із-за спроби охоплення та ведення розрахунків для всього різноманіття типів графіків руху [2, 3, 6, 7, 9, 16, 18, 19]. Підхід до оцінювання пропускної спроможності як до технічної характеристики ділянки, а до графіка руху поїздів як до її використання дозволяє усунути протиріччя між пропускною спроможністю та організацією руху поїздів і не переносити недоліки розробки графіка руху на визначення пропускної спроможності ділянки.

Мета

Аналіз процесу стабілізації руху поїздів після перерви та втрат у пропускній спроможності.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Методика

Ступінь нерівномірності вантажних перевезень є одним з істотних факторів при визначенні потрібної пропускної спроможності ділянок, а також при організації перевізного процесу на залізниці. При цьому пропускна спроможність напрямків визначається обмежуючою ділянкою. Чим вища нерівномірність вантажних перевезень, тим більшими виявляються в окремі періоди часу згущення вагоно-, поїздо- та вантажопотоків, для їх охоплення зростає пропускна та перероблююча спроможності різних об'єктів інфраструктури [14].

Щоб рухатися вперед, необхідно знання історії. Саме тому потрібно аналізувати досвід минулих років [1, 5, 12, 13].

Існував такий термін – наявна технічна потужність залізниці, під яким розумілись її спроможність в одиницю часу пропускати по кожному елементу визначену кількість вантажів і пасажирів. Залежала вона від різноманітних параметрів, в першу чергу від нерухомих (план, профіль, розміщення роздільних пунктів і т.п.), та рухомих (рухомий склад визначеного типу та його кількість) засобів. Тоді наявна пропускна спроможність визначалась як частина технічної потужності, яка залежить від нерухомих засобів при визначених типі рухомого складу та форми організації руху. Інша частина технічної потужності, яка залежала виключно від кількості рухомого складу даного типу і яка дозволяла реалізувати пропускну спроможність, називалася наявною провізною спроможністю залізниці [12].

На сьогодні наявною пропускнуою спроможністю залізничної лінії називають найбільші розміри руху (в поїздах чи парах поїздів), котрі можуть бути виконані в одиницю часу. Величину її визначають залежно від ступеня технічної оснащеності лінії – стаціонарних (нерухомих) пристроїв, типу та потужності рухомого складу (тягових засобів), форм і методів організації руху поїздів (типу графіка). Провізна спроможність – найбільша величина вантажопотоку (тон вантажу), яка може бути опанована лінією в одиницю часу. Таким чином, пропускна спроможність лінії характеризує можливість виконувати задані розміри руху поїздів різних категорій (пасажирських, вантажних, прискорених, збірних та ін.), провізна ж спроможність – частина пропускної спроможності – відображує потужність лінії, яка використовується

тільки для вантажних перевезень при забезпеченні пропуску заданої кількості пасажирських та інших поїздів термінового обертання.

Наведені визначення в різній мірі перевантажені інформацією і містять одну й ту саму помилку: пропускна спроможність залежить від організації руху поїздів (типу графіка). Виникає протиріччя: максимальні розміри руху на графіку визначаються пропускнуою спроможністю, у той час як сама пропускна спроможність – графіком руху. Виникає питання, що ж з них первинно? Звичайно, первинною повинна бути технічна характеристика ділянки – пропускна спроможність.

Зміна змісту основних визначень: технічної потужності залізниці на пропускну спроможність основних елементів залізничного господарства (перегонів, технічних станцій, деповського господарства, пристроїв енергопостачання та ін.) – зробила іншою і систему розрахунків. Раніше вона претендувала на деяку системність – об'єднувала постійні пристрої та чисельність рухомого складу. Зараз же у відповідності з діючої Інструкцією з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України [4] необхідно спочатку встановити пропускну спроможність окремих споруд: перегонів, станцій, пристроїв енергозабезпечення електрифікованих ліній, деповських та екіпірувальних пристроїв локомотивного господарства. Результативна пропускна спроможність ділянки – найменша з них. Вона й визначає максимальну кількість поїздів, яку здатна пропустити ділянка в одиницю часу. Така система розрахунку наявної пропускної спроможності призвела до практики ізольованого планування асигнувань на розвиток різних ланок залізниці. Для кожного господарства визначається своя потужність у кілометрах других та третіх головних колій, електрифікованих ліній, колій та стрілочних переводів і т.п., які не завжди взаємопов'язані між собою. Так, достатньо гостро відчувається зараз відставання в розвитку ремонтної бази локомотивів, відсутні індустріальні методи утримання колії та ін. Це призводить до того, що лінії розвиваються не комплексно.

Слід також зазначити, що наявна результативна пропускна спроможність лінії виявляється завжди більшою за ту кількість поїздів, яку вона фактично пропускає. З'являється ще одне визначення пропускної спроможності – реально

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

використовувана. Чому ж існує розбіжність між наявною та реально використовуваною пропускними спроможностями? Розглянемо процес руху поїздів по напрямку (двоколінійній лінії з сортувальною станцією) в екстремальних умовах, коли надаються «вікна» для капітального ремонту колії. Низка методичних положень дозволяють обрати оптимальну тривалість «вікна», при якій сумарні витрати мінімальні. Ці витрати складаються тільки з двох частин: витрат, пов'язаних з затримкою поїздів та локомотивів через «вікно», та витрат підрозділів, які виконують ремонтні роботи. Перші зі збільшенням тривалості «вікна» зростають, а інші – зменшуються. Різний характер змін цих витрат призводять до того, що сумарні витрати при збільшенні «вікна» спершу зменшуються, а потім зростають. Їх мінімальне значення досягається при тривалості «вікна» 4...5 год [10, 11].

Втрати часу через затримки поїздів та локомотивів визначаються тільки в період самих ремонтних робіт. Але вони навіть на сильно вантажонапружених лініях складають відносно невелику величину. Наприклад, на двоколінійній лінії з 6-хвилинним автоблокуванням надано 6-годинне «вікно». Добові розміри руху – 100 поїздів. Середній інтервал між ними $\frac{1440}{100} = 14,4$ хв. Отже, за чистий час «вікна»

буде затримано $\frac{6 \cdot 60}{14,4} = 25$ поїздів. Скільки

ж часу знадобиться для відновлення нормального руху, якщо після відкриття перегону поїзди будуть рухатися з мінімальним міжпоїзним інтервалом? Очевидно, що для пропуску 25 затриманих поїздів знадобиться $25 \cdot 6 = 150$ хв. За

цей час до перегону надійде ще $\frac{150}{14,4} = 11$ поїз-

дів, для пропуску яких знадобиться $6 \cdot 11 = 66$ хв.

Через них буде затримано ще $\frac{66}{14,4} = 5$ поїздів,

пропуск яких займе $5 \cdot 6 = 30$ хв, що викличе

затримку $\frac{30}{14,4} = 2$ поїздів, котрі потребують

для свого пропуску $6 \cdot 2 = 12$ хв. Припустимо, що надалі затримок не буде. Таким чином для відновлення нормального руху потрібно $150 + 66 + 30 + 12 = 258$ хв (4 год 18 хв). Як ба-

чимо, цей час навіть менший, ніж тривалість «вікна». А який же сумарний простій всіх затриманих поїздів? Очевидно, що перший проїзд простій стільки ж часу, скільки складає перерва в русі, тобто 360 хв, простій останнього буде дорівнювати нулю, а середній $\frac{0 + 360}{2} = 180$ хв. Через «вікно» затримано

$25 + 11 + 5 + 2 = 43$ поїзди. Їх сумарний простій $43 \cdot 180 = 7\,740$ поїздо·хв, або 129 поїздо·год.

Цей розрахунок наведено для того, щоб, перше, показати процес руху поїздів після відкриття перегону, по-друге, проілюструвати простоту існуючих розрахунків наведених показників.

Відомо, що 6-годинне «вікно» при розмірах руху 100 пар вантажних поїздів за добу практично викликає затримку більшої кількості поїздів, а нормальний рух відновлюється наприкінці другої, а то й третьої діби після відкриття перегону. За період «вікна» капітально ремонтуються 1,5...1,8 км залізничної колії на залізобетонних шпалах. При наданні «вікна» два рази на тиждень за літній сезон можливо відремонтувати тільки 72...86 км. Якщо додати до цього необхідність надавати «вікна» для середнього ремонту та поточного утримання колії, то цілком очевидно, що перерви в русі супроводжуються значними втратами пропускної спроможності.

Отже, резерви, які можливо реалізувати, є.

Повернемося до розрахунків часу відновлення нормального руху після «вікна». Всі затримані поїзди, а їх в нашому випадку 43, починають рухатися з мінімальним міжпоїзним інтервалом. Лавина їх обрушується на технічну станцію (на рис. 1 схематично зображений процес стабілізації руху поїздів після перерви та втрат у пропускній спроможності). Впродовж більше 4 год вона повинно безперешкодно приймати їх. Часто станція не готова для прийому поїздів з такою інтенсивністю через те, що її технічне оснащення відповідає прибуттю поїздів лише з середнім інтервалом.

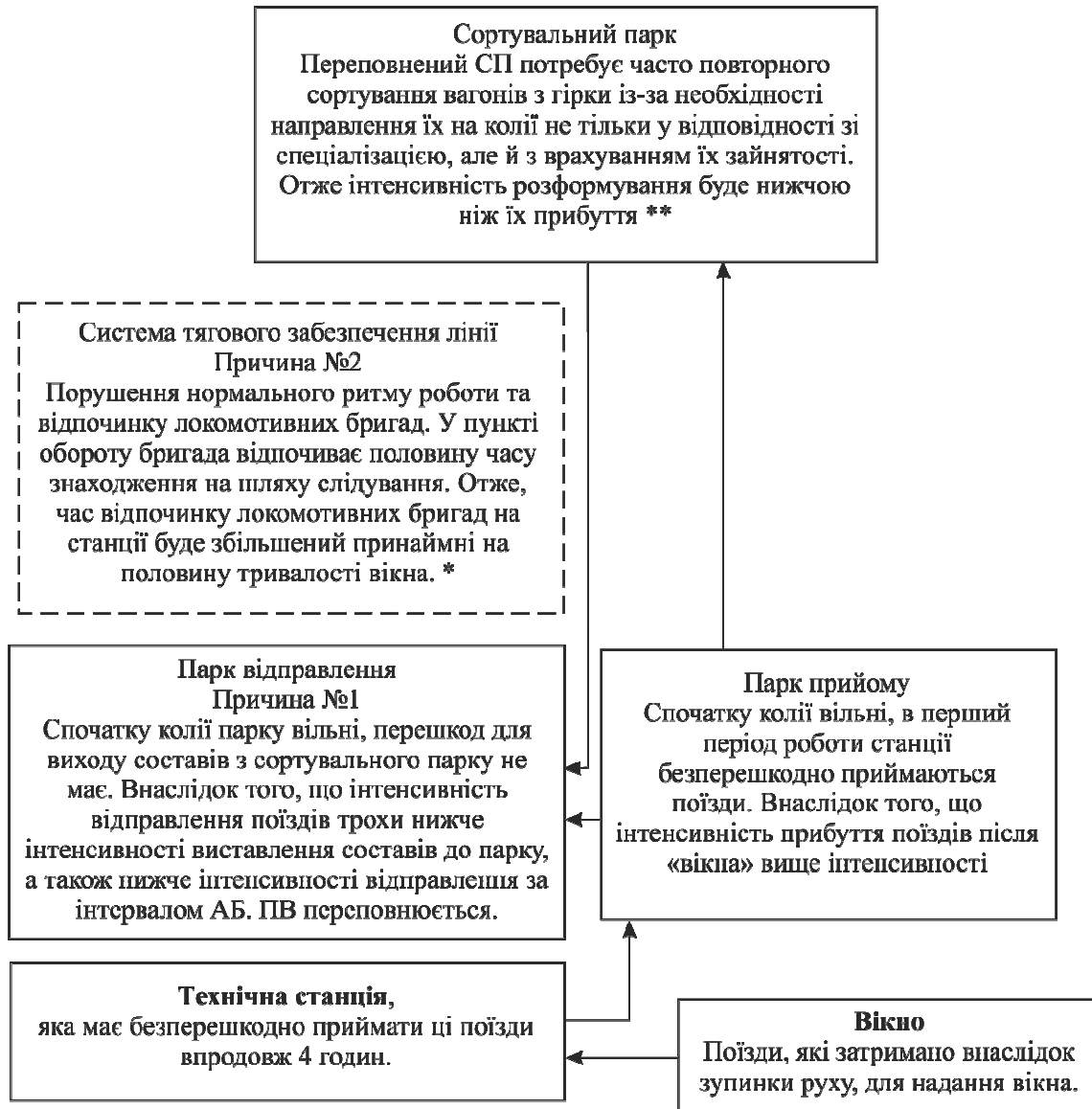
Що ж відбувається, коли станція не має в своєму розпорядженні достатньої потужності для безперешкодного прийому поїздів, які слідує з інтервалом автоблокування? Перш за все, 6-хвилинний інтервал не витримується через затримки поїздів на підходах до станції. От-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

же, час відновлення нормального руху буде значно більшим, ніж отримано за розрахунками.

Таким чином, з'являється ще один елемент – технічна станція. Відомо, що парки прийому та відправлення у момент, коли сортувальна станція готується до інтенсивного прийому по-

їздів, вільні, а колії сортувального парку зайняті в тій мірі, яка визначається характером накопичення составів за призначеннями плану формування поїздів (вважаємо, що станція має один підхід).



* Якщо на станції знаходиться основне депо, простій поїздів буде меншим за рахунок виклику локомотивних бригад з місця проживання та скорочення тривалості їх відпочинку. Проте простій буде завжди й його також необхідно враховувати при розрахунках тривалості відновлення нормального руху.

** Тривалість такого періоду визначається кількістю локомотивів (та бригад), котрі увійшли на станцію з моменту відкриття руху до повної її зупинки. Саме ці локомотиви та відпочили бригади будуть вивозити сформовані поїзди. Після цього відправлення зупиниться – дасться взнаки друга перерва у русі (немає поїздів, немає й локомотивів). Ця перерва по тривалості не перевищує половину попередньої.

Рис. 1. Схема процесу стабілізації руху поїздів після перерви та втрат у пропускну́й спроможності

Fig. 1. Scheme of stabilization process of train movement after interruption and losses in working capacity

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Перший період роботи станції відрізняється безперешкодним прийомом поїздів. По мірі заповнення поїздами колій парку прийому гірка не відволікається на повторну переробку вагонів, переробку кутового вагонопотоку, осаджування, розформування подач з фронтів навантаження-вивантаження та ін. Ці операції були виконані за час перерви в русі. Ось чому в сортувальному парку інтенсивно накопичуються состави, йде швидкий процес поїздоутворення. Ця інтенсивність чисельно дорівнює інтенсивності розформування при одних й тих же нормах ваги по прибуттю та відправленню, тобто якщо за 1 год розформовано 4 поїзди, то в сортувальному парку накопичена така ж кількість составів. Тому й витяжні колії повинні працювати з найбільшою продуктивністю (закінчення формування та витягування составів в парк відправлення).

Для нормального руху необхідно, щоб інтенсивності розформування поїздів, закінчення формування та витягування составів в парк відправлення були не нижче інтенсивності прибуття.

В іншому випадку інтервал між прибуваючими поїздами буде більше мінімального. А на станціях, як правило, інтенсивність прибуття після «вікна» вище інтенсивності розформування. Тому колії парку прийому заповнюються і станція починає стримувати прийом поїздів. Причому середній час затримки поїзда на підході чисельно дорівнює різниці гіркового та міжпоїздного інтервалу. Цим відрізняється другий період роботи станції.

Як відомо, успішна робота витяжних колій залежить, перш за все, від безперешкодного виводу готових составів у парк відправлення, а це залежить від своєчасного звільнення його колій. У перший період роботи станції колії парку відправлення вільні й перешкод для виводу составів з сортувального парку немає. Так відбувається доти, доки парк відправлення не заповниться. Тепер відповімо чи не на головне питання – чому переповнюється парк відправлення? Перша й найбільш очевидна причина полягає в тому, що інтенсивність відправлення поїздів трохи нижче інтенсивності виставлення составів до парку, вона визначається розкладом руху поїздів і, отже, нижче, ніж відправлення з інтервалом автоблокування. Ось чому для нормальних умов роботи станції дирекція та залізниця повинні знайти можливість відправлення

поїздів за додатковими розкладами. Іншими словами, для швидкого відновлення нормального ритму руху поїздів після «вікна» необхідне відправлення поїздів зі станції з тією ж інтенсивністю, що й прибуття.

Друга причина не так очевидна, як перша. Ремонтні колійні роботи, спричинивши перерву в русі, порушили нормальний ритм роботи та відпочинку локомотивних бригад. Відповідно до трудового законодавства у пункті обороту бригада відпочиває половину часу знаходження на шляху слідування.

Отже, час відпочинку локомотивних бригад на станції буде збільшений, принаймні на половину тривалості «вікна». До чого це призводить? Локомотив від першого прибулого після відновлення руху поїзда прямує в депо для технічного огляду та екіпірування (на це потрібно 1,0...1,5 год). Вийти під поїзд він зможе значно пізніше закінчення цих операцій, що визначається тривалістю відпочинку локомотивної бригади, тобто час знаходження локомотива на станції збільшується також на половину тривалості «вікна».

До моменту інтенсивного виставлення составів до парку відправлення на станції знаходиться визначена, але дуже обмежена кількість бригад та локомотивів. Припустимо, що їх тільки п'ять. Цього достатньо, щоб впродовж 30 хв ($5 \cdot 6 = 30$) відправляти поїзди з інтенсивністю, яка дорівнює інтенсивності прибуття. Отже, перші п'ять поїздів будуть відправлені вчасно (при наявності додаткових розкладів), а шостий та всі наступні очікують появи локомотива. В нашому прикладі простій шостого поїзда становить 2,5 год ($3 \dots 0,5$) (для наступних поїздів цей час зменшується).

Ця станція може бути вузловою з декількома підходами, і до того ж не пунктом обороту локомотивних бригад. Якщо на ній знаходиться основне депо, простій поїздів буде меншим за рахунок виклику локомотивних бригад з місця проживання та скорочення тривалості їх відпочинку. Тоді з'являться або понаднормові години роботи, або простій здвинеться в часі, коли цей резерв буде вичерпано. Проте простій буде завжди і його також необхідно враховувати при розрахунках тривалості відновлення нормального руху.

Таким чином, з'являється ще один елемент – система тягового забезпечення лінії.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Тепер повернемося до процесу функціонування станції. Зрозуміло, що при повному зайнятті колій парку відправлення поїзди не відправляються з причини очікування локомотива, а точніше через додатковий відпочинок бригад, сформовані состави виставляти нікуди, парки прийому та сортувальний переповнені, гірка зупинена, станція не приймає поїзди вже тривалий час. Як свідчать розрахунки та аналіз графіків виконаного руху декількох напрямів, тривалість третього періоду досить значна і в самих несприятливих умовах складає половину тривалості «вікна». Таким чином, після відновлення руху поїздів настає друга перерва, викликана порушенням режиму роботи локомотивних бригад.

На цьому процес не закінчується. Після відпочинку локомотивних бригад та виходу локомотивів під поїзди відправлення їх зі станції не відновлюється, а отже, знову починається прийом, але вже не настільки інтенсивний, як у першому періоді. Це пояснюється тим, що переповнений сортувальний парк часто потребує повторного сортування вагонів з гірки через необхідність направлення їх на колії не тільки відповідно до спеціалізацією, але й з врахуванням їх зайнятості. Отже, інтенсивність розформування поїздів буде нижчою, ніж їх прибуття. По характеру роботи цей період близький до другого. Тривалість його визначається кількістю локомотивів (та бригад), котрі увійшли на станцію з моменту відкриття руху до повної її зупинки. Саме ці локомотиви та відпочили бригади будуть вивозити сформовані поїзди. Після цього відправлення припиниться – дасться в знаки друга перерва в русі (немає поїздів, немає й локомотивів). Ця третя перерва по тривалості не перевищує половини попередньої.

Результати

Подальша робота станції складається з послідовного чергування зростаючого другого та третього періодів, що скорочується. Відбувається поступове згасання збурення в процесі руху, які викликані «вікном». Фактичний простій в наведеному прикладі складає біля 300 поїздо-год. Нагадаємо, що безпосередньо через «вікно» він дорівнює 129 поїздо-год. Отже, втрати складають половину загального простою поїздів, викликаного самим «вікном», та навіть більше. В цьому процесі немає ніяких

організаційних втручань, спрямованих на зміну тих чи інших показників. Він викладений тут в чистому вигляді, щоб показати, як система сама приходиться до рівноваги.

Перерва в русі, перш за все, істотно впливає на тягове забезпечення напрямку. «Вікно» завжди супроводжується втратою дільничної швидкості, а це викликає додаткову потребу в локомотивах і що найбільш важливо – у локомотивних бригадах. Збільшення тривалості відпочинку бригад викликає значні простой поїздів в очікуванні локомотивів, від чого змінюється режим роботи сортувальної станції. А відтак по-іншому розподіляють поїзди на ділянці, визначають перерви у русі, а отже, і результуючу пропускну спроможність. Отже, технічне оснащення лінії, система тягового обслуговування, потужності та колійний розвиток станції тісно пов'язані між собою. Будь-яке «вікно», чи то ремонт колії, чи то заміна вагоноуповільнювача на гірці викликає певні наслідки в кожному ланцюгу [1, 15].

Таким чином, реальна пропускну спроможність лінії – результат складної взаємодії ділянок, технічних станцій, системи тягового забезпечення та утримання постійних пристроїв.

Наукова новизна та практична значимість

Авторами доведено існування можливого скорочення втрат пропускну спроможності залізничного напрямку в результаті цілеспрямованого впливу на цей процес.

Реалізація цих дій надасть практичну можливість скорочення втрати пропускну спроможності.

Висновки

Наявну пропускну спроможність лінії, яка розраховується відповідно до існуючих офіційних документів, реалізувати можливо лише умовно. В розглянутому прикладі вона була реалізована короткочасно відразу після відновлення руху після перерви. Стосовно пропускну спроможності, яка реально використовується, то вона характеризує можливості залізниці для пропуску поїздів за тривалий час, наприклад за рік. Саме річний період відображає всі технологічні перерви, пов'язані з ремонтом постійних пристроїв на перегонах та станціях влітку і збоями в русі через негоду взимку.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Постає завдання підвищення коефіцієнта використання пропускної та провізної спроможності ліній, а також зниження питомих витрат на утримання інфраструктури (на тонну перевезеного вантажу чи одного пасажера). При цьому ремонт та утримання об'єктів інфраструктури повинні розглядатися як один з обов'язкових елементів експлуатаційної роботи і відповідним чином враховуватися. Використовуваний для перевізного процесу річний бюджет часу зменшується на час, необхідний для виконання цих робіт в повному обсязі.

Для кожного учасника мережі необхідно планувати річну потребу у «вікнах» на діагностику та технічне обслуговування інфраструктури. Вона залежить не тільки від вантажонапруженості ділянки. Істотно впливають природно-кліматичні фактори, прийнята технологія перевізного процесу, структура поїздопотоків, технічний стан рухомого складу, а також можливість суміщення в єдиному «вікні» робіт з ремонту колії та контактної мережі, що вимагають найбільшого часу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антонов, Ю. А. Пути сокращения эксплуатационных потерь при предоставлении «окон» на грузонапряженных линиях / Ю. А. Антонов, Д. А. Печугин // Труды НИИЖТа. – Новосибирск, 1965. – Вып. 48. – С. 13–27.
2. Богданов, В. М. Резервы пропускной и провозной способности / В. М. Богданов // Ж.-д. трансп. – 2008. – № 8. – С. 54–56.
3. Годяев, А. И. Оценка потенциально реализуемой пропускной способности железнодорожного участка / А. И. Годяев // Вестн. ВНИИЖТа. – М., 2004. – № 6. – С. 29–32.
4. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України : ЦД-0036 ; затв. : наказ Мінтрансу та зв'язку України 23 листопада 2004 року № 1026. – К. : Мін-во трансп. та зв'язку України, 2002. – 376 с.
5. Клиланд, Д. Системный анализ и целевое управление / Д. Клиланд, В. Кинг ; пер. с англ. – М. : Советское радио, 1974. – 280 с.
6. Кулешов, В. В. Удосконалення інформаційної технології роботи з вагонами різних форм власності з метою оптимізації пропускної спроможності залізничних транспортних систем / В. В. Кулешов // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Х., 2011. – Вип. 124. – С. 83–89.
7. Левин, Д. Ю. Расчет пропускной способности участка / Д. Ю. Левин // Ж.-д. трансп. – 2008. – № 8. – С. 18–22.
8. Макарович, А. М. Использование и развитие пропускной способности железных дорог / А. М. Макарович, Ю. В. Дьяков. – М. : Транспорт, 1981. – 287 с.
9. Музикіна, Г. І. Визначення заходів, необхідних для підвищення провізної спроможності залізниць України / Г. І. Музикіна, Т. В. Болвановська, О. О. Мазуренко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – Вип. 26. – С. 23–27.
10. Музикіна, Г. І. Вплив параметрів накопичення вагонів на їх простій на сортувальній станції / Г. І. Музикіна, Т. В. Болвановська, С. М. Жорова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – Вип. 20. – С. 198–201.
11. Музикіна, Г. І. Дослідження впливу розмірів руху на показники роботи залізничної мережі / Г. І. Музикіна, Ю. В. Чибісов // Развитие транспортной стратегии. Логистика как инструмент международного сотрудничества и регионального развития (24.10-25.10.2007) : сб. тр. 10-й Междунар. конф. по трансп. и логистике. – Д. : ДНУЗТ, 2007. – С. 166.
12. Научная организация эксплуатационной работы железных дорог / Л. М. Годович, Ю. И. Левантович, С. Ф. Начученко и др. – М. : Транспорт, 1976. – 208 с.
13. Резер, С. М. Управление транспортом за рубежом / С. М. Резер. – М. : Наука, 1994. – 315 с.
14. Сотников, Е. А. Неравномерность грузовых перевозок в современных условиях и ее влияние на потребную пропускную способность участков / Е. А. Сотников, К. П. Шенфельд // Вестн. ВНИИЖТа. – 2011. – № 5. – С. 3–9.
15. Уманский, В. И. Об организации пропуска поездов в период технологических «окон» / В. И. Уманский // Ж.-д. трансп. – 2010. – № 9. – С. 21–24.
16. Филипс, Д. Методы анализа сетей : пер. с англ. / Д. Филипс, А. Гарсиа-Диас. – М. : Мир, 1984. – 496 с.
17. Яновський, П. О. Дослідження впливу факторів на час перебування поїздів на дільницях / П. О. Яновський // Заліз. трансп. України. – 2008. – № 3. – С. 25–29.
18. Magnanti, T. L. Network Design and Transportation Planning: Models and Algorithms / T. L. Magnanti, R. T. Wong // Transportation Science. – 1984. – Vol. 18. – № 1. – P. 3–55.
19. Gubbins, Edmund J. Managing transport operations / Edmund J. Gubbins. – London : Kogan Page, 2003. – 295 p.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

М. И. МУЗЫКИН¹, Г. И. НЕСТЕРЕНКО^{2*}¹ГП «Приднепровская железная дорога», пр. К. Маркса, 108, Днепропетровск, Украина, 49600, тел. +38 (095) 251 53 14, эл. почта grafmim@rambler.ru, ORCID 0000-0003-2938-7061^{2*}Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 70, эл. почта galinamuzykina@rambler.ru, ORCID 0000-0003-1629-0201**ВЛИЯНИЕ «ОКОН» НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО НАПРАВЛЕНИЯ**

Цель. В исследовании необходимо осуществить анализ процесса стабилизации движения поездов после перерыва и потерь пропускной способности. **Методика.** Рассмотрен процесс движения поездов по направлению (двухпутной линии с сортировочной станцией) в экстремальных условиях, когда предоставляются «окна» для капитального ремонта пути. В ходе исследования этого процесса проведены расчеты времени восстановления нормального движения после «окна». В данном процессе отсутствуют организационные вмешательства, направленные на изменение тех или иных показателей. Он изложен в исследовании в чистом виде, чтобы показать, как система сама приходит к равновесию. **Результаты.** В результате исследования установлено, что главные потери пропускной способности при предоставлении «окон» на графике образуются не вследствие перерыва движения, а в результате возмущений, вызванных им. Фактический простой в приведенном исследовании составил около 300 поездо-часов. Непосредственно из-за «окна» он равен 129 поездо-часов. Потери составили более половины общего простоя поездов, вызванного самим «окном». **Научная новизна.** Авторами доказано существование возможности сокращения потерь пропускной способности железнодорожного направления в результате целенаправленного воздействия на этот процесс. **Практическая значимость.** Реализация данных действий предоставит практическую возможность сокращения потери пропускной способности.

Ключевые слова: пропускная способность; «окно»; простой поездов; технические станции; система тягового обеспечения линии

М. I. MUZYKIN¹, G. I. NESTERENKO^{2*}¹SE «Prydniprovsk Railway», K. Marks Av., 108, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600, tel. +38 (095) 251 53 14, e-mail grafmim@rambler.ru, ORCID 0000-0003-2938-7061^{2*}Dep. «Management of Operational Work», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 70, e-mail galinamuzykina@rambler.ru, ORCID 0000-0003-1629-0201**INFLUENCE OF MAINTENANCE WINDOWS ON THE WORKING
CAPACITY OF RAILWAY ROUTE**

Purpose. The article aims to analyze the stabilization process of train movement after interruption and loss of the working capacity. **Methodology.** To examine the process of train movement on the route (double-track line with sorting station) in extreme conditions during the maintenance windows for capital repair of the track. During the investigation of this process time calculations of a normal motion restoration after the maintenance windows were carried out. In this process there are no organizational interventions aimed to change various coefficients. It is presented in the research in its pure form, in order to show how the system comes to equilibrium. **Findings.** It was found out that the major losses of working capacity during the maintenance windows occur as a result of perturbations caused by interruptions, not the interruptions in themselves. The actual idle time in the study is about 300 train-hours. Directly because of the maintenance window it is 129 train-hours. Losses were equal to more than half of total idle time of trains caused by the maintenance windows. **Originality.** The authors proved the possible reduction of working capacity losses on railway direction as a result of a deliberate action on this process. **Practical value.** Implementation of these actions will reduce the losses of the working capacity.

Keywords: working capacity; maintenance window; idle time of trains; technical stations; traction support system of line

REFERENCES

1. Antonov Yu.A., Pechugin D.A. Puti sokrashcheniya ekspluatatsionnykh poter pri predostavlenii «okon» na gruzonapryazhennykh liniyakh [Ways to reduce the operational losses in the ensuring of "windows" on the heavy-traffic lines]. *Trudy NIIZhTa* [Proc. of NIZhT], 1965, issue 48, pp. 13-27.
2. Bogdanov V.M. Rezervy propusknoy i provoznoy sposobnosti [Reserves of traffic and carrying capacity]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 2008, no. 8, pp. 54-56.
3. Godayayev A.I. Otsenka potentsialno realizuyemoy propusknoy sposobnosti zheleznodorozhnogo uchastka [Evaluation of potentially realizable traffic capacity of a railway section]. *Vestnik VNIIZhTa – VNIIZhT Bulletin*, 2004, no. 6, pp. 29-32.
4. *Instruktsiia z rozrakhunku naiavnoi propusknoi spromozhnosti zaliznyts Ukrainy: TsD-0036* [Instructions for calculating the actual traffic capacity of railways in Ukraine: TsD-0036]. Kyiv, Min-vo transp. ta zviazku Ukrainy Publ., 2002. 376 p.
5. Kliland D., King V. *Sistemnyy analiz i tselevoye upravleniye* [System analysis and targeted management]. Moscow, Sovetskoye radio Publ., 1974. 280 p.
6. Kuleshov V.V. Udoskonalennia informatsiinoi tekhnolohii roboty z vahonamy riznykh form vlasnosti z metoiu optymizatsii propusknoi spromozhnosti zaliznychnykh transportnykh system [Improvement of informational technology work with cars of various forms of ownership in order to optimize the traffic capacity of railway transport systems]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT* [Proc. of Ukrainian State Academy of Railway Transport], 2011, issue 124, pp. 83-89.
7. Levin D.Yu. Raschet propusknoy sposobnosti uchastka [Calculation of the section traffic capacity]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 2008, no. 8, pp. 18-22.
8. Makarochkin A.M., Dyakov Yu.V. *Ispolzovaniye i razvitiye propusknoy sposobnosti zheleznykh dorog* [Use and development of railways traffic capacity]. Moscow, Transport Publ., 1981. 287 p.
9. Muzykina H.I., Bolvanovska T.V., Mazurenko O.O. Vyznachennia zakhodiv, neobkhidnykh dlia pidvyshchennia proviznoi spromozhnosti zaliznyts Ukrainy [Determination of measures needed to enhance the carrying capacity of the railways of Ukraine]. *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 26, pp. 23-27.
10. Muzykina H.I. Vplyv parametriv nakoplychennia vahoniv na yikh prostii na sortuvanni stantsii [Parameters effect of the cars accumulation during their downtime in marshalling yard]. *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, 20, pp. 198-201.
11. Muzykina H.I., Chybisov Yu.V. Doslidzhennia vplyvu rozmiriv rukhu na pokaznyky roboty zaliznychnoi merezhi [Effect research of traffic amount on performances of railway network]. *Sbornik trudov 10-y Mezhdunarodnoy konferentsii po transportu i logistike «Razvitiye transportnoy strategii. Logistika kak instrument mezhdunarodnogo sotrudnichestva i regionalnogo razvitiya* [Proc. of the 10th Int. Intern. Conf. «Development of transport strategy. Logistics as an instrument of international cooperation and regional development»]. Dnipropetrovsk, 2007. P. 166.
12. Godovich L.M., Levantovich Yu.I., Nachuchenko S.F., Skumbin S.K., Kharlanovich I.V. *Nauchnaya organizatsiya ekspluatatsionnoy raboty zheleznykh dorog* [Scientific organization of the railways operational work]. Moscow, Transport Publ., 1976. 208 p.
13. Rezer S.M. *Upravleniye transportom za rubezhom* [Transportation management abroad]. Moscow, Nauka-Publ., 1994. 315 p.
14. Sotnikov Ye.A., Shenfeld K.P. Neravnomernost gruzovykh perevozok v sovremennykh usloviyakh i yeye vliyaniye na potrebnuyu propusknyuyu sposobnost uchastkov [Irregularity of freight transportations in modern conditions and its impact on the needs of traffic capacity sections]. *Vestnik VNIIZhTa – VNIIZhT Bulletin*, 2011, no. 5, pp. 3-9.
15. Umanskiy V.I. Ob organizatsii propuska poyezdov v period tekhnologicheskikh «okon» [On the organization of train handling during technological "windows"]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 2010, no. 9, pp. 21-24.
16. Filips D., Garsia-Dias A. *Metody analiza setey* [Networks analysis method]. Moscow, Mir Publ., 1984. 496 p.
17. Yanovskiy P.O. Doslidzhennia vplyvu faktoriv na chas perebuvannia poizdiv na dilnytsiakh [Research of influence the factors on time the train location on sections]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2008, no. 3, pp. 25-29.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

18. Magnanti T.L., Wong R.T. Network Design and Transportation Planning: Models and Algorithms. *Transportation Science*, 1984, vol. 18, no. 1. pp. 3-55.
19. Gubbins Edmund J. Managing transport operations. London, Kogan Page Publ., 2003. 295 p.

Стаття рекомендована до друку д.т.н., проф. Т. В. Бутько (Україна); д.т.н., проф. Є. В. Нагорним (Україна)

Надійшла до редколегії 27.02.2014

Прийнята до друку 09.04.2014

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

UDC 629.423:621.313.3 – 047.37

O. YU. BALIICHUK^{1*}, L. V. DUBYNETS², O. M. DUKHNOVSKIY³, O. O. MARENYCH⁴,
O. L. MARENYCH⁵

^{1*}Dep. «Electrical Engineering and Electromechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 47, e-mail baliichukaleksei@mail.ru, ORCID 0000-0003-0119-1446

²Dep. «Electrical Engineering and Electromechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 47, ORCID 0000-0003-0319-4544

³Dep. «Electrical Engineering and Electromechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 47, e-mail daniel214@ukr.net, ORCID 0000-0001-5087-4206

⁴Dep. «Electrical Engineering and Electromechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 47, e-mail marenich.alexandra@gmail.com, ORCID 0000-0003-4162-1746

⁵Dep. «Electrical Engineering and Electromechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 47, ORCID 0000-0003-3602-5851

INFLUENCE OF FEEDING ELECTRIC ENERGY QUALITY ON HEATING OF THE AUXILIARY MACHINES OF AC ELECTRIC ROLLING STOCK

Purpose. The article aims to study the problem of increase the reliability of auxiliary machines for AC electric trains during operation in real conditions. **Methodology.** The peculiarity of system construction of auxiliary machines for AC electric rolling stock is the use of asynchronous motors for general industrial purpose. An engineering method of influence determination on the feeding voltage asymmetry and its deviation from the nominal value on heating of auxiliary machines insulation was proposed. **Findings.** It is found out that in case when the auxiliary machines of AC electric trains work under asymmetry factor of the voltage 10% or more and feeding voltage deviation from the nominal order 0.6 relative unit then it is possible the overheat of their isolation, even if it has class H. **Originality.** For the first time the issue of the total insulation heating under such boundary parameters combinations of energy quality, when each of them contributes to the heating insulation increase as compared to the nominal regime of the "rotating phase splitter–auxiliary machinery" system was illuminated. **Practical value.** Conducted research allow us to establish the boundary parameter values of feeding energy quality (asymmetry factor, feeding voltage deviations from the nominal value), at which additional isolation overheating of this class under the effect of specified factors will not exceed the agreed value.

Keywords: overheating; electrical power quality; asymmetry; auxiliary electrical machines; electric stock; AC

Introduction

Standards of electric energy quality (EQ) in the power supply systems of general purpose are determined by the State Standard 13109 - 97 [3]. Electric locomotives and trains of AC are equipped

with general purposed asynchronous motors (AM) of three-phase current for the auxiliary devices drive (compressors, fans, pumps, etc.). These devices are powered by the phase splitter (the converter of single-phase current into three-phase

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

one). At present on AC electric rolling stock (ERS) of Ukrainian railways mainly rotary converters are used. In this case EQ is significantly different from the above mentioned State Standard for the worse. As a result on ERS the AM of general purpose are operated in the toughest conditions. For ERS there are initial developments of static phase converters instead of the rotary ones. But the technical and economic feasibility of modernization of electric locomotives and trains that have already been working for decades on the Ukrainian railways by replacing the rotary converters with static ones is unlikely.

Purpose

The purpose of the paper is to improve the reliability of auxiliary machines of AC electric rolling stock in the conditions of the real operation on the Ukrainian railways.

Methodology

A lot of experts investigated the heating of asynchronous motors of auxiliary devices for ERS, which is operated at present [6, 7, 12, 13, 14]. Investigations of O. A. Nekrasov should be noted as one of the most overall works [6, 7]. At this the issue of total insulation heat in such combinations of these parameters of EQ, when each of them promotes the increase of insulation heat as compared to the nominal conditions of the system "rotary phase splitter – auxiliary machines" is almost uncovered. The nominal conditions of the system are understood as the conditions with the nominal voltage (25kV) [2] in the contact network and with all the auxiliary machinery working in the nominal conditions at the same time.

It is proposed the following engineering determination method of the heating temperature of stator winding insulation for auxiliary AE taking into account the additional heating due to poor quality of feeding electric energy.

Additional insulation heat, which results from the unsinusoidality of voltage curve, can be ignored, as the necessary nominal power reserve as a result of heating from currents and magnetic fields of higher harmonics amounts only about 5% [6, 7].

Additional heating of AE resulting from voltage asymmetry $\Delta\tau_H$ [5]:

$$\Delta\tau_H = \frac{2K_{2U}^2}{100}\theta_1, \quad (1)$$

where K_{2U} – is the coefficient of the voltage asymmetry, %.

Coefficient K_{2U} should be taken as equal to 10% at the lowest value of supply voltage and 5% at the greatest value [1].

θ_1 – is the average temperature rise of the stator winding AM in the nominal conditions. It is this temperature determines the thermal state of the engine in terms of reliability, expected service life and overload capability.

$$\theta_1 = R_{11}\Delta P_1 + R_{12}\Delta P_2 + R_{13}\Delta P_3, \quad (2)$$

where R_{11} , R_{12} , R_{13} – are generalized thermal support of equivalent circuit; ΔP_1 , ΔP_2 , ΔP_3 – are accordingly the electric losses in stator winding, electric losses in stator winding, electric losses in rotor winding and losses in the steel.

Thermal supports can be calculated using the following empirical expressions:

$$R_{11} \approx \frac{K}{D_{al} \cdot l_1} \quad (3)$$

$$R_{12} \approx R_{13} \approx 0,6R_{11} \quad (4)$$

D_{al} – is the outer diameter of the stator core, cm; l_1 – is the length of stator core, cm; K – is the coefficient that equals to 27 for AM with the power 0.5...10kW and 35 for AM with the power 11...250kW.

Losses of AM are distributed by the type per unit as follows [8]:

Electrical losses in stator $\Delta P_{1*} = 0,3$;

Electrical losses in rotor $\Delta P_{2*} = 0,4$;

Losses in magnetic core of stator $\Delta P_{3*} = 0,15$;

Mechanical losses $\Delta P_{мех*} = 0,15$;

Total power losses $\sum \Delta P = 1,00$.

The postheating of AM during the voltage fluctuation [5]:

$$\Delta\tau_{OH} = 60 \cdot \Delta U_*, \quad (5)$$

where ΔU_* – is the voltage fluctuation from the nominal one, relative units.

Traction networks of electrified railways are characterized by wide voltage fluctuations [2, 9]. This greatly affects the operation of auxiliary machines especially since the voltage of auxiliary winding of the traction transformer is additionally

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

influenced by processes that take place in power and auxiliary circuits of electric or electric locomotive or electric train. As a result of this, the limits of supply voltage fluctuations of auxiliary machines are much wider than on the current collectors. In electric locomotives they are approximately equal to 250...460V at the nominal value 380 V. For the motor cars with the nominal voltage 220 V the limits of voltage fluctuations approximately reach 150...280V [6, 7].

Total temperature rise $\sum \tau$ of the stator winding:

$$\sum \Delta \tau = \theta_1 + \Delta \tau_H + \Delta \tau_{OH} \quad (6)$$

The obtained value $\sum \Delta \tau$ should not be more than the maximum permissible temperature rise for a certain class of thermal resistance of insulation [1, 4]. As an example of application of the proposed method let us determine $\sum \Delta \tau$ for the motor AOM – 32 – 2, which is used for the pump and fan drives of the cabin of AC electric trains series ER9, the $D_{a1} = 14,5$ cm, $l_1 = 9$ cm [10]. For this engine let us perform the following calculation

$$R_{11} \approx \frac{27}{14,5 \cdot 9} = 0,207$$

$$R_{12} \approx R_{13} \approx 0,6 \cdot 0,207 = 0,124.$$

Efficiency coefficient $\eta = 0,78$, nominal power $P_{HOM} = 2,2$ kW.

Distribution of losses according the type [8]:

Electric losses in the stator $p_{эл1*} = 0,3$;

Electric losses in the rotor $p_{эл2*} = 0,4$;

Losses in magnetic core of the stator $p_{ст*} = 0,15$;

Mechanical losses $p_{мех*} = 0,15$;

Total power losses $\sum p = 1,00$.

$$\text{Consumed power } P_1 = \frac{P_{HOM}}{\eta} = \frac{2200}{0,78} = 2820,5 \text{ W};$$

$$\sum p = P_1(1 - \eta) = 2820,5(1 - 0,78) = 620,5 \text{ W};$$

$$\Delta P_1 = 0,3 \cdot 620,5 = 186,2 \text{ W};$$

$$\Delta P_2 = 0,4 \cdot 620,5 = 248,2 \text{ W};$$

$$\Delta P_3 = 0,15 \cdot 620,5 = 93,1 \text{ W};$$

$$\theta_1 = 0,207 \cdot 186,2 + 0,124 \cdot 248,2 + 0,124 \cdot 93,1 = 80,8^\circ\text{C}$$

Additional heating under the influence of voltage asymmetry at the minimum voltage in contact network $U_{KM \min} = 19$ kW [2] ($K_{2U} = 10\%$):

$$\Delta \tau_H = \frac{2 \cdot 10^2}{100} 80,8 = 161,6^\circ\text{C}$$

Voltage fluctuation on the auxiliary AM with $U_{KM \min} = 19$ kW:

$$\Delta U_{* \max} = \frac{U_{HOM} - U_{\min}}{U_{HOM}} = \frac{220 - 150}{220} = 0,318$$

Additional heating of AM through the voltage fluctuations: $\Delta \tau_{BH} = 60 \cdot 0,318 = 19^\circ\text{C}$.

Total temperature rise of the stator windings:

$$\sum \Delta \tau = 80,8 + 161,6 + 19 = 261,4^\circ\text{C}.$$

The required for this calculation values K_{2U} and ΔU_* are determined using the graphs that are presented by the Figure 1 and Figure 2. During their construction the dependencies $\Delta U_* = f(U_{KM})$ and $K_{2U} = f(U_{KM})$ are taken as the linear ones. This assumption is possible because the K_{2U} and ΔU_* are determined at different values of U_{KM} through the transformation coefficient of the traction transformer for the winding of auxiliary machines, which is constant value.

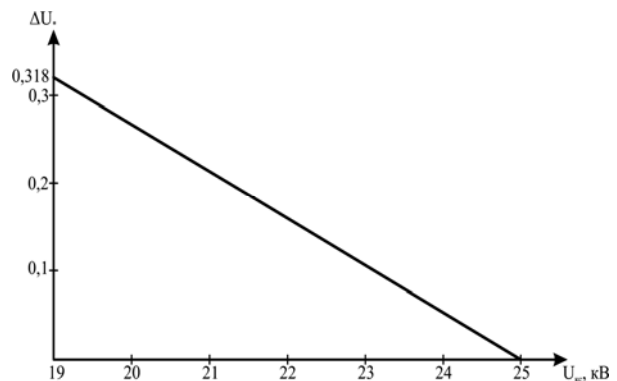
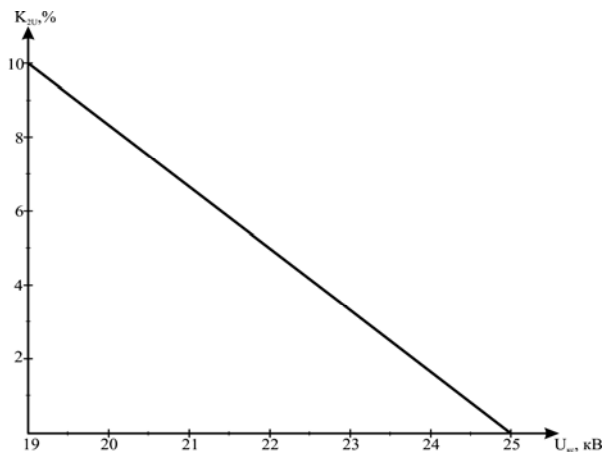


Fig. 1. Dependency $\Delta U_* = f(U_{KM})$

For the interval of voltages in the contact network (19...25) kW (Table 1) the calculation is performed $\sum \Delta \tau = f(U_{KM})$ similarly.

$$k_{TP} = \frac{U_{KM \text{ HOM}}}{U_{AD \text{ HOM}}} = \text{const},$$

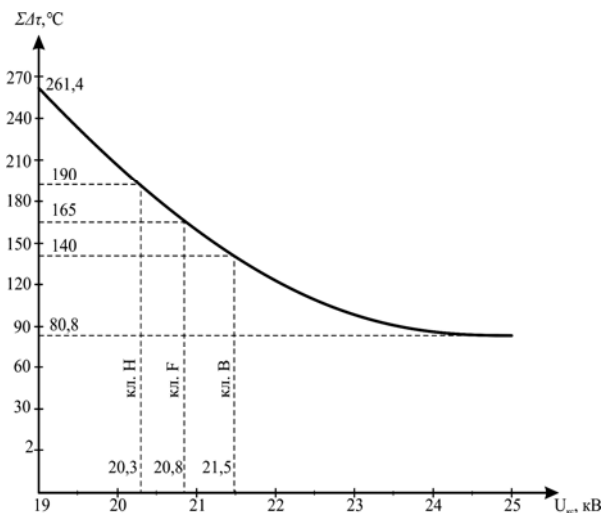
ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Fig. 2. Dependency $K_{2U} = f(U_{KM})$

where $U_{AД\text{ HOM}}$ is the nominal winding voltage for the supply of auxiliary machines. For the AC electric trains of the series ER-9 $U_{AД\text{ HOM}} = 220\text{ V}$.

Findings

The Fig. 3 shows the dependence $\Sigma\Delta\tau = f(U_{KM})$, which is constructed according to the data of Table 1.

Fig. 3. Dependency $\Sigma\Delta\tau = f(U_{KM})$

Maximum permissible temperature rise (140°C , 165°C , 190°C) of the stator winding (taking into account the fact that the motor AOM – 32 – 2 is closed unblown) [10], which are indicated in this Figure correspond to a thermal resistance of the insulation B, F, H [1].

The Figure 3 shows that the motor with insulation of class B overheats over the permissible tempera-

ture if the stress in the contact network will be for a long time less than 21.5kV. If the engine AOM – 32 – 2 will have insulation of class F or H, then this voltage should be 20.8kV and 20.3kV accordingly. Let us call these voltages in contact network the critical ones for auxiliary AM.

$\frac{17,1}{6,3} = 2,7$ times more, at $U_{KM} = 19\text{ kW}$ – in

$\frac{161,6}{19} = 8,5$ times more. That is why when reach-

ing the critical voltage in contact network it is necessary to take the measures for corresponding reduction first of all the asymmetry coefficient.

Similarly, one can quantify overheat caused by the supply voltage unbalance and its deviation from the nominal value for auxiliary AM of the locomotives and AC electric trains of all series.

Obviously, at the minimum $U_{KM} = 19\text{ kW}$, which is allowed in the operation, the stator insulation of motor AOM – 32 – 2 will overheat beyond the allowable temperature. Even if it has class H, upon the condition that such voltage is sufficiently long in time. The Table 1 shows that at $U_{KM} = 23\text{ kW}$ and less the auxiliary heating of AM with non symmetric voltage in several times exceeds the additional heating than the fluctuation of supply voltage from the nominal value.

Originality and practical value

It is proposed the method that makes it possible to determine the additional heat of auxiliary machines insulation of electric rolling stock at simultaneous action of such parameters of supply power quality like voltage asymmetry coefficient and fluctuation of voltage supply.

To make sure that the static phase converters are more reliable and economic it will take a lot of time for both their designing and testing and for verifying during operation. The objective preconditions on the feasibility of these studies are not available.

Therefore, at this time the development of recommendations for modernization of the mentioned objects to improve the EQ feeding the auxiliary AM with minimal costs and in short time is the urgent task.

Table 1

Dependency calculation $\sum \Delta \tau = f(U_{\text{KM}})$

U_{KM} , кВ	19	20	21	22	23	24	25
K_{2U} , %	10	8.2	6.51	4.9	3.25	1.55	0
ΔU_*	3.18	0.27	0.215	0.155	0.105	0.05	0
$\Delta \tau_n$, °C	161.6	108.7	68.5	38.8	17.1	3.9	0
τ_{BH} , °C	19	16.2	12.9	9.3	6.3	3	0
$\sum \Delta \tau$, °C	261.4	205.7	162.2	128.9	104.9	87.7	80.8

In any case, the study of EQ influence (taking into account the real conditions of such parameters as unsinusoidality, asymmetry, voltage fluctuation (VF)) on the aging of thermal insulation of AM of auxiliary devices of ERS caused by its auxiliary heating under the influence of these factors represents scientific and practical interest in terms of improving reliability of locomotives.

Conclusions

The proposed method makes it possible for the AC electric rolling stock with rotary phase converters to:

1. Quantify the additional heating of auxiliary asynchronous motors of AC electric rolling stock through the asymmetry of supply voltage and its fluctuation from the nominal value.

2. Identify the critical voltage in contact network, at which the stator insulation of the auxiliary engines of classes B, F, H will overheat above the permissible temperature rise with auxiliary heating, which is caused by the asymmetry of supply voltage and its fluctuation from the nominal value.

LIST OF REFERENCE LINKS

- ГОСТ 2582–81. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия. – Введ. 1983–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 36 с.
- ГОСТ 6962–75. Транспорт электрифицированный с питанием от контактной сети. Ряд напряжений. – Введ. 1977–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 3 с.
- ГОСТ 13109–97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энер-

гии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 1999–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 33 с.

- Дубинець, Л. В. Визначення еквівалентного струму навантаження при випробуванні тягових електродвигунів на нагрівання без вентиляції / Л. В. Дубинець, Д. В. Устименко, П. О. Лоза // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – Вип. 25. – С. 26–29.
- Избранные вопросы несинусоидальных режимов в электрических сетях предприятий: монография / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко, Т. К. Бараненко и др. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 294 с.
- Некрасов, О. А. Вспомогательные машины электровозов переменного тока / О. А. Некрасов, А. М. Рутштейн. – М.: Транспорт, 1988. – 223 с.
- Некрасов, О. А. Вспомогательные машины электроподвижного состава переменного тока / О. А. Некрасов. – М.: Транспорт, 1967. – 168 с.
- Новиков, М. Н. Расчет асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором: учеб. пособие / М. Н. Новиков, В. И. Мельников. – СПб.: Петербург. гос. ун-т путей сообщ. (ПГУПС – ЛИИЖТ), 2001. – 39 с.
- Устименко, Д. В. Аналіз впливу зміни режиму роботи на ступінь нагріву ізоляції обмотки якоря електродвигуна поршневого компресора / Д. В. Устименко, Р. В. Краснов, А. В. Мазур // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 138–141.
- Форум для обмотчиков электродвигателей [Electronic resource]. – Access mode: <http://forum.dvigatel.org/>. – Title from the screen.
- Электropоезд ЭР9 / М. Р. Барский, М. Т. Глушков, К. Б. Гончаров, Л. Г. Залесский. – М.: Транспорт, 1964. – 237 с.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

12. Li, W. Evaluating unavailability of equipment aging failures / W. Li, S. Pai // IEEE Power Engineering Review. – 2002. – № 2. – P. 52–54.
13. Montanari, G. C. Aging phenomenology and modeling / G. C. Montanari, L. Simony // IEEE Transaction of Electrical Insulation. – 1993. – № 5. – P. 755–776.
14. Shenkman, A. L. Experimental method for synthesis of generalized thermal circuit of poly-phase induction motors / A. L. Shenkman, M. Chertkov // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2000. – № 3. – P. 264–268.

О. Ю. БАЛІЙЧУК^{1*}, Л. В. ДУБИНЕЦЬ², О. М. ДУХНОВСЬКИЙ³, О. О. МАРЕНИЧ⁴,
О. Л. МАРЕНИЧ⁵

^{1*}Каф. «Електротехніка та електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 47, ел. пошта baliichukaleksei@mail.ru, ORCID 0000-0003-0119-1446

²Каф. «Електротехніка та електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 47, ORCID 0000-0003-0319-4544

³Каф. «Електротехніка та електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 47, ел. пошта daniel214@ukr.net, ORCID 0000-0001-5087-4206

⁴Каф. «Електротехніка та електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 47, ел. пошта marenich.alexandra@gmail.com, ORCID 0000-0003-4162-1746

⁵Каф. «Електротехніка та електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 47, ORCID 0000-0003-3602-5851

ВПЛИВ ЯКОСТІ ЖИВЛЯЧОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА НАГРІВАННЯ ДОПОМІЖНИХ МАШИН ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ ЗМІННОГО СТРУМУ

Мета. У роботі необхідно з'ясувати питання щодо підвищення надійності допоміжних машин електропоїздів змінного струму при експлуатації в реальних умовах. **Методика.** Особливістю побудови систем допоміжних машин електрорухомого складу змінного струму є застосування асинхронних двигунів загальнопромислового призначення. Запропоновано інженерний метод визначення впливу несиметрії живлячої напруги та відхилення її від номінального значення на нагрівання ізоляції допоміжних машин. **Результати.** Встановлено, що у випадку, коли допоміжні машини електропоїздів змінного струму працюють при коефіцієнті несиметрії напруг 10 % і більше та відхиленні напруги живлення від номінального порядку 0,6 у відносних одиницях, то можливий перегрів їх ізоляції, навіть якщо вона буде мати клас Н. **Наукова новизна.** Вперше висвітлено питання про сумарний нагрів ізоляції при таких поєднаннях граничних параметрів якості енергії, коли кожен із них сприяє збільшенню нагрівання ізоляції в порівнянні з номінальним режимом системи «обертювальний фазорозщеплювач – допоміжні машини». **Практична значимість.** Проведені дослідження дозволяють встановити граничні значення параметрів якості живлячої електроенергії (коефіцієнта несиметрії, відхилення живлячої напруги від номінального значення), при яких додатковий перегрів ізоляції даного класу під впливом зазначених факторів не перевищуватиме встановленого значення.

Ключові слова: перегрів; якість електричної енергії; несиметрія; допоміжні електричні машини; електрорухомий склад; змінний струм

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

А. Ю. БАЛИЙЧУК^{1*}, Л. В. ДУБИНЕЦ², А. Н. ДУХНОВСКИЙ³, О. А. МАРЕНИЧ⁴,
О. Л. МАРЕНИЧ⁵

^{1*}Каф. «Электротехника и электромеханика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 47, эл. почта baliichukaleksei@mail.ru, ORCID 0000-0003-0119-1446

²Каф. «Электротехника и электромеханика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 47, ORCID 0000-0003-0319-4544

³Каф. «Электротехника и электромеханика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 47, эл. почта daniel214@ukr.net, ORCID 0000-0001-5087-4206

⁴Каф. «Электротехника и электромеханика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 47, эл. почта marenich.alexandra@gmail.com, ORCID 0000-0003-4162-1746

⁵Каф. «Электротехника и электромеханика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 47, ORCID 0000-0003-3602-5851

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ПИТАЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НАГРЕВАНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАШИН ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель. В работе необходимо выяснить вопрос касательно повышения надежности вспомогательных машин электропоездов переменного тока при эксплуатации в реальных условиях. **Методика.** Особенностью построения систем вспомогательных машин электроподвижного состава переменного тока является применение асинхронных двигателей общепромышленного назначения. Предложен инженерный метод определения влияния несимметрии питающего напряжения и отклонения его от номинального значения на нагревание изоляции вспомогательных машин. **Результаты.** Установлено, что в случае, когда вспомогательные машины электропоездов переменного тока работают при коэффициенте несимметрии напряжений 10 % и более и отклонении питающего напряжения от номинального порядка 0,6 в относительных единицах, то возможен перегрев их изоляции, даже если она будет иметь класс Н. **Научная новизна.** Впервые освещен вопрос о суммарном нагревании изоляции при таких сочетаниях граничных параметров качества энергии, когда каждый из них способствует увеличению нагревания изоляции по сравнению с номинальным режимом системы «вращающийся фазорасщепитель – вспомогательные машины». **Практическая значимость.** Проведенные исследования позволяют установить граничные значения параметров качества питающей электроэнергии (коэффициента несимметрии, отклонения питающего напряжения от номинального значения), при которых дополнительный перегрев изоляции данного класса под влиянием указанных факторов не будет превышать установленного значения.

Ключевые слова: перегрев; качество электрической энергии; несимметрия; вспомогательные электрические машины; электроподвижной состав; переменный ток

REFERENCES

1. GOST 2582 – 81. Mashiny elektricheskoye vrashchayushchiesya tyagovyye. Obshchiye tekhnicheskoye usloviya. [State Standard 2582 – 81. Electrical rotating traction machines. General specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 1981. 36 p.
2. GOST 6962-75. Transport elektrifitsirovanny s pitaniyem ot kontaktnoy seti. Ryad napryazheniy [State Standard 6962-75. Electrified transport with overhead system power supply. Electromotive-force series]. Moscow, Standartinform Publ., 1976. 3 p.
3. GOST 13109 – 97. Elektricheskaya energiya. Sovmestimost tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya. [State Standard 13109 – 97. Electrical energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Quality standards of electrical energy in power systems of general purpose]. Moscow, Standartinform Publ., 2002. 33 p.
4. Dubynets L.V., Ustymenko D.V., Loza P.O. Vyznachennia ekvivalentnoho strumu navantazhennia pry vyprovuvanni tiahovykh elektrodvyhunyiv na nahrivannia bez ventyliatsii [Determination of equivalent current load

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

- during the test of traction motors on 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.
5. Zhezhelenko I.V., Sayenko Yu.L., Baranenko T.K., Gorpinich A.V., Nesterovich V.V. *Izbrannyye voprosy nesinusoidalnykh rezhimov v elektricheskikh setyakh predpriyatiy* [Selected problems of non-sinusoidal regimes in electrical networks of undertakings]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2007. 294 p.
 6. Nekrasov O.A., Rutshteyn A.M. *Vspomogatelnyye mashiny elektrozov peremennogo toka* [Auxiliary electric machines of the AC electric rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1988. 223 p.
 7. Nekrasov, O.A. *Vspomogatelnyye mashiny elektropodvizhnogo sostava peremennogo toka* [Auxiliary machinery of AC locomotives]. Moscow, Transport Publ., 1967. 168 p.
 8. Novikov M.N., Melnikov V.I. *Raschet asinkhronnogo dvigatelya s korotkozamknutym rotorom* [Calculation of the asynchronous motor with square-cage rotor]. Saint Petersburg, Peterburgskiy gos. un-t putey soobshch. (PGUPS – LIIZhT) Publ., 2001. 39 p.
 9. Ustyomenko D.V., Krasnov R.V., Mazur A.V. Analiz vplyvu zminy rezhymu roboty na stupin nahrivu izoliatsii obmotky yakoria elektrodvyhuna porshnevoho kompressora [Influence analysis of the change of operation mode on the degree of isolation heating for armature winding of the electric engine piston compressor]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 138-141.
 10. *Forum dlya obmotchikov elektrodvigateley* (Forum for winding workers of motors). Available at: <http://forum.dvigatel.org/> (Accessed 03 March 2014).
 11. Barskiy M.R., Glushkov M.T., Goncharov K.B., Zalesskiy L.G. *Elektropoyezd ER9* [Electric train ER9]. Moscow, Transport Publ., 1964. 237 p.
 12. Li W., Pai S. Evaluating unavailability of equipment aging failures. *IEEE Power Engineering Review*, 2002, no. 2, pp. 52-54.
 13. Montanari G.C., Simony L. Aging phenomenology and modeling. *IEEE Transaction of Electrical Insulation*, 1993, no. 5, pp. 755-776.
 14. Shenkman A.L., Chertkov M. Experimental method for syntethis of generalized thermal circuit of polyphase induction motors. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2000, no. 3, pp. 264-268.

Prof. M. O. Kostin, D. Sc. (Tech.); Prof. F. P. Shkrabets, D. Sc. (Tech.) recommended this article to be published

Received: March 03, 2014

Accepted: April 11, 2014

УДК 656.259.2

Ю. С. БОНДАРЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Електротехніка та електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта bondar198924@gmail.com, ORCID 0000-0002-5306-4820

ПЕРЕДУМОВИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ В СТРУКТУРІ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета. Застосування фізичного моделювання в якості інструменту для проведення досліджень будь-яких явищ або систем набуває все більш широкого розповсюдження, у тому числі й у галузі залізничного транспорту. При цьому адекватність результатів, що їх можна отримати, багато в чому залежить від ступеню подібності фізичної моделі до реальної системи. З точки зору дослідження тягового асинхронного електроприводу (АТЕП), у сукупності з системою тягового електропостачання, подібність не може визначатися прямою пропорційністю параметрів, адже характер процесів, що супроводжує роботу цих систем, є нелінійним. Ці особливості мають бути враховані в експериментальній установці, основою побудови якої є встановлення подібності систем, що й визначає мету даної роботи. **Методика.** В основі створення експериментальної установки лежало відтворення процесів енергоперетворення в системі тягового електропостачання постійного струму. Визначення ступеню подібності запропонованої установки з реальною системою здійснювалось із використанням основних теорем теорії подібності, їх додаткових положень щодо складності та нелінійності систем, а також елементів математичного аналізу. **Результати.** За результатами роботи: 1) Отримано структурну схему, механізм енергоперетворення якої є подібним до реальної системи. Дана схема є основою експериментальної установки, побудованої, надалі, для дослідження електромагнітної сумісності АТЕП у структурі системи тягового електропостачання постійного струму; 2) Встановлено подібність отриманої структурної схеми до реальної системи з визначенням механізму розрахунку масштабних відношень. **Наукова новизна.** У процесі встановлення подібності запропоновано спрощену методику визначення масштабних відношень для нелінійних систем, які мають у своїй структурі однакові складові, але різні граничні параметри. **Практична значимість.** Експериментальне дослідження електро-магнітної сумісності АТЕП у структурі системи тягового електропостачання постійного струму з використанням елементів теорії подібності дозволить отримати більш адекватні результати і, як наслідок, створити передумови подальшого покращення процесу сукупного функціонування суміжних систем електрифікованих залізниць.

Ключові слова: тяговий асинхронний електропривод; теорія подібності; масштабні відношення; експериментальна установка

Вступ

Впровадження на залізницях України електрифікованих постійним струмом електро рухомого складу (ЕРС) з тяговим асинхронним електроприводом (АТЕП) є на сьогодні одним з ключових напрямків їх розвитку. Поява у структурі системи тягового енергопостачання такої складової може вносити деякі «корективи» у роботу суміжних систем – здебільшого систем сигналізації, централізації та блокування (СЦБ), що і так зазнають значного електромагнітного впливу [8, 17]. З метою запобігання можливим негативним наслідкам такої взаємної роботи постає

необхідність дослідження впливу ЕРС з АТЕП на вказані системи електрифікованих залізниць.

Мета

З точки зору методу досліджень обрано фізичне моделювання, точність та адекватність результатів якого багато в чому залежить від ступеня подібності фізичної моделі до реальної системи [19]. У зв'язку з цим, на першому етапі виконання експериментального дослідження, постає необхідність розробки структурної схеми експериментальної установки, яка буде максимально точно відтворювати процеси у реальній системі, що в свою чергу вимагає встановлення подібності систем.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Методика

Згідно з третьою теорією подібності, теорією М. В. Кирпичева та А. А. Гухмана [8, 10, 11], необхідними та достатніми умовами для створення подібності є пропорційність параметрів, що входять до умов однозначності, та рівність критеріїв подібності зіставляємих процесів.

В загальному вигляді процеси в досліджуваному об'єкті описуються за допомогою системи диференціальних рівнянь, що характеризують взаємодію між факторами та параметрами останнього. Таким чином, необхідною умовою подібності двох об'єктів є однаковий вигляд системи диференціальних рівнянь [6, 8], а, отже, однаковий характер взаємодії складових частин досліджуваних систем.

На рис. 1 наведено узагальнену структурну схему енергоперетворення у системі тягового електропостачання постійного струму з включенням до її складу електровоза з АТЕП.

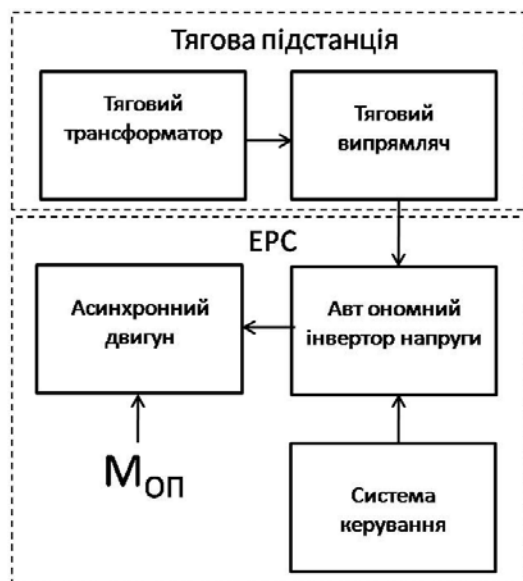


Рис. 1. Узагальнена структурна схема енергоперетворення у системі тягового електропостачання постійного струму

Fig. 1. Generalized block diagram of the energy conversion in the system of traction power supply of DC

Очевидно, що робота кожної зі складових ланок наведеної системи описується відповідною системою диференціальних рівнянь, які характеризують процеси їх функціонування. З цієї точки зору можна зробити припущення, що задля забезпечення подібності фізичної моделі до

реальної системи, в першому наближенні, достатнім є збереження послідовності процесу енергоперетворення, який в цьому випадку реалізується за такою схемою (рис. 1): тяговий трансформатор – тяговий випрямляч (енергія змінного струму в енергію постійного струму); тяговий випрямляч – статичний перетворювач частоти ЕРС (енергія постійного струму в енергію змінного струму).

На рис. 2 наведено структурну схему експериментальної установки, що пропонується до реалізації, розроблену відповідно до наведеного вище. Вона дозволяє здійснити узагальнений аналіз процесів енергоперетворення, що супроводжують її функціонування, а також встановити ступінь подібності до реальної системи у першому наближенні. Проаналізуємо вказані процеси.

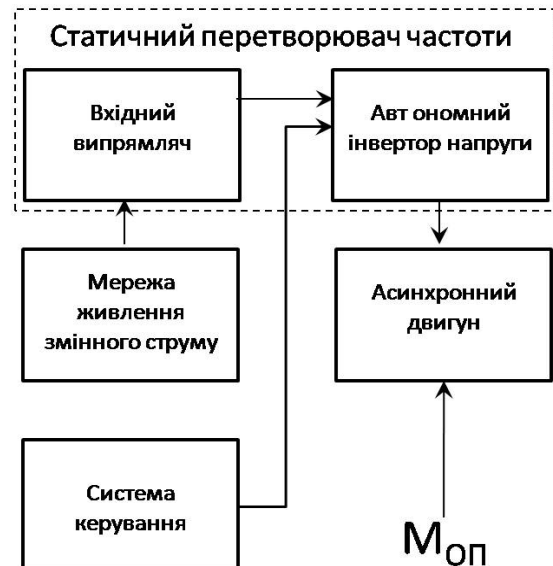


Рис. 2. Структурна схема експериментальної установки, що пропонується до реалізації

Fig. 2. Block diagram of the experimental facility, which is proposed for implementation

Вхідний випрямляч статичного перетворювача частоти в цьому випадку виконує роль випрямляча тягової підстанції (рис. 2) та в сукупності з мережею змінного струму утворює ланку перетворення енергії змінного струму в енергію постійного струму. В той же час, автономний інвертор напруги здійснює перетворення енергії постійного струму, що надходить від вхідного випрямляча, в енергію змінного струму. Тобто механізм перетворення енергії у створеній установці повністю відтворює механізм перетворення

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

ня енергії у реальній системі. З цього факту можна зробити висновок, що в першому наближенні системи є подібними.

Для більш повного оцінювання ступеня подібності двох систем є необхідним встановлення відповідних критеріїв подібності, що передбачає детальний аналіз функціональних залежностей між фізичними параметрами, які характеризують процеси в досліджуваних системах.

Оскільки останні налічують у своєму складі декілька складових елементів, вони є складними. Згідно з першою додатковою теоремою про подібність такі системи є подібними, якщо забезпечується подібність всіх складових елементів, які для них є загальними. Тобто постає задача визначення та порівняння критеріїв подібності для спільних складових систем [2, 8].

В практиці вирішення задачі встановлення подібності існує два основних способи встановлення критеріїв подібності [2] – приведення рівнянь фізичного процесу до безрозмірного виду та з використанням π -теорему. Перший спосіб передбачає використання рівняння або системи рівнянь, що характеризують досліджувані процеси. Другий є більш універсальним, адже може

бути застосованим і для випадків, коли відомий лише перелік характерних параметрів об'єктів досліджень. Оскільки для деяких складових наведених систем прийнятними є різні режими роботи, які характеризуються різними системами диференціальних рівнянь, то з точки зору спрощення досліджень використання другого способу знаходження критеріїв подібності є більш раціональним.

Аналіз наведених вище структурних схем дозволяє визначити ті складові їх частини, які є більшою мірою аналогічними – це випрямлячі, автономні інвертори напруги (АІН) та асинхронні двигуни. Розглянемо кожну з них.

В практиці аналізу процесів енергоперетворення в будь-яких електричних системах основними рівняннями, що їх характеризують, є рівняння напруг [3, 6, 7, 19, 20]. Цей принцип дозволяє використовувати ці рівняння як базові під час оцінювання ступеня подібності систем.

В табл. 1 наведено рівняння напруг для кожної зі складових реальної системи та моделі [3, 5, 12]. Для трифазних елементів систем рівняння наведено для однієї фази енергоперетворення.

Таблица 1

Рівняння напруг складових елементів систем

Table 1

Stress equation of system components

Елемент системи	Модель	Реальна система
Трансформатор	$U_2 = U_{2m} \sin(\omega t)$	$U_2 = U_{2m} \sin(\omega t)$
Випрямляч	$U_d = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} U_{2m} \sin(\omega t) d\omega t$	– 6-пульсовий мостовий $U_d = \frac{3}{\pi} \int_{-\pi/6}^{+\pi/6} U_{2m} \cos(\omega t) d\omega t$ – 2 зворотні зірки з урівнюючим реактором $U_d = \frac{3}{\pi} \int_0^{\pi/3} U_{2m} (\cos(\omega t) + \cos(\omega t - \frac{\pi}{3})) d\omega t$ – 12-пульсовий $U_d = \frac{\pi}{6} \int_{-\pi/12}^{+\pi/12} (\sqrt{3} U_{21m} \cos(-\frac{\pi}{12}) + U_{22m} \cos(\frac{\pi}{12})) \cos(\omega t) d\omega t$
Автономний інвертор напруги	$U_s(k) = \mu U_d \sin((k - \frac{1}{2}) \frac{\pi}{\varepsilon})$	$U_s(k) = \mu U_d \sin((k - \frac{1}{2}) \frac{\pi}{\varepsilon})$

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Візуальне порівняння наведених рівнянь підтверджує їх відповідність, а отже і однаковість характеру енергоперетворення. Згідно з теорією подібності це є однією з достатніх умов подібності моделі до реальної системи. Виняток складають лише рівняння для випрямлячів, візуальна подібність яких відсутня.

Перелік рівнянь напруг для випрямлячів наведений відповідно до типу схем, що на сьогодні знаходять застосування у системах тягового електропостачання залізниць постійного струму [14]. Не зважаючи на відсутність візуальної подібності перелік параметрів, що характеризують процеси, є однаковим. А, отже, при знаходженні критеріїв подібності, згідно з відповідною методикою [2, 8], однаковими будуть і матриці розмірностей, що вказує на однаковість критеріїв подібності. В такому випадку, згідно з [2, 6, 8, 10, 11], найпростішою необхідною умовою існування подібності залишається наявність пропорційності параметрів, що входять до умов однозначності.

З точки зору характеру досліджень, а також відповідно до специфіки моделювання електроенергетичних систем [8], таким параметром є їх встановлена потужність. Відповідно до цього, для остаточного встановлення подібності є необхідним здійснити приведення потужності пропонованої фізичної моделі до потужності реальної системи, тобто визначити відповідні масштабні коефіцієнти.

Для пояснення методики пошуку проведемо визначення шуканих коефіцієнтів для однієї зі складових розглянутих структурних схем – асинхронних двигунів. В цьому випадку встановлення масштабних відношень здійснюється з урахуванням використання у складі розглянутих систем двигунів потужністю 750 Вт, наприклад АИР71А2, що встановлені в частотних приводах лабораторій кафедри «Електротехніка та електромеханіка» та 1 200 кВт, наприклад СТА1200У1, що використовується у складі тягового електроприводу ЕРС з АТЕП [15].

Складність визначення масштабних коефіцієнтів полягає у наявності значної розбіжності параметрів зіставляємих об'єктів та нелінійності їх характеристик. В теорії подібності та моделювання [6, 8] подібність таких систем визначається з використанням другого додаткового положення про подібність шляхом побудови відносних характеристик нелінійних параметрів.

В цьому випадку отримання необхідних масштабних відношень виконується з використанням характеристики, отриманої шляхом усереднення побудованих відносних характеристик. Останні є графічними залежностями, що характеризують зміну параметрів систем, виражених у долях відносно деякої базисної величини [8].

На рис. 3 наведено графічні залежності виду $I_1 = f(P_2)$ [3], побудовані для вказаних двигунів з урахуванням застосування другої додаткової теореми про подібність. Як базисні параметри в цьому випадку прийнято номінальні струм та потужність відповідно.

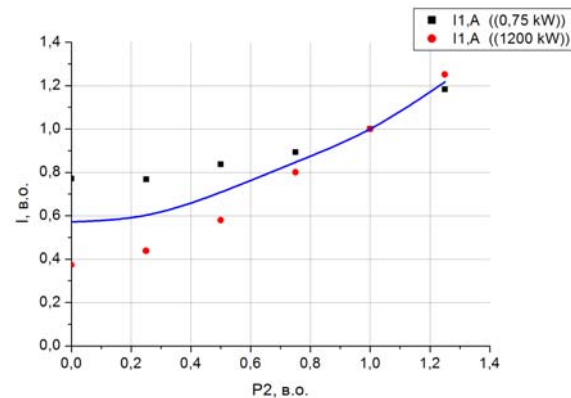


Рис. 3. Відносні характеристики асинхронних двигунів

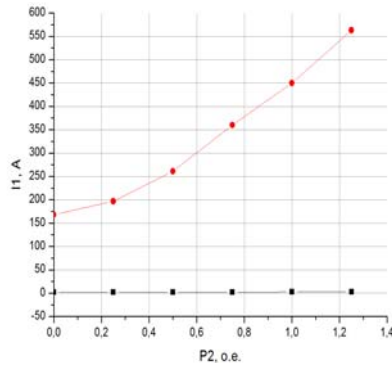
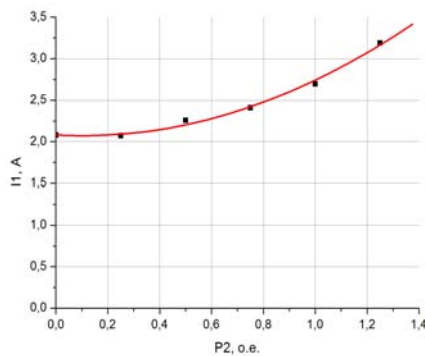
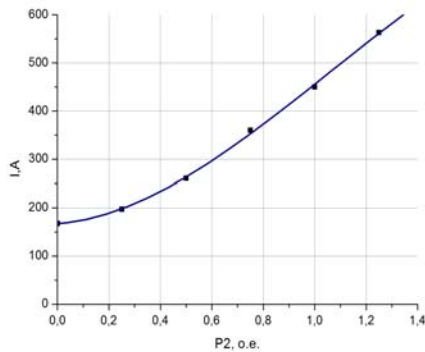
Fig. 3. Relative characteristics of asynchronous motors

Аналіз цих графічних залежностей вказує на значну незбіжність відносних характеристик, що загалом не відповідає умовам застосування додаткового положення про подібність нелінійних систем [8]. Тому його використання є недоцільним.

В загальному випадку для отримання шуканих масштабних коефіцієнтів є необхідним виконати перехід від характеристик двигуна потужністю 750 Вт до характеристик двигуна потужністю 1 200 кВт, здійснити який можливо шляхом їх інтерполяції деякими функціями.

На рис. 4 наведено інтерпольовані характеристики двигунів моделі та оригіналу, побудовані в одній системі координат (рис. 4, а), а також характеристики кожного з двигунів окремо. Побудову характеристик здійснено за допомогою програмного середовища OriginPRO 8, що має вбудовану функцію інтерполяції графічних залежностей [4].

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

a – a*б – б**в – в*Рис. 4. Інтерпольовані залежності $I_1 = f(P_2)$

для двигунів моделі та оригіналу:

a – інтерпольовані характеристики двигунів;*б* – характеристика двигуна AIR71A2;*в* – характеристика двигуна STA1200U1.Fig. 4. Intercalated dependencies $I_1 = f(P_2)$ for the

engines of model and original:

a – intercalated dependencies of engines*b* – characteristics of the engine AIR71A2;*c* – characteristics of the engine STA1200U1.

Побудову характеристик (рис. 3, 4) здійснено з урахуванням [1, 13] для двигуна малої потужності, а також колової діаграми для двигуна STA1200 [16].

Результатом апроксимації наведених графічних залежностей є аналітичні вирази, які у подальшому дозволять отримати масштабні коефіцієнти для всього діапазону потужностей:

– для малої потужності

$$I_{1M} = 2,08073 - 0,17117P_{2M} + 0,83006P_{2M}^2; \quad (1)$$

– для великої потужності

$$I_{1B} = 167,33333 + 39,20635P_{2B} + \\ + 363,04762P_{2B}^2 - 113,77778P_{2B}^3. \quad (2)$$

Отримані вирази пов'язують між собою значення струмів двигунів АІР71А2 потужністю 750 Вт та СТА1200У1 потужністю 1 200 кВт. При цьому запропонована методика дозволяє визначати масштабні відношення для двигунів будь-якої потужності, що вказує на доцільність її використання.

Асинхронні двигуни, які є головними ланками розглянутих систем (рис. 1, 2) є найбільш нелінійними елементами. Інші складові цих схем енергоперетворення мають однакові рівняння з лінійними масштабними коефіцієнтами, як правило, за напругою. Тому, в подальшому, загальний масштабний коефіцієнт для всієї системи приймаємо як добуток масштабних коефіцієнтів всіх складових ланок.

Кінцевою метою встановлення масштабних відношень є приведення потужностей всіх складових розглянутих систем, а також їх потужностей в цілому. З урахуванням цього для прикладу розглянутих двигунів отримуємо:

$$m_P = \frac{P_B}{P_M} = \frac{K_{ВПП.В} K_{ИВ.В} U_{2TP} \cdot I_{1B}(P_{2B})}{K_{ВПП.М} K_{ИВ.М} U_{МЕР} \cdot I_{1M}(P_{2M})}, \quad (3)$$

звідки загальний масштабний коефіцієнт для розглянутих систем:

$$m_P = \frac{P_{1OP}}{P_{1МОД}} = \frac{K_{ВПП.М} K_{ИВ.М} U_{1B} I_{1B}(P_{2B})}{K_{ВПП.В} K_{ИВ.В} U_{1М} I_{1М}(P_{2М})}, \quad (4)$$

де $K_{ВПП.М}$, $K_{ВПП.В}$ – коефіцієнти перетворення за напругою для випрямлячів системи малої та великої потужностей відповідно (рис. 1, 2); $K_{ИВ.М}$, $K_{ИВ.В}$ – коефіцієнти перетворення за напругою для АІН; U_{2TP} , $U_{МЕР}$ – напруга на первинному етапі енергоперетворення обох систем (тяговий трансформатор – тяговий випрямляч, мережа змінного струму – вхідний випрямляч); $I_{1B}(P_{2B})$, $I_{1М}(P_{2М})$ – аналітичні вирази апроксимації характеристик двигунів в загальному вигляді; U_{1B} , $U_{1М}$ – напруга живлення двигунів реальної системи енергоперетворення та моделі

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

відповідно (вихідна напруга АН). Очевидно, що дана складова в процесі функціонування систем є змінною. Так зміна вихідної потужності електродвигуна здійснюється відповідно до зміни вихідної напруги АН, що в свою чергу супроводжується відповідною зміною значення струму I_1 (рис. 4). Таким чином, знаходження масштабних відношень для струму автоматично призводить до знаходження масштабних відношень для потужності, що вказує на можливість здійснення масштабного переходу від системи до системи лише за допомогою рівнянь апроксимації (1) та (2). Крім того ці рівняння можливо використовувати у подальшому для знаходження числових значень масштабних коефіцієнтів не лише для двигунів, а й для систем в цілому.

Приклад визначення масштабних коефіцієнтів для струмів двигунів наведено у табл. 2.

Таблиця 2

**Визначення масштабних коефіцієнтів
для двигунів АІР71А2 та СТА1200**

Table 2

Determining the scale factors for AIR71A2 and STA1200 engines		
Струм двигуна АІР71А2, А	Струм двигуна СТА1200У1, А	Визначений мас- штабний коефіцієнт
2,08	168,5	81,14
2,09	198,2	94,83
2,21	267,0	120,8
2,41	349,6	145,0
2,7	444,4	164,6
3,19	567,0	177,8

Як бачимо, отримані коефіцієнти є нелінійними, що підтверджує можливість відтворення не лише числових значень цього параметру, а й нелінійний характер залежностей $I_1 = f(P_2)$.

Результати

В результаті роботи отримано структурну схему, механізм енергоперетворення якої є подібним до реальної системи. Ця схема є основою експериментальної установки, побудованої, в подальшому, для дослідження електромагнітної сумісності АТЕП у структурі системи тягового електропостачання постійного струму; встановлено подібність отриманої структурної

схеми до реальної системи з визначенням механізму розрахунку масштабних відношень.

Наукова новизна та практична значимість

В процесі встановлення подібності запропоновано спрощену методику визначення масштабних відношень для нелінійних систем, які мають у своїй структурі однакові складові, але різні граничні параметри.

Експериментальне дослідження електромагнітної сумісності АТЕП в структурі системи тягового електропостачання постійного струму з використанням елементів теорії подібності дозволить отримати більш адекватні результати і, як наслідок, створити передумови подальшого покращення процесу сукупного функціонування суміжних систем електрифікованих залізниць.

Висновки

Встановлення масштабних відношень у сукупності з попереднім визначенням критеріїв подібності дозволяє остаточно стверджувати, що розглянуті системи є подібними. Такий висновок підтверджує можливість створення експериментальної установки відповідно до запропонованої структурної схеми, а також отримання з її допомогою адекватних результатів подальших досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Асинхронные двигатели серии 4А : справ. / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболенская. – М. : Энергоиздат, 1982. – 504 с.
2. Бабаков, М. Ф. Методы машинного моделирования в проектировании электронной аппаратуры / М. Ф. Бабаков, А. В. Попов. – Х. : Изд-во ХАИ, 2001. – 90 с.
3. Безрученко, В. Н. Электрические машины / В. Н. Безрученко. – К. : Вища школа, 1980. – 215 с.
4. Богданов, А. А. Визуализация данных в Microcal Origin / А. А. Богданов. – М. : Альтекс-А, 2003. – 104 с.
5. Богрый, В. С. Математическое моделирование тиристорных преобразователей / В. С. Богрый, А. А. Русских. – М. : Энергия, 1972. – 184 с.
6. Бойко, Н. Г. Теория и методы инженерного эксперимента : курс лекций / Н. Г. Бойко, Т. А. Устименко. – Донецк : ДНТУ, 2009 – 155 с.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

7. Бурков, А. Т. Электронная техника и преобразователи / А. Т. Бурков. – М. : Транспорт, 1999. – 464 с.
8. Веников, В. А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики) / В. А. Веников. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1976. – 479 с.
9. Вісін, М. Г. Підвищення електромагнітної сумісності рейкових кіл з електрорухомим складом подвійного живлення з асинхронними тяговими двигунами та тяговою мережею / М. Г. Вісін, Д. О. Забаріло // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 40. – С. 75–82.
10. Гухман, А. А. Введение в теорию подобия. / А. А. Гухман. – М. : Высшая школа, 1973. – 296 с.
11. Кирпичев, М. В. Математические основы теории подобия / М. В. Кирпичев, П. К. Конаков. – М., Л. : Изд-во АН СССР, 1949. – 106 с.
12. Литовченко, В. В. Определение энергетических показателей электроподвижного состава переменного тока с 4q-S-преобразователями / В. В. Литовченко // Электротехника. – 1993. – № 5. – С. 23–31.
13. Мощинский, Ю. А. Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным / Ю. А. Мощинский, В. Я. Беспалов, А. А. Кирякин // Электричество. – 1998. – № 4. – С. 38–42.
14. Прохорский, А. А. Тяговые и трансформаторные подстанции / А. А. Прохорский. – М. : Транспорт, 1983. – 496 с.
15. Соколов, Ю. Н. Электровоз ДС3. Конспект для локомотивных бригад. Устройство, управление, обслуживание / Ю. Н. Соколов. – К. : КУЕТТ, 2011. – 299 с.
16. ТХ 218.1039. Протокол квалификационных испытаний асинхронного двигателя СТА-1200У1. – Харьков : ГП «Электротяжмаш», 2008. – 100 с.
17. Щека, В. І. Дослідження впливу зворотнього тягового струму на режими роботи тональних рейкових кіл / В. І. Щека, І. О. Романцев, К. І. Яшук // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 24–28.
18. Application of similarity theory in research on consistency in multi-resolution modeling / C.-L. Hou, Y.-S. Jiang, X.-Z. Qi, X. Wei // Advanced Materials Research. – 2012. – Vol. 562–564. – P. 2128–2133.
19. Sandoval-Ibarra, F. Basic circuit to design switched-based DC-DC converters / F. Sandoval-Ibarra, J. R. Mercado-Moreno, R. H. Uriostegui-Vazquez // Revista Mexicana De Fisica. – 2007. – Iss. 53 (2). – P. 128–133.
20. Vasuki, P. Power factor improvement in three phase AC-AC converter through modified SPWM / P. Vasuki, R. Mahalakshmi // Int. J. of Engineering Science and Technology (IJEST). – 2011. – Vol. 3, № 2. – P. 1438–1445.

Ю. С. БОНДАРЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Электротехника и электромеханика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта bondar198924@gmail.com, ORCID 0000-0002-5306-4820

ПРЕДПОСЫЛКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В СТРУКТУРЕ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель. Применение физического моделирования в качестве инструмента для проведения исследований любых явлений или систем приобретает все более широкое распространение, в том числе и в области железнодорожного транспорта. При этом адекватность результатов, которые можно получить, во многом зависит от степени сходства физической модели с реальной системой. С точки зрения исследования тягового асинхронного электропривода (АТЭП), в совокупности с системой тягового электроснабжения, сходство не может определяться прямой пропорциональностью параметров, ведь характер процессов, сопровождающий работу этих систем, является нелинейным. Эти особенности должны быть учтены в экспериментальной установке, основой построения которой является установление сходства систем, что и определяет цель данной работы. **Методика.** В основе создания экспериментальной установки лежало воспроизведение процессов энергопреобразования в системе тягового электроснабжения постоянного тока. Определение степени сходства предлагаемой установки с реальной системой осуществлялось с использованием основных теорем теории подобия, их дополнительных положений по сложности и нелинейности сис-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

тем, а также элементов математического анализа. **Результаты.** По результатам работы: 1) Получена структурная схема, механизм энергопреобразования которой подобен реальной системе. Данная схема является основой экспериментальной установки, построенной, в дальнейшем, для исследования электромагнитной совместимости АТЭП в структуре системы тягового электроснабжения постоянного тока; 2) Установлено сходство полученной структурной схемы с реальной системой с определением механизма расчета масштабных отношений. **Научная новизна.** В процессе установления сходства предложена упрощенная методика определения масштабных отношений для нелинейных систем, которые имеют в своей структуре одинаковые составляющие, но разные предельные параметры. **Практическая значимость.** Экспериментальное исследование электромагнитной совместимости АТЭП в структуре системы тягового электроснабжения постоянного тока с использованием элементов теории подобия позволит получить более адекватные результаты и, как следствие, создать предпосылки для дальнейшего улучшения процесса совокупного функционирования смежных систем электрифицированных железных дорог.

Ключевые слова: тяговый асинхронный электропривод; теория подобия; масштабные соотношения; экспериментальная установка

YU. S. BONDARENKO^{1*}

^{1*}Dep. «Electrical Engineering and Electromechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail bondar198924@gmail.com, ORCID 0000-0002-5306-4820

BACKGROUNDS OF EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF TRACTION ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVES IN THE STRUCTURE OF DC TRACTION POWER SUPPLY SYSTEM

Purpose. Application of physical modeling as a tool for research of any events or systems is becoming more widespread, including the field of railway transport. At the same time the adequacy of results that can be obtained, depends largely on the similarity degree of the physical model to real system. From the standpoint of the traction asynchronous electric drive (TAED) research together with the traction power supply system research, the similarity can not be determined by the direct proportion of the parameters, because the processes nature accompanying the operation of these systems is non-linear. These features should be taken into account in the experimental setup, the basis for constructing of which is establishing of the system similarity that defines the purpose of this paper. **Methodology.** At the heart of the experimental setup creation laid reproduction of processes of energy transformation in the system of the DC traction power supply. Determination of the similarity degree of the proposed facility to the real system was carried out using the basic theorems of the similarity theory, their additional provisions on the complexity and nonlinear systems, as well as elements of mathematical analysis. **Findings.** According to the results of work: 1) The block diagram, the energy conversion mechanism of which is similar to the real system was received. This scheme is the basis of experimental setup, built in the future for the study of electromagnetic compatibility of TAED in the structure of DC traction electric power supply system. 2) Similarity of obtained structural scheme with the real system with the mechanism definition of calculating the scaling relations was established. **Originality.** In the process of establishing the similarity a simplified method for determining the scaling relations for nonlinear systems was suggested. They are identical in their structure components, but have different capacities. **Practical value.** Experimental research of electromagnetic compatibility of TAED in the structure of traction power DC system using the elements of similarity theory will provide more adequate results and, as a consequence, create preconditions for further improvement process of the aggregate related systems functioning of electrified railways.

Keywords: traction asynchronous electric drive; similarity theory; scaling relations; experimental setup

REFERENCES

1. Kravchik A.E., Shlaf M.M., Afonin V.I., Sobolenskaya Ye.A. *Asinkhronnyye dvigateli serii 4A* [Induction motors series 4A]. Moscow, Energoizdat Publ, 1982. 504 p.
2. Babakov M.F., Popov A.V. *Metody mashinnogo modelirovaniya v proyektirovanii elektronnoy apparatury* [Methods of computer simulation in the design of electronic equipment]. Kharkov, KhAI Publ., 2001. 90 p.
3. Bezruchenko V.N. *Elektricheskiye mashiny* [Electrical machines]. Kyiv, Vysshaya shkola Publ., 1980. 215 p.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

4. Bogdanov A.A. *Vizualizatsiya dannykh v Microcal Origin* [Data Visualization in Microcal Origin.]. Moscow, Alteks-A Publ., 2003. 104 p.
5. Bogryy V.S., Russkikh A.A. *Matematicheskoye modelirovaniye tiristornykh preobrazovateley*. [Mathematical modeling of thyristor converters]. Moscow, Energiya Publ., 1972. 184 p.
6. Boyko N.G., Ustimenko T.A. *Teoriya i metody inzhenerenogo eksperimenta* [Theory and methods of engineering experiment]. Donetsk, DNTU Publ., 2009. 155 p.
7. Burkov A.T. *Elektronnaya tekhnika i preobrazovateli* [Electronic equipment and converters]. Moscow, Transport Publ., 1999. 464 p.
8. Venikov V.A. *Teoriya podobiya i modelirovaniya (primenitelno k zadacham elektroenergetiki)* [Similarity theory and modeling (applied to the problems of electric power)]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1976. 479 p.
9. Visin M.G., Zabarilo D.O. Pidvyshchennia elektromahnitnoi sumisnosti reikovykh kil z elektrorukhomym skladom podviinoho zhyvlennia z asynkhronnymy tiahovymy dvyhunamy ta tiahovoiu merezheiu [Electromagnetic compatibility improvement of track circuits with electric stock of doubly-fed with asynchronous traction motor and traction network]. *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.75-82.
10. Gukhman A.A. *Vvedeniye v teoriyu podobiya* [Introduction to the similarity theory]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1973. 296 p.
11. Kirpichev M.V., Konakov P.K. *Matematicheskiye osnovy teorii podobiya*. [Mathematical foundations of the similarity theory]. Moscow, AN SSSR Publ., 1949. 106 p.
12. Litovchenko V.V. Opredeleniye energeticheskikh pokazateley elektropodvizhnogo sostava peremennogo toka s 4q-S-preobrazovatelyami [Determination of power indicators of AC electric rolling stock with 4q-S-converters]. *Elektrotekhnika – Electrotechnics*, 1993, no. 5, pp. 23-31.
13. Moshchinskiy Yu.A., Bepalov V.Ya., Kiryakin A.A. Opredeleniye parametrov skhemy zameshcheniya asinkhronnoy mashiny po katalognym dannym [Determination of equivalent network parameters of an induction machine on catalog data]. *Elektrichestvo – Electricity*, 1998, no. 4, pp. 38-42.
14. Prokhorskiy A.A. *Tyagovyie i transformatornyie podstantsii* [Traction and transformer substations]. Moscow, Transport Publ., 1983. 496 p.
15. Sokolov Yu.N. *Elektrovoz DS3. Konspekt dlya lokomotivnykh brigad. Ustroystvo, upravleniye, obsluzhivaniye* [DS3 locomotive. Synopsis for foot-plate staff. Structure, management, maintenance]. Kyiv, KUYeTT Publ., 2011. 299 p.
16. *TKh 218.1039. Protokol kvalifikatsionnykh ispytaniy asinkhronnogo dvigatelya STA-1200U1* [TX 218.1039. Qualification testing protocol of STA- 1200U1 asynchronous motor]. Kharkov, GP «Elektrotyazhmash» Publ., 2008. 100 p.
17. Shcheka V.I., Romantsev I.O., Yashchuk K.I. Doslidzhennia vplyvu zvorotnogo tiahovoho strumu na rezhymy roboty tonalnykh reikovykh kil [Investigation of the back traction current influence on operating regime of tonal rail circuits]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp.24-28.
18. Hou C.-L., Jiang Y.-S., Qi X.-Z., Wei X. Application of similarity theory in research on consistency in multi-resolution modeling. *Advanced Materials Research*, 2012, vol. 562-564, pp. 2128-2133.
19. Sandoval-Ibarra F., Mercado-Moreno J.R., Uriostegui-Vazquez R.H. Basic circuit to design switched-based DC-DC converters. *Revista Mexicana De Fisica*, 2007, issue 53 (2), pp. 128-133.
20. Vasuki P., Mahalakshmi R. Power factor improvement it three phase AC-AC converter through modified SPWM. *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, 2011, vol. 3, no. 2, pp. 1438-1445.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. А. М. Мухомою (Україна); д.т.н., проф. Ф. П. Шкрабцем (Україна)

Поступила до редколегії 21.02.2014

Прийнята до друку 09.04.2014

УДК 621.333.41:629.423:6213.025:519.2

А. В. НІКІТЕНКО^{1*}, М. О. КОСТІН¹

^{1*}Каф. «Електротехніка та електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 37, ел. пошта nikitenko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0002-6426-5097

¹Каф. «Електротехніка та електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 37, ORCID 0000-0002-0856-6397

ІМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНИЙ І КОРЕЛЯЦІЙНО-СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗИ СТРУМУ РЕКУПЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета. У праці необхідно визначити та проаналізувати ймовірнісні й спектральні характеристики випадкового процесу струму рекуперації електрорухомого складу постійного струму різних типів. **Методика.** Використано елементи теорії, методи та методики теорії ймовірностей, зокрема, теорія стаціонарних і нестаціонарних випадкових процесів. Також застосовувались методи математичної статистики з обробкою на персональних ЕОМ масивів значень випадкової величини струму рекуперації. **Результати.** Наведено часові реалізації струму рекуперації електровозів, електропоїздів і трамваїв, які отримано шляхом моніторингу на діючих ділянках залізниць України. Встановлено, що струм має характер неперервних різкозмінних, особливо в трамваїв, часових коливань. Визначено функції математичного сподівання, середньоквадратичного відхилення та дисперсії випадкового процесу струму рекуперації, побудовано гістограми. Обчислено, побудовано й обговорено кореляційні та спектральні функції струму. У результаті встановлено, що струм рекуперації може вважатись стаціонарним неергодичним випадковим процесом. Спектральний аналіз реалізацій цього процесу та «хвоста» кореляційної функції виявив «слабко» періодичні, тобто низькочастотні, складові, які називають інтергармоніками. **Наукова новизна.** По-перше, до аналізу такого суттєво різкозмінного випадкового процесу, яким є струм рекуперації, адаптовано теорію нестаціонарних випадкових процесів. По-друге, вперше встановлено наявність інтергармонік у випадковому процесі струму рекуперації. І, нарешті, встановлено закономірності часової зміни кореляційної функції процесу струму, що дозволяє аргументовано застосувати метод кореляційних функцій при ідентифікації пристроїв системи електричної тяги. **Практична значимість.** Результати ймовірнісно-статистичного аналізу струму рекуперації дозволяють оцінювати якість рекуперованої електроенергії та енергетичні показники електрорухомого складу в режимі рекуперації. Тоді як кореляційно-спектральний аналіз необхідний при визначенні електромагнітної сумісності електрорухомого складу в режимі рекуперації з підсистемами та пристроями електричної тяги.

Ключові слова: метод; випадковий процес; напруга; струм; кореляційна функція; електричний транспорт; дисперсія; спектр; рекуперація

Вступ

Ця робота є продовженням досліджень з аналізу ймовірнісних характеристик випадкових процесів напруги і струму систем електричного транспорту постійного струму в режимах тяги та рекуперативного гальмування [5, 6, 12, 13]. І якщо характер зміни напруги на струмоприймачі вивчено відносно достатньо [9], найчастіше в детермінованому варіанті, то власне часову залежність струму рекуперації взагалі не розглядають в наукових публікаціях. В той же час і якість рекуперованої електроенергії, і енергетичні показники електрорухомого складу в режимі рекуперативного гальмування, як і в режи-

мі тяги [3, 4], неможливо дослідити без вивчення змін характерних параметрів струму рекуперації.

Мета

Оскільки струм рекуперації, згідно з попередніми дослідженнями, є випадковим процесом, то, цілком істотно, що потрібен докладний ймовірнісно-спектральний його аналіз, який дозволить більш правильно оцінити енергоефективність рекуперації [7, 10], що і є метою цієї роботи.

Методика

Імовірнісно-статистичний та кореляційно-спектральний аналізи струму рекуперації $I(t)$

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

виконано для електровозів ВЛ8 і ВЛ11^М, електропоїздів ЕПЛ2Т і трамваїв типу NGT6 м. Краків (Польща) згідно з роботами [11, 14, 15]. Реалізації $I(t)$ в режимі тяги і рекуперативного гальмування електровозів ВЛ8 отримували на діючій ділянці Нижньодніпровськ-Вузол–Чаплино Придніпровської залізниці за допомогою апаратно-програмного комплексу [12], а для електровозів ВЛ11^М – на діючій ділянці Воловець–Батьово і Лавочне–Львів Львівської залізниці при тягово-енергетичних випробуваннях електровозів. Запис струмів рекуперації для електропоїздів ЕПЛ2Т здійснено на ділянці Сімферополь–Севастополь за допомогою робітників тягово-енергетичного вагона-лабораторії локомотивної служби Придніпровської залізниці. Отримання реалізацій $I(t)$ при рекуперації трамвая в [15] здійснювалось комплексом, блок-схема якого наведена на рис. 1, на якому LEM (I) – датчик досліджуваного струму, що увімкнений в силове коло трамвая і сигнал якого через адаптер А/С в режимі реального часу передається на портативний персональний комп'ютер.

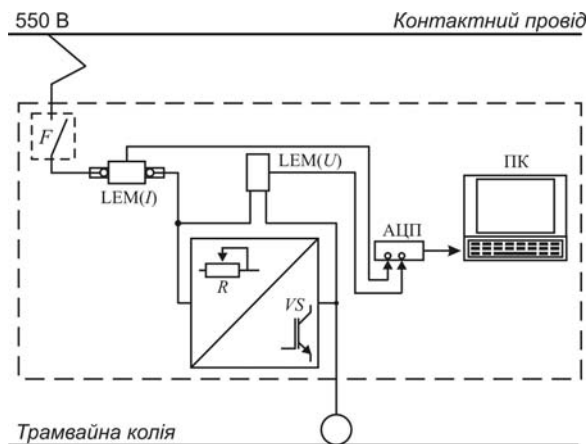


Рис. 1

Fig. 1

Для отримання імовірнісних характеристик випадкового процесу струму рекуперації $I(t)$ його реалізації квантували (дискретизували) за часом. Величину часового інтервалу квантування Δt визначали залежно від спектрального складу $I(t)$, користуючись виразом [1]:

$$\Delta t = \frac{T_{\min}}{5 \dots 10},$$

де $T_{\min}$ – період високочастотних складових процесу $I(t)$.

При визначенні кореляційної функції струму $K_I(\tau)$ поточний зсув часу $\tau = t_1 - t_2$ приймали в інтервалі $0 \leq \tau \leq \tau_{\max}$, де $\tau_{\max}$ вибирали рівним періоду складової найменшої частоти [2]. Також не буде похибкою, якщо $\tau_{\max}$ приймати рівним часу кореляції τ_K випадкового процесу $I(t)$, який знаходиться за умови, що нормована кореляційна функція $\rho(\tau = \tau_K) = 0,05$ або $\rho(\tau = \tau_K) = 0,1$.

Результати

На рис. 2–4 наведено по одній реалізації випадкових (за одну поїздки на певній ділянці) часових залежностей тягового струму з фазами тяги і рекуперативного гальмування для електровоза ВЛ8, а на рис. 5 і 6 – «зібраний за усіма фазами» лише струм рекуперації. Як впливає із цих рисунків і гістограм, побудованих для струму рекуперації (рис. 7–9), незалежно від типу електрорухомого складу (електровоз, електропоїзд чи трамвай), фактичні поточні значення струму рекуперації $I(t)$ протягом фази рекуперації характеризуються неперервними значними коливаннями в часі в широкому інтервалі від нуля до: 1640 А в електровозі ВЛ8; 981 А – електровозі ВЛ11^М; 335 А – електропоїзді ЕПЛ2Т; 500 А – трамваї. Реалізації $I(t)$ трамваїв (рис. 4) мають більш різкий, більш коливальний нерівномірний характер. Це зумовлено тим, що трамвай є менш інерційною системою, ніж електровози і електропоїзди, бо необхідний режим керування ними в умовах міського руху робить трамвай для тягової мережі більш динамічною, різко змінною системою.

Вигляд гістограм (рис. 7–9), а також, як правило, додатні знаки та значення коефіцієнта асиметрії As та ексцесу Ex (табл. 1) свідчать про те, що імовірнісний закон розподілення струмів рекуперації найчастіше не є законом Гаусса. Розподілення струму мають чіткі явні скошення вліво, у бік менших значень струму, що й підкреслюється додатним знаком коефіцієнта As , винятком є значення As у поїздки № 6 ($As = -2,68$, скошеність у бік більших значень струму). При цьому також у значній більшості

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

фаз рекуперації різних поїздок характеристика крутості розподілення струму, тобто значення коефіцієнта E_x , далека від нуля (що повинно бути за нормальним законом), найчастіше вона додатна і має великі значення (табл. 1). Винятком є поїздки № 3 і 4. Вигляд гістограм (рис. 7–9), значення A_s і E_x ($A_s = 0,95$; $0,079$;

$E_x = 0,25$; $0,64$), а також величина імовірності $p = 0,13 \dots 0,17$ за критерієм Пірсона дозволяють зробити висновок, що в цих поїздках (випадках) струм рекуперації розподіляється за законом Гаусса.

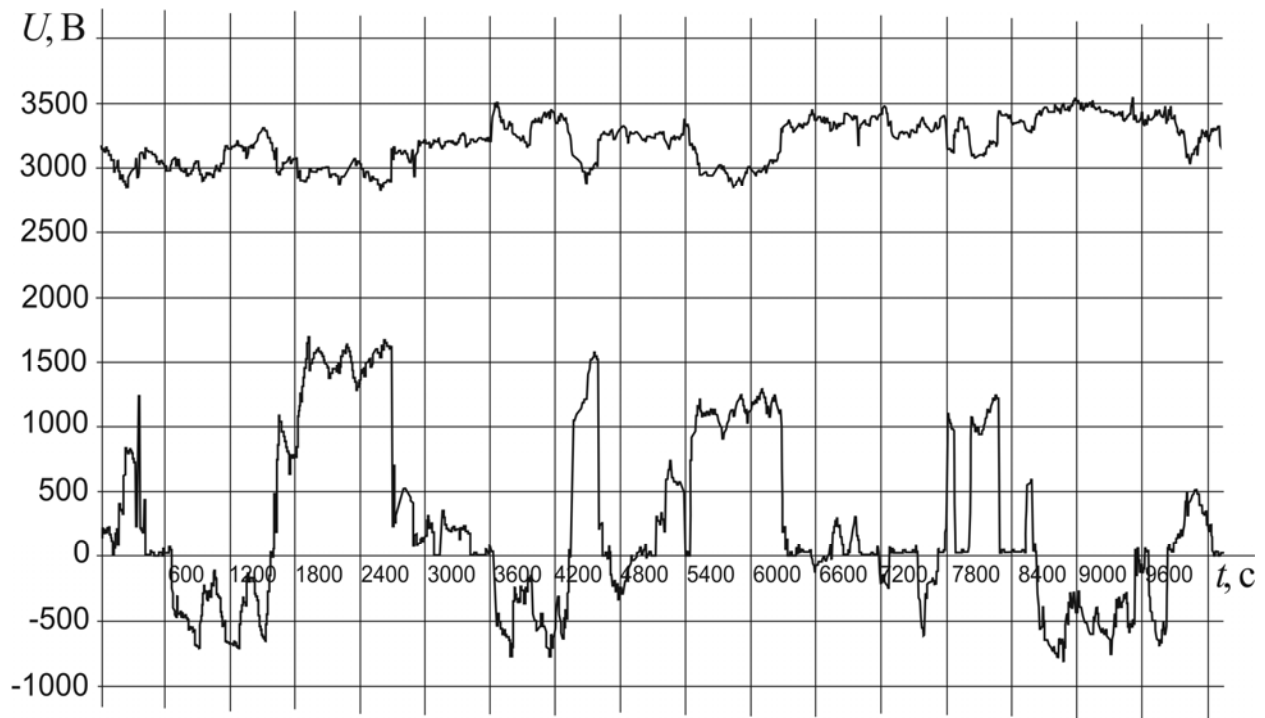


Рис. 2

Fig. 2

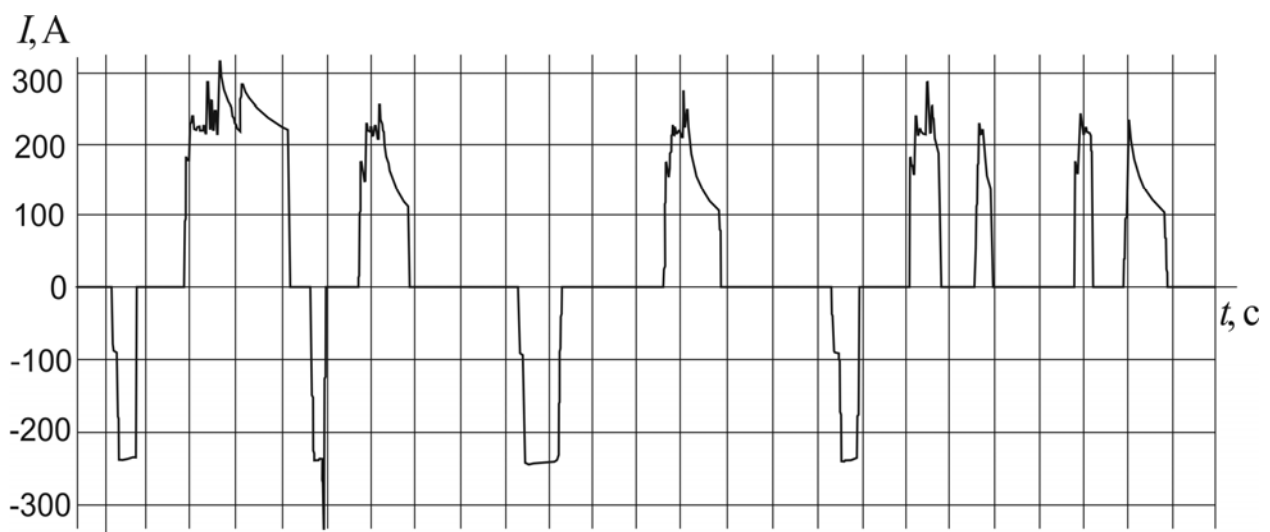


Рис. 3

Fig. 3

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

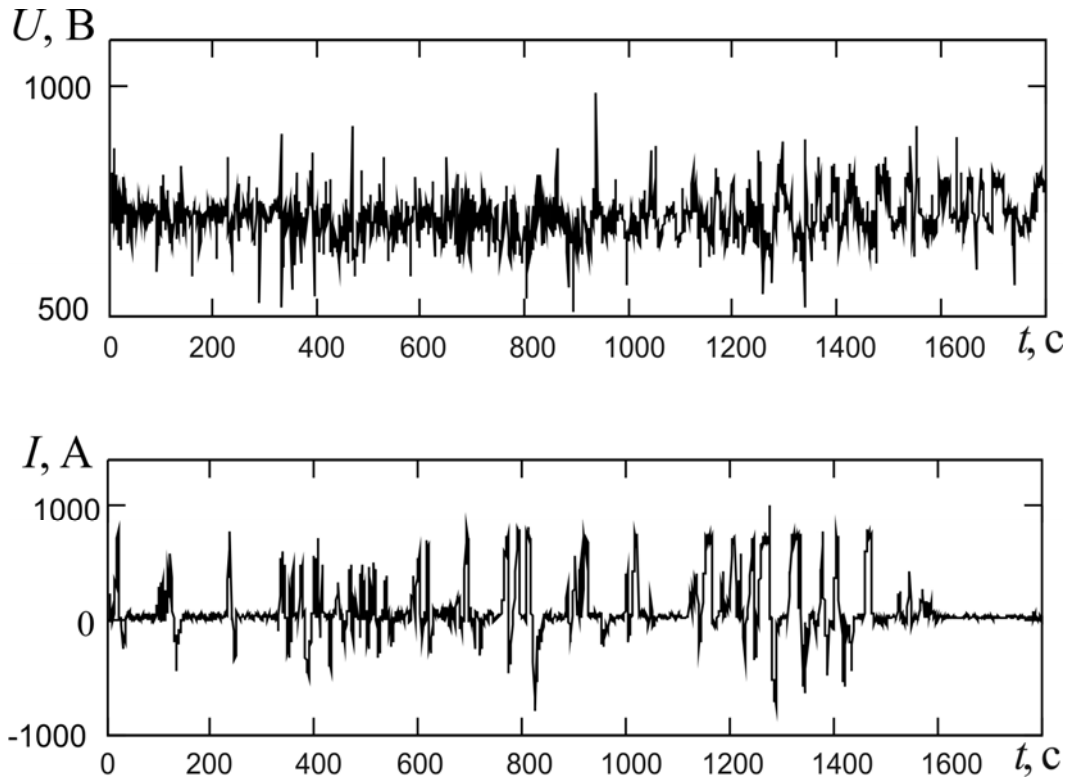


Рис. 4

Fig. 4

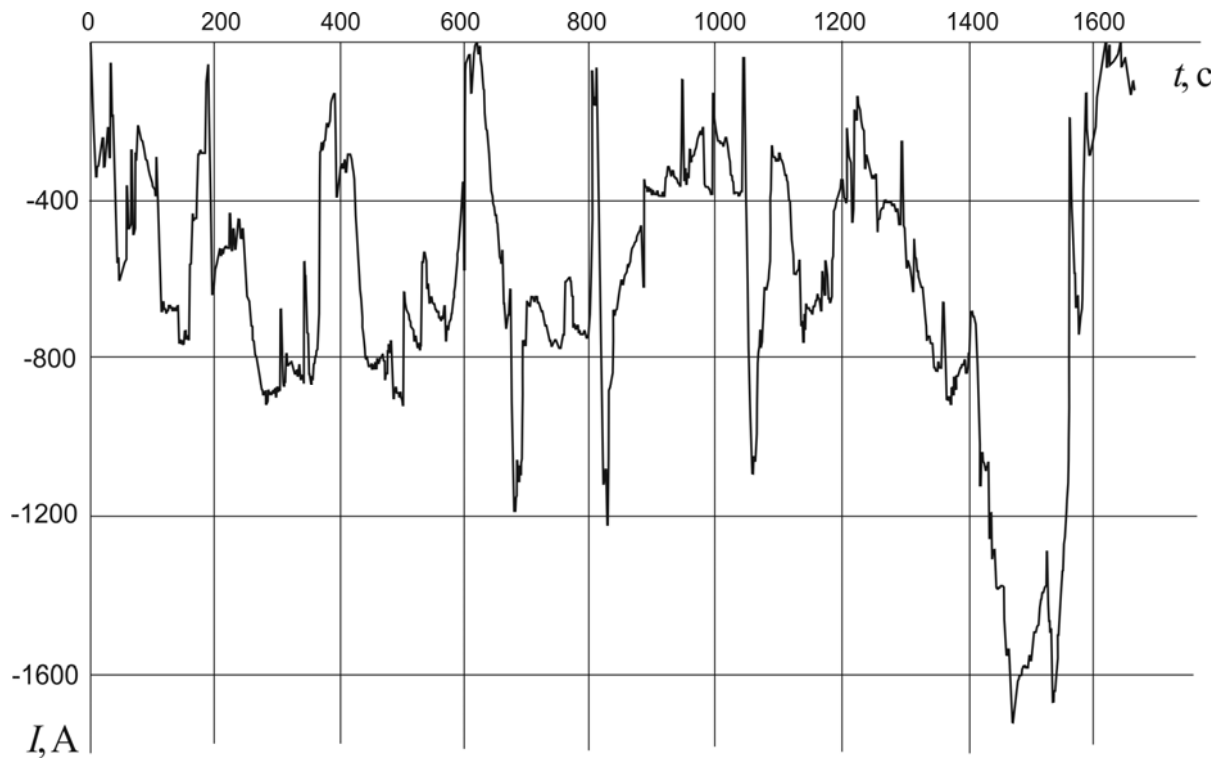


Рис. 5

Fig. 5

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

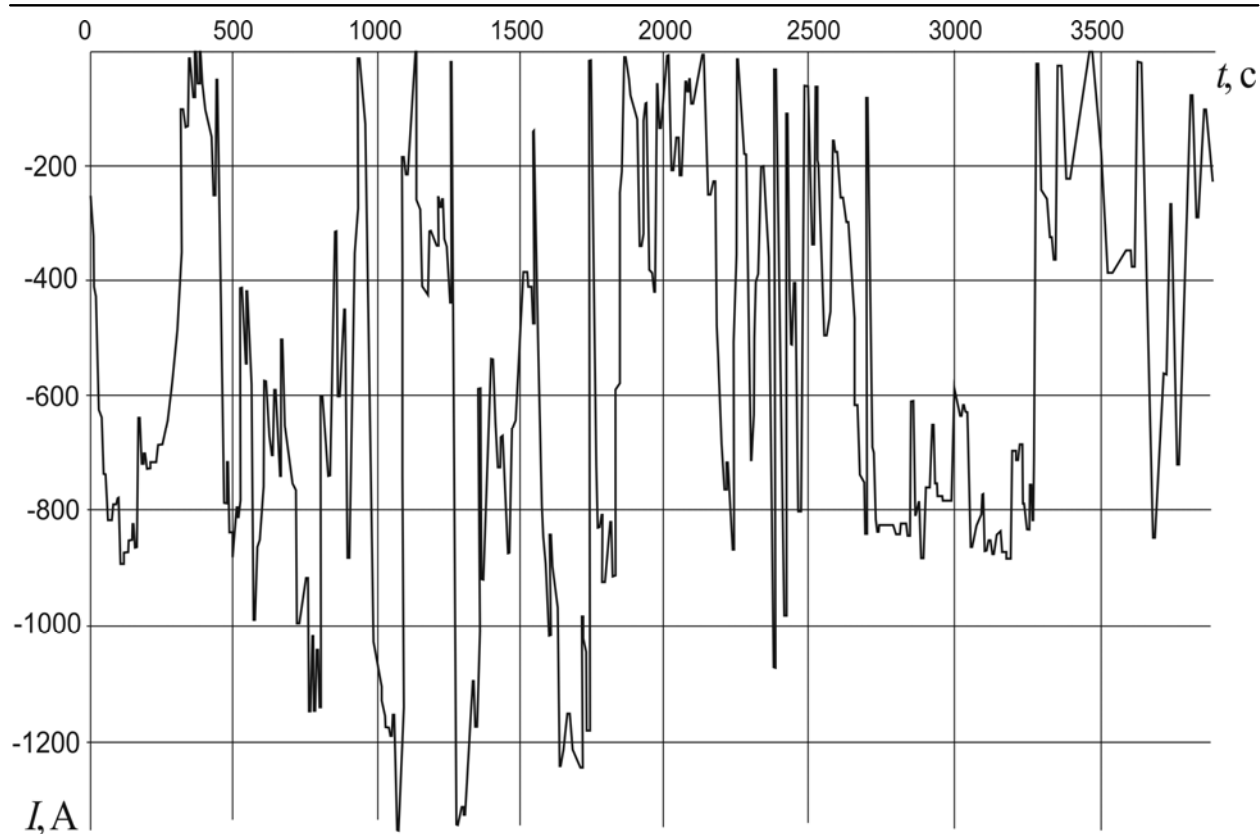


Рис. 6

Fig. 6

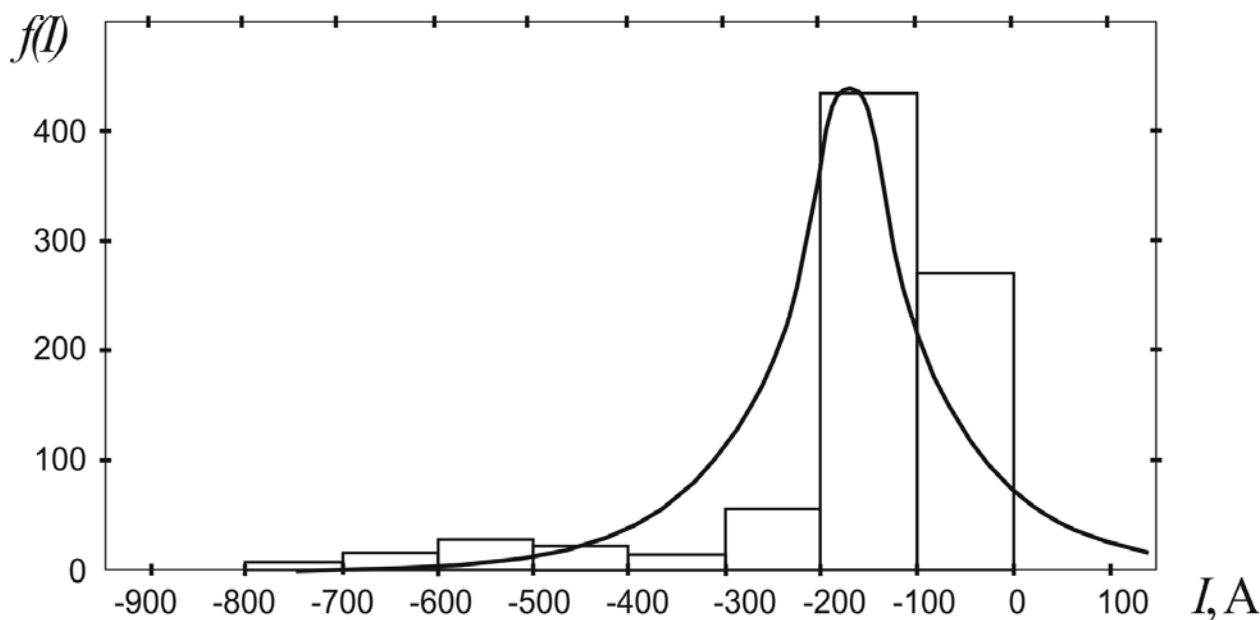


Рис. 7

Fig. 7

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

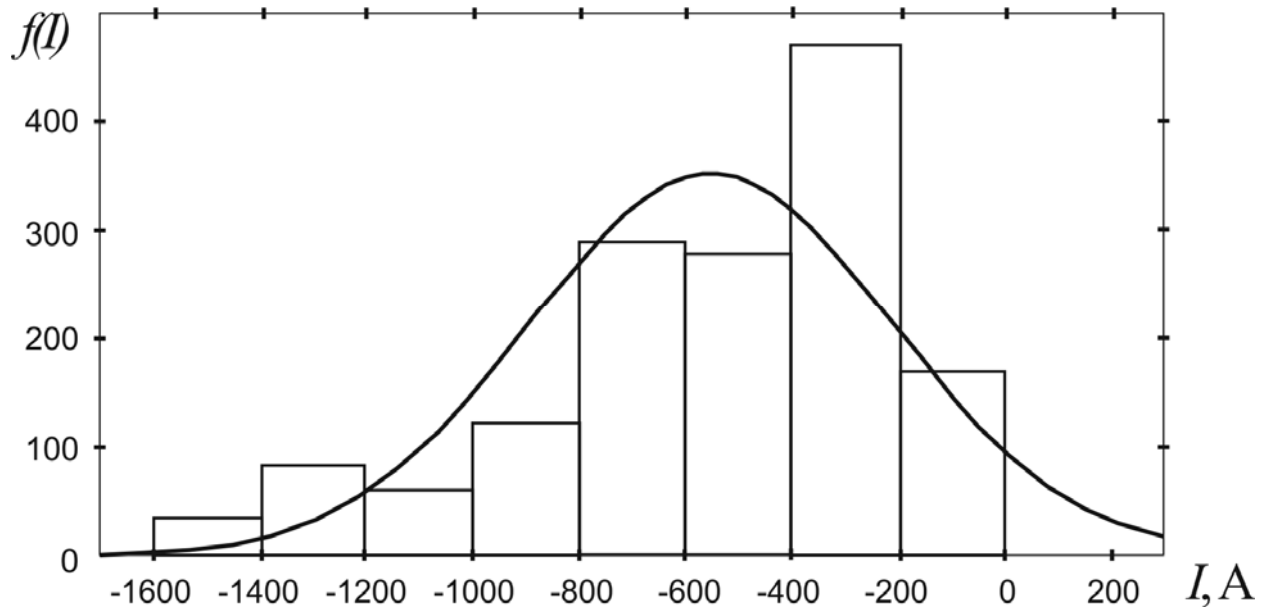


Рис. 8

Fig. 8

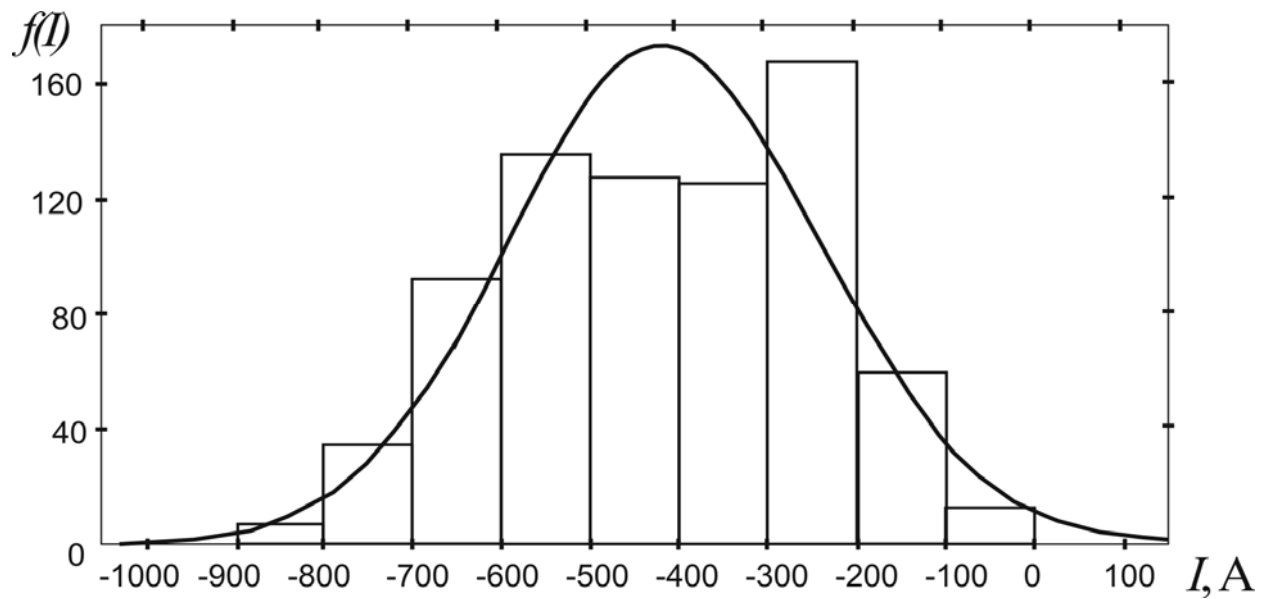


Рис. 9

Fig. 9

Судячи з вигляду часових миттєвих залежностей струму $I(t)$ (рис. 2–6), а також зі нестаціонарного характеру функцій математичного сподівання $m_I(t)$ і дисперсії $D_I(t)$ (рис. 10 і 11), можна зробити висновок, що струм рекуперації є нестаціонарним випадковим процесом. Однак, перша необхідна умова стаціонарності, щоб $m_I(t) = m_I = \text{const}$, згідно з [1], не є суттє-

вою, оскільки від випадкової функції $I(t)$ можна перейти до центрованої функції $\overset{\circ}{I}(t) = I(t) - m_I(t)$, для якої математичне сподівання дорівнює нулю й тим самим ця умова виконується. Друга умова стаціонарності, щоб $D_I(t) = D_I = \text{const}$, є частковим випадком третьої умови, згідно з якою кореляційна функція струму повинна бути функцією лише одного

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

аргументу $\tau = t_1 - t_2$. Як бачимо з аналізу кореляційної функції (рис. 13–15), вона є функцією одного аргументу, тобто $K_I(t, t') = K(t, t + \tau) = K(\tau)$. В результаті цього виконується друга умова стаціонарності, оскільки $D_I(t) = K_I(t, t') = K(\tau = 0) = \text{const}$.

Таблиця 1

Table 1

Номер поїздки	Значення коефіцієнта	
	A_s	E_x
1	2,41	5,31
2	0,95	0,25
3	0,079	– 0,64
4	0,84	0,86
5	0,128	– 0,82
6	– 2,68	7,72

До зазначених вище факторів треба додати наступне. Беручи до уваги обмежену кількість опрацьованих реалізацій струму $I(t)$ ($n=14$) і у зв'язку з наявністю значного елементу випадковості в отриманих оцінках функцій математичного сподівання $m_I(t)$ (рис. 10), дисперсії $D_I(t)$ (рис. 11) і середньоквадратичного відхилення $\sigma_I(t)$ (рис. 12), ці відступи на рис. 10–12 від стаціонарності власне випадкового процесу $I(t)$ не можна вважати значними, тим більше, що вони не мають закономірного характеру. Тому цілком доцільною буде наближена заміна випадкової функції $I(t)$ стаціонарною. Для цього осереднюємо за часом функції $m_I(t)$, $D_I(t)$ і $\sigma_I(t)$, що наведені на рис. 10–12. В результаті отримаємо: $m_I(t) = 530$ А, $D_I(t) = 10\,050$ А², $\sigma_I(t) = 320$ А.

Отже, із зазначеного вище випливає, що випадкова функція струму рекуперації має всі ознаки стаціонарного процесу.

Аналіз будь-якого випадкового процесу не є повним, якщо відсутній його кореляційно-спектральний аналіз, що й виконаємо для процесу $I(t)$.

На рис. 13–15 наведені графічні залежності кореляційної функції $K_I(t)$ струму рекуперації

для електровоза ВЛ8 при його експлуатації на ділянках Придніпровської залізниці. Вони апроксимовані виразами відповідно:

$$K_I(\tau) = 30\,620 e^{-0,03\tau};$$

$$K_I(\tau) = 124\,900 e^{-0,02\tau};$$

$$K_I(\tau) = 111\,200 e^{-0,02\tau}.$$

Як випливає із рис. 13–15, спостерігається відносно повільне загасання $K_I(\tau)$, що вказує на збереження зв'язку між миттєвими значеннями $I(t)$ при значних величинах τ . Наявні від'ємні значення $K_I(\tau)$, які вказують на те, що додатним відхиленням струму в певний момент часу t_k відповідають її від'ємні відхилення в інший момент часу t_i і навпаки. І, нарешті, функція $K_I(\tau)$ зі збільшенням τ загасає (для усіх видів електрорухомого складу) з подальшим коливанням відносно осі часу, а не відносно якоїсь постійної складової. Цей закономірний характер коливальної частини $K_I(\tau)$, яку називають «хвостом» кореляційної функції, свідчить про те, що у випадковому процесі $I(t)$ є періодичність: в ньому містяться «слабко» періодичні, тобто низькочастотні складові, інтергармоніки. Окрім цього, «хвіст» $K_I(\tau)$ містить ті ж самі гармоніки, що й сам випадковий процес [8].

Фактична наявність інтергармонік впливає із рис. 16 і 17, на яких наведено дискретні, в межах 0,001...1 Гц, спектри власне миттєвих графіків реалізацій $I(t)$. Наявність інтергармонік в струмі рекуперації в повній мірі закономірна, оскільки вони виникають в системі при роботі з різкозмінними навантаженнями, які й характерні для електрорухомого складу. Насамкінець зауважимо, що інтергармоніки в системі електричної тяги є причиною додаткових втрат активної електроенергії, викликають додатковий нагрів електрообладнання й тим самим зумовлюють зменшення терміну його служби.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

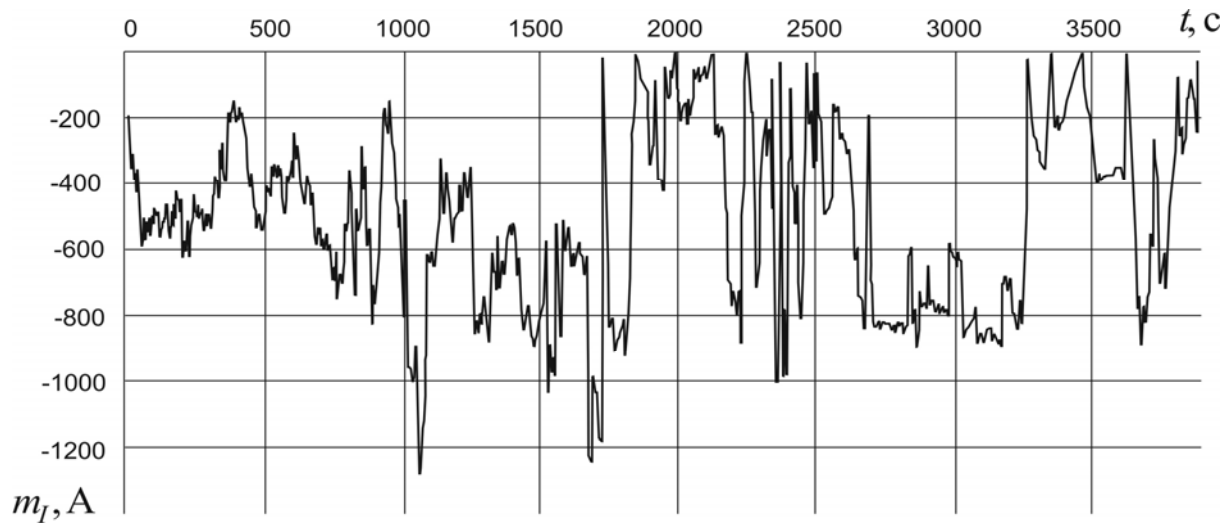


Рис. 10

Fig. 10

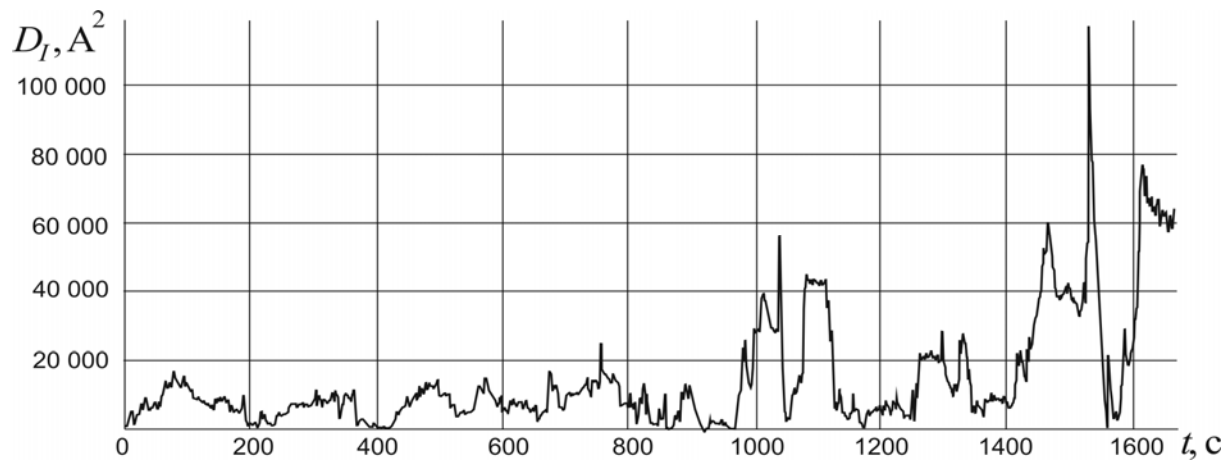


Рис. 11

Fig. 11

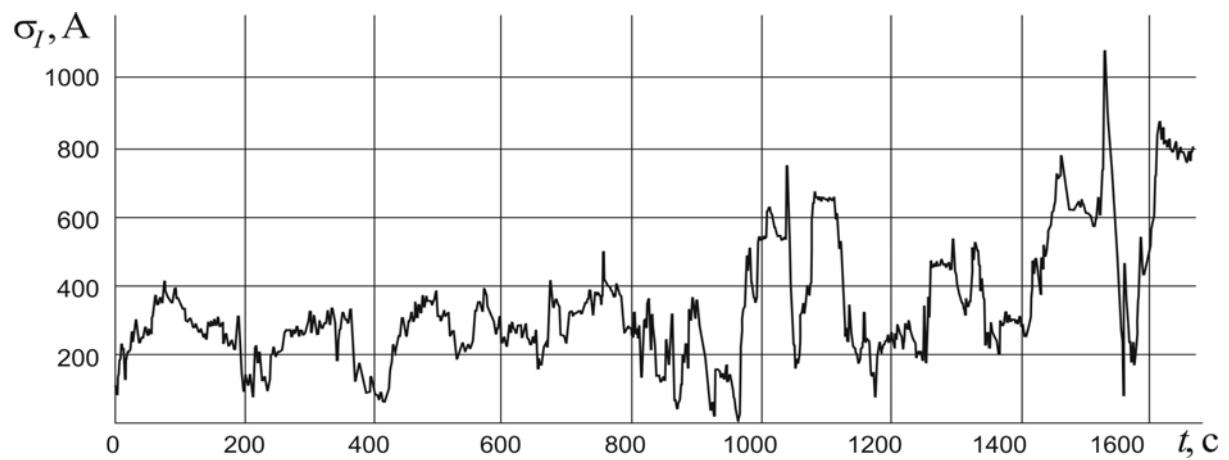


Рис. 12

Fig. 12

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

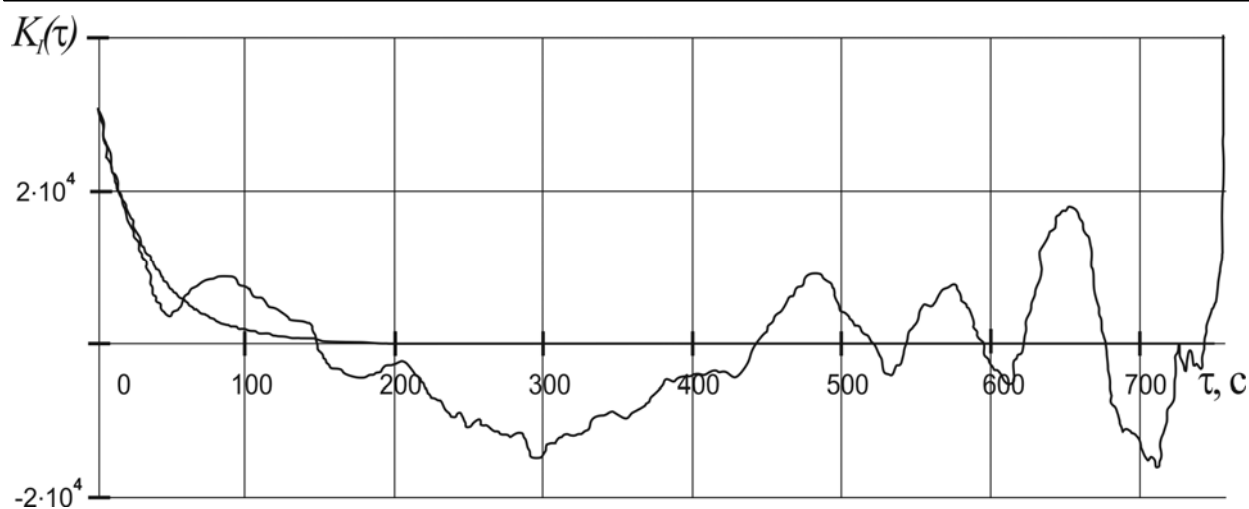


Рис. 13

Fig. 13

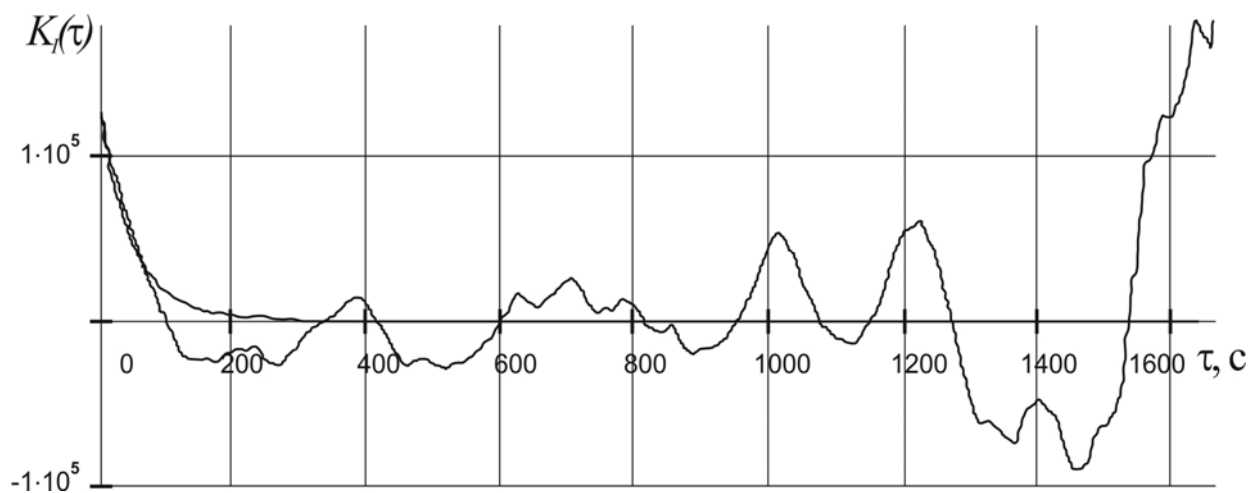


Рис. 14

Fig. 14

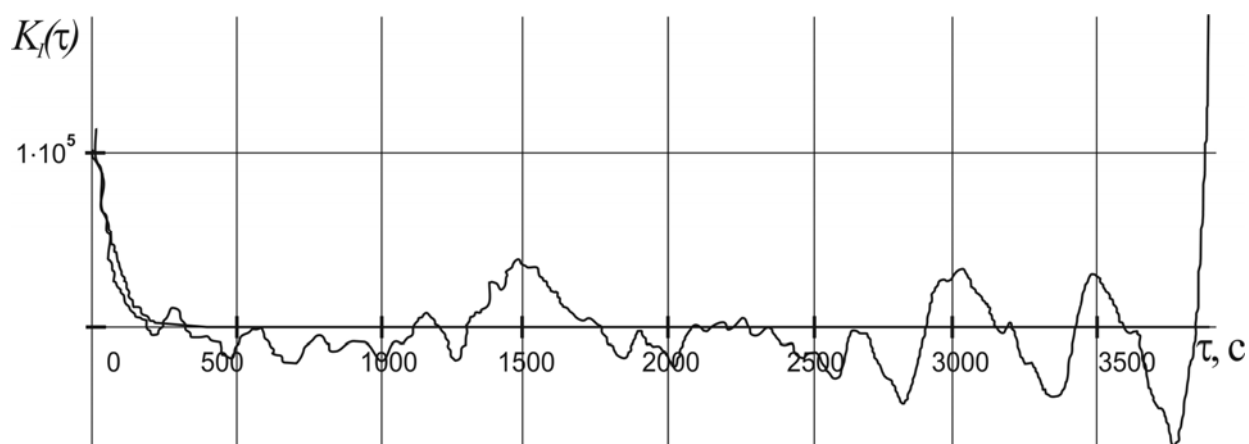


Рис. 15

Fig. 15

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

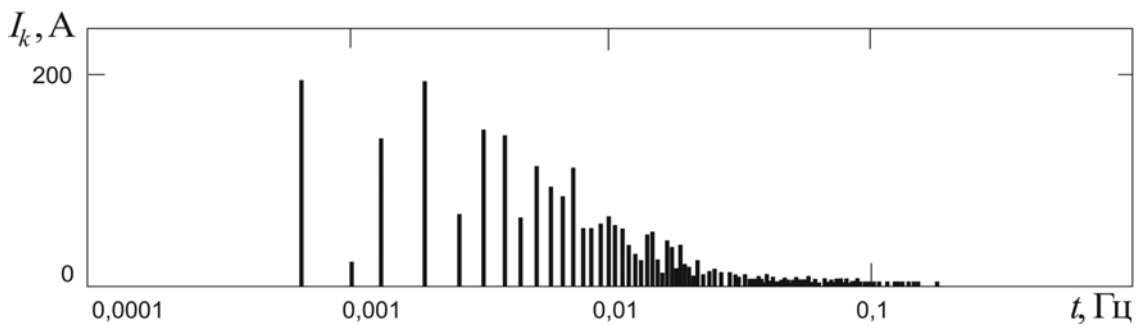
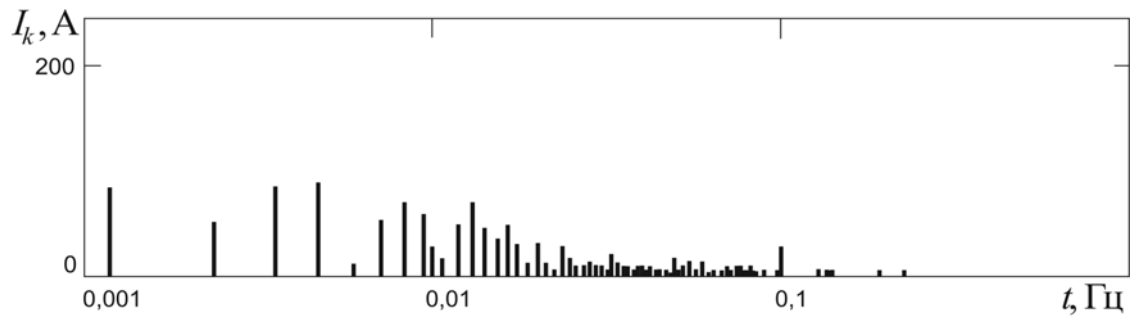


Рис. 16

Fig. 16

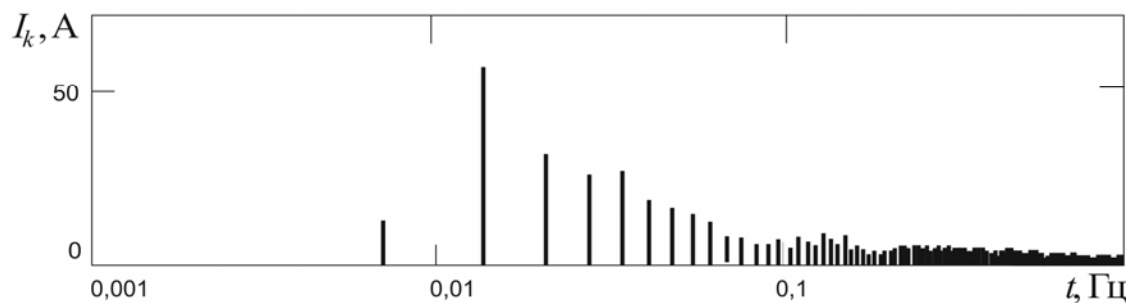
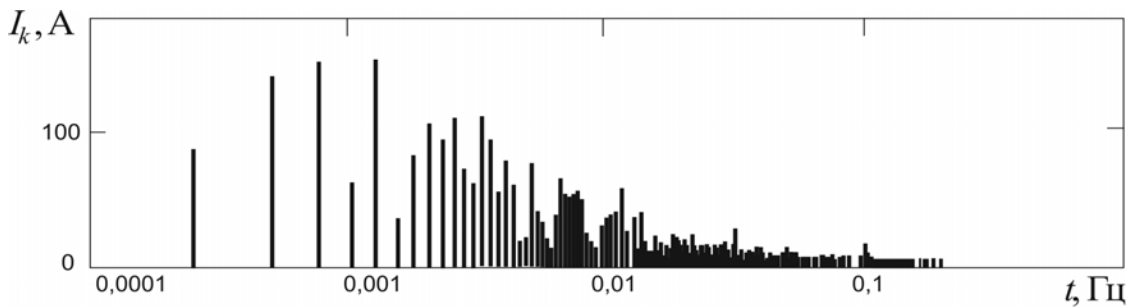


Рис. 17

Fig. 17

**Наукова новизна та практична
значимість**

Результати імовірісно-статистичного аналізу струму рекуперації дозволяють оцінювати якість рекуперованої електроенергії та енергетичні пока-

зники електрорухомого складу в режимі рекуперації, а кореляційно-спектральний аналіз необхідний у разі визначення електромагнітної сумісності електрорухомого складу в режимі рекуперації з підсистемами та пристроями електричної тяги.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Висновки

1. Струм рекуперативного гальмування $I(t)$ електрорухомого складу постійного струму є стаціонарним неергодичним випадковим процесом, найчастіше з імовірнісним логарифмічно-нормальним розподіленням, в окремих поїздах – за законом Гаусса.

2. Випадкові різкозмінні, особливо у трамваїв, коливання струму рекуперації змінюються в широкому діапазоні, який залежить від виду електрорухомого складу. При цьому фактичні поточні значення струму найчастіше зміщені в область менших його значень.

3. Знакозмінний характер поведінки «хвоста» кореляційної функції свідчить про наявність у випадковому процесі $I(t)$ інтергармонік.

4. Амплітудний спектр миттєвих величин $I(t)$, а також спектр кореляційної функції створені складовими з діапазоном частот 0,001...1 Гц, при цьому струм рекуперації трамваїв містить більш високі частоти, ніж в електровозів.

5. Амплітудні значення спектра струму рекуперації мають імовірнісний характер, які з імовірністю $p=0,17$ за Пірсоном розподіляються за логарифмічно-нормальним законом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М. : Наука, 1969. – 576 с.
- Гайдукевич, Г. И. Вероятностная обработка осциллограмм электрических величин / Г. И. Гайдукевич. – М. : Энергия, 1972. – 112 с.
- Костин, Н. А. Реактивная мощность в устройствах систем электрической тяги / М. О. Костин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 34. – С. 73–76.
- Костин, М. О. Ознака наявності обмінної потужності в силових електричних тягових колах системи постійного струму / М. О. Костин, О. Г. Шейкіна // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 98–102.
- Нікітенко, А. В. Кореляційно-дисперсійний метод визначення складових повної потужності в пристроях електричного транспорту / А. В. Нікітенко, М. О. Костин // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 2 (44). – С. 64–75.
- Петров, А. В. Методи спектрального аналізу випадкових технологічних коливань напруги та струму фідера ТП постійного струму / А. В. Петров // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 34. – С. 77–80.
- Почаевец, Э. С. Эффективность рекуперации на участках равнинно-холмистого профиля / Э. С. Почаевец // Вестн. ВНИИЖТа. – 2000. – № 2. – С. 35–38.
- Пугачев, В. С. Введение в теорию вероятностей / В. С. Пугачев. – М. : Наука, 1968. – 368 с.
- Сулима, С. Д. Повышение эффективности рекуперативного торможения электровозов постоянного тока : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.09 / Сулима Станислав Дмитриевич ; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2001. – 20 с.
- Щербак, Я. В. Аналіз застосування рекуперативного гальмування на залізницях України / Я. В. Щербак, В. П. Нерубацький // Залізн. трансп. України. – 2011. – № 2. – С. 30–34.
- Czuchra, W. Zmienność napięcia w tramwajowej sieci trakcyjnej – próba oceny metodą statystyczną / W. Czuchra, A. Kobielski, J. Prusak // XI Ogólnopolska Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej SEMTRAK'2004. – Kraków-Zakopane, 2004. – P. 82–88.
- Kostin, M. Statistics and probability analysis of voltage on the pantograph of DC electric locomotive in the recuperation mode / Mykolay Kostin, Anatoliy Nikitenko // Przegląd Electrotechniczny. – 2013. – Vol. 2012, № 2a. – P. 273–275.
- Kostin, N. Stochastic Transient Electromagnetic Processes in Power Circuits of Electric Locomotive at a Sharp Change of Voltage on a Current Collector / N. Kostin, T. Mishenko, O. Reutskova // Modern Electric Traction in Integrated XXIst Century Europe (29.09-01.10.2005) : 7th Intern. Conf. – Warsaw, 2005. – P. 227–232.
- Mierzejewski, L. System zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego / L. Mierzejewski, A. Szełąg, M. Gałuszewski. – Warszawa : Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, 1989. – P. 110–115.
- Wojciech, C. Ocena energochłonności tramwajów z napędem asynchronicznym / Czuchra Wojciech, Janush Prusak, Waldemar Zajac // Modern Electric Traction in Integrated XXIst Century Europe (29.09-01.10.2005) : 7th Intern. Conf. – Warsaw, 2005. – P. 160–164.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

А. В. НИКИТЕНКО^{1*}, Н. А. КОСТИН¹^{1*}Каф. «Електротехніка і електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 37, ел. пошта nikitenko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0002-6426-5097¹Каф. «Електротехніка і електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 37, ORCID 0000-0002-0856-6397**ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ И КОРРЕЛЯЦИОННО-СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗЫ ТОКА РЕКУПЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Цель. В работе необходимо определить и проанализировать вероятностные и спектральные характеристики случайного процесса тока рекуперации электроподвижного состава постоянного тока разных типов. **Методика.** Используются элементы теории, методы и методики теории вероятностей, в частности, теория стационарных и нестационарных случайных процессов. Также применялись методы математической статистики с обработкой на персональных ЭВМ массивов значений случайной величины тока рекуперации. **Результаты.** Приведены часовые реализации тока рекуперации электровозов, электропоездов и трамваев, которые получены путем мониторинга на действующих участках железных дорог Украины. Установлено, что ток имеет характер непрерывных резкоизменяющихся, особенно у трамваев, временных колебаний. Определены функции математического ожидания, среднеквадратического отклонения и дисперсии случайного процесса тока рекуперации, построены гистограммы. Рассчитаны, построены и обсуждены корреляционные и спектральные функции тока. В результате установлено, что ток рекуперации может считаться стационарным неэргодическим процессом. Спектральный анализ реализаций этого процесса и «хвоста» корреляционной функции обнаружил «слабо» периодические, то есть низкочастотные, составляющие, которые называют интергармониками. **Научная новизна.** Во-первых, к анализу такого резкоизменяющегося случайного процесса, которым является ток, адаптировано теорию нестационарных случайных процессов. Во-вторых, впервые установлено наличие интергармоник в случайном процессе тока рекуперации. И, наконец, установлены закономерности временного изменения корреляционной функции процесса тока, что позволяет аргументировано применять метод корреляционных функций при идентификации устройств системы электрической тяги. **Практическая значимость.** Результаты вероятностно-статистического анализа тока рекуперации позволяют оценивать качество рекуперированной электрической энергии и энергетические показатели электроподвижного состава в режиме рекуперации. Тогда как корреляционно-спектральный анализ необходим при определении электромагнитной совместимости электроподвижного состава в режиме рекуперации с подсистемами и устройствами электрической тяги.

Ключевые слова: метод; случайный процесс; напряжение; ток; корреляционная функция; электрический транспорт; дисперсия; спектр; рекуперация

А. V. NIKITENKO^{1*}, М. О. KOSTIN¹^{1*}Dep. «Electrical Engineering and Electromechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician. V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 37, e-mail nikitenko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0002-6426-5097¹Dep. «Electrical Engineering and Electromechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician. V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 37, ORCID 0000-0002-0856-6397**STATISTIC, PROBABILISTIC, CORRELATION AND SPECTRAL ANALYSES OF REGENERATIVE BRAKING CURRENT OF DC ELECTRIC ROLLING STOCK**

Purpose. Defining and analysis of the probabilistic and spectral characteristics of random current in regenerative braking mode of DC electric rolling stock are observed in this paper. **Methodology.** The elements and methods of

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

the probability theory (particularly the theory of stationary and non-stationary processes) and methods of the sampling theory are used for processing of the regenerated current data arrays by PC. **Findings.** The regenerated current records are obtained from the locomotives and trains in Ukraine railways and trams in Poland. It was established that the current has uninterrupted and the jumping variations in time (especially in trams). For the random current in the regenerative braking mode the functions of mathematical expectation, dispersion and standard deviation are calculated. Histograms, probabilistic characteristics and correlation functions are calculated and plotted down for this current too. It was established that the current of the regenerative braking mode can be considered like the stationary and non-ergodic process. The spectral analysis of these records and “tail part” of the correlation function found weak periodical (or low-frequency) components which are known like an interharmonic. **Originality.** Firstly, the theory of non-stationary random processes was adapted for the analysis of the recuperated current which has uninterrupted and the jumping variations in time. Secondly, the presence of interharmonics in the stochastic process of regenerated current was defined for the first time. And finally, the patterns of temporal changes of the correlation current function are defined too. This allows to reasonably apply the correlation functions method in the identification of the electric traction system devices. **Practical value.** The results of probabilistic and statistic analysis of the recuperated current allow to estimate the quality of recovered energy and energy quality indices of electric rolling stock in the regenerative braking mode. But the correlation and spectral analysis is required to determine the electromagnetic compatibility of the electric rolling stock in the regenerative braking mode with the subsystems and the electric traction devices.

Keywords: method; stochastic process; voltage; current; correlation function; electric transport; dispersion; spectrum; recuperation

REFERENCES

1. Venttsel Ye.S. *Teoriya veroyatnostey* [The probability theory]. Moscow, Nauka Publ., 1969. 576 p.
2. Gaydukevich G.I. *Veroyatnostnaya obrabotka ostsillogramm elektricheskikh velichin* [Probabilistic processing of electrical quantities oscillograms]. Moscow, Energiya Publ., 1972. 112 p.
3. Kostin N.A. Reaktivnaya moshchnost v ustroystvakh sistem elektricheskoy tyagi [Reactance capacity in devices of electric operation systems]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 34, pp. 73-76.
4. Kostin M.O., Sheikina O.H. Oznaka naiavnosti obminnoi potuzhnosti v sylovykh elektrychnykh tiahovykh kolakh systemy postiinoho strumu [Interchange power indicators in the circles of DC power electric operation system]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 98-102.
5. Nikitenko A.V., Kostin M.O. Koreliatsiino-dispersiyni metod vyznachennia skladovykh povnoi potuzhnosti v prystroiakh elektrychnoho transportu [Correlation and dispersion method of components determination of full power in the electrical transport devices]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 2 (44), pp. 64-75.
6. Petrov A.V. Metody spektralnogo analizu vypadkovykh tekhnolohichnykh kolyvan napruhy ta strumu fidera TP postiinoho strumu [Spectral analysis methods of random process of voltage fluctuations and current feeder DC TP]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 34, pp. 77-80.
7. Pochayevets E.S. Effektivnost rekuperatsii na uchastkakh ravninno-kholmistogo profilya [Recuperation efficiency on plain and hilly profile]. *Vestnik VNIIZhTa – VNIIZhT Bulletin*, 2000, no. 2, pp. 35-38.
8. Pugachev V.S. *Vvedeniye v teoriyu veroyatnostey* [Introduction to probability theory]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 368 p.
9. Sulima S.D. *Povysheniye effektivnosti rekuperativnogo tormozheniya elektrovozov postoyannogo toka* [Effectiveness increase of regenerative braking of DC electric locomotive. Author's abstract]. Dnipropetrovsk, 2001. 20 p.
10. Shcherbak Ya.V. Analiz zastosuvannia rekuperatyvnoho halmuvannia na zaliznytsiakh Ukrainy [Analysis of the use of regenerative braking on the railways of Ukraine]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2011, no. 2, pp. 30-34.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

11. Czuchra W., Kobielski A., Prusak J. Zmienność napięcia w tramwajowej sieci trakcyjnej – próba oceny metodą statystyczną. XI Ogólnopolska Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej Semtrak'2004. Kraków-Zakopane, 2004. pp. 82-88.
12. Kostin Mykolay, Nikitenko Anatoliy. Statistics and probability analysis of voltage on the pantograph of DC electric locomotive in the recuperation mode. *Przegląd Electrotechniczny*, 2013, vol. 2012, no. 2a, pp. 273-275.
13. Kostin N., Mishenko T., Reutskova O. Stochastic Transient Electromagnetic Processes in Power Circuits of Electric Locomotive at a Sharp Change of Voltage on a Current Collector. Proc. of the 7th Intern. Conf. «Modern Electric Traction in Integrated XXIst Century Europe». Warsaw, 2005, pp. 227-232.
14. Mierzejewski L., Szelaż A., Gałuszewski M. System zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego. Warszawa: Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, 1989, pp. 110-115.
15. Wojciech Czuchra, Prusak Janush, Zając Waldemar. Ocena energochłonności tramwajów z napędem asynchronicznym. Proc. of the 7th Intern. Conf. «Modern Electric Traction in Integrated XXIst Century Europe». Warsaw, 2005, pp. 160-164.

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

Надійшла до редакції 26.02.2014

Прийнята до друку 14.04.2014

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 669:539.43:539.56

І. О. ВАКУЛЕНКО^{1*}, О. М. ПЕРКОВ², М. КНАПІНСЬКИЙ³, Д. М. БОЛОТОВА⁴

^{1*}Каф. «Технологія матеріалів», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-7353-1916

²Інститут чорної металургії НАН України, площа Стародубова, 1а, Дніпропетровськ, Україна, 49050, тел. +38 (056) 776 73 87, ел. пошта ukr_ichm@ukr.net

³Фак. «Технологія обробки матеріалів і прикладна фізика», Ченстоховський технологічний університет, вул. Армії Крайової, 19, Ченстохов, Польща, 42-200, тел. +48 34 325 07 90, ел. пошта knap@wip.pcz.pl

⁴Дніпропетровський професійний залізничний ліцей, провул. Універсальний, 7а, Дніпропетровськ, Україна, 49056, тел. +38 (056) 376 43 83, ел. пошта dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-7353-1949

ОЦІНКА НЕОБЕРНЕНОЇ УШКОДЖУВАНOSTІ ПРИ ВТОМІ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Мета. У дослідженні необхідно здійснити оцінку рівня ушкоджуваності вуглецевої сталі в умовах циклічного навантаження. **Методика.** Матеріалом для дослідження були сталі фрагменти ободу залізничного колеса й голівки рейки з хімічним складом 0,65 % С, 0,67 % Мп, 0,3 % Si, 0,027 % Р, 0,028 % S та 0,7 % С, 0,82 % Мп, 0,56 % Si, 0,025 % Р, 0,029 % S відповідно. Мікроструктура досліджуваних сталей відповідала стану металу після гарячої пластичної деформації. Дослідження на втомі проводили в умовах симетричного згину на випробувальній машині типу «Сатурн-10». Будуvalи повні діаграми Велера та лінії, що відповідають формуванню суб- та мікротріщин. Аналіз розподілу внутрішніх напружень у металі при циклічному навантаженні проводили з використанням мікротвердоміра типу ПМТ-3. **Результати.** На основі аналізу кривих втоми високовуглецевих сталей були визначені положення меж, що розділяють області оберненої та необерненої ушкоджуваності при циклічному навантаженні. У роботі показано, що з ростом концентрації вуглецю в сталі, за умов незмінності її структурного стану, спостерігається підвищення межі втоми. Разом із цим спостерігається прискорення процесів, що визначають умови переходу від етапу формування субмікротріщин до мікротріщин. Дослідженнями розподілу мікротвердості в металі після руйнування при втомі підтверджено характер впливу кількості вуглецю в сталі. **Наукова новизна.** Незалежно від етапів формування осередку руйнування характер поведінки вуглецевих сталей при втомі визначається співвідношенням між процесами зміцнення й пом'якшення. При циклічному навантаженні виникаюча неоднорідність розподілу внутрішніх напружень зменшується зі збільшенням відстані поверхні руйнування. Аналіз процесів внутрішньої перебудови при втомі дозволив визначити, що на етапах до початку інкубаційного періоду в мікроб'ємах металу вже присутні осередки з неоднорідним розташуванням дефектів кристалічної будови та, у першу чергу, дислокацій. **Практична значимість.** Збільшення вмісту вуглецю від 0,65 до 0,70 %, за умов циклічного навантаження вуглецевої сталі зі структурою пластинкового перліту, супроводжується збільшенням межі міцності при втомі приблизно на 40 %. Збільшення вмісту вуглецю в сталі прискорює перехід від етапу формування обернених ушкоджень внутрішньої будови до необернених, що підтверджується зростанням кутового коефіцієнту кривих Френча.

Ключові слова: міцність при втомі; вуглець; тріщина; витривалість; ушкоджуваність

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Вступ

На основі численних досліджень визначено, що циклічне деформування призводить до окрихлення металевих матеріалів [1, 9]. Наведена тенденція зумовлена формуванням, на визначених етапах навантаження, ушкоджень внутрішньої будови металу. Так в роботах [4, 10] показано, що збільшення кількості циклів навантаження супроводжується неодмінним зниженням опору зростанню магістральної тріщини. Одне з пояснень наведеного положення – це формування мікротріщин та їх коалесценція [3, 5].

Мета

Мета роботи – оцінювання рівня ушкоджуваності вуглецевої сталі в умовах циклічного навантаження.

Методика

Як матеріал для досліджень були використані сталі фрагментів ободу залізничного колеса і голівки рейки з хімічним складом 0,65 % C, 0,67 % Mn, 0,3 % Si, 0,027 % P (сталь I), 0,028 % S та 0,7 % C, 0,82 % Mn, 0,56 % Si, 0,025 % P, 0,029 % S (сталь II) відповідно. Мікроструктура досліджуваних сталей відповідала стану металу після гарячої пластичної деформації.

Дослідження на втому виконували в умовах симетричного згину на випробувальній машині типу «Сатурн-10». Попередньо будувалися повні діаграми Велера та лінії за методиками [2, 5], що відповідали формуванню суб- та мікротріщин.

Аналіз розподілу внутрішніх напружень в металі при циклічному навантаженні виконували з використанням мікротвердоміра типу ПМТ-3.

Під час збільшення інтенсивності циклічного навантаження або кількості циклів, спостерігається послідовний перехід металу у крихкий стан. Одне з пояснень наведеного впливу – це підвищення опору руху дислокацій за рахунок зростання напруження тертя кристалічної решітки металу в результаті напружень, які циклічно змінюються [1, 7, 10].

Враховуючи, що сам процес втоми супроводжується цілком закономірними змінами внутрішньої будови, було запропоновано до діаграми Велера будувати додаткові лінії, які відповідають процесам формування суб- та мікротрі-

щин (рис. 1) [5, 10]. Зумовлене це тим, що загальмовані дислокації сприяють формуванню субмікротріщин, які в свою чергу виконують функції концентраторів напружень. Перетворення субмікротріщин в мікротріщини є остаточним етапом необерненості процесу руйнування металу.

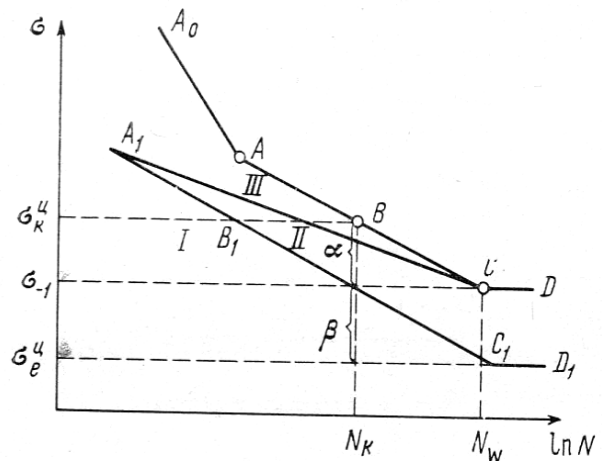


Рис. 1. Загальний вигляд діаграми циклічного навантаження металевих матеріалів:

A_0ABCD – лінія руйнування, $A_1B_1C_1D_1$ – лінія формування субмікротріщин; A_1C – лінія формування мікротріщин, в літературі ще називають лінією Френча

Fig. 1. General view of cyclic loading diagram of metal material:

A_0ABCD – is a fracture line; $A_1B_1C_1D_1$ – is a line of submicrocracks formation; A_1C – is a line of microcracks formation, in the literature it is also called French line

Таким чином, сумісний аналіз трьох кривих циклічного навантаження дає можливість послідовно оцінювати умови і етапи циклічного навантаження.

За характером співвідношення між амплітудою циклічного навантаження і кількістю циклів, загальну криву розділяють в основному на три ділянки. I – область інкубаційного періоду; II – розрихлення металу на рівні мікрооб'ємів (формування субмікротріщин); III – зростання мікротріщин до критичного розміру (рис. 1) [8, 11].

На підставі запропонованого підходу кожному періоду процесу втоми відповідають цілком закономірні зміни внутрішньої будови, які в свою чергу обумовлюють характер накопичення необернених пошкоджень в металевих матеріалах [10, 12].

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Результати

В процесі циклічного навантаження енергія, яка необхідна для формування осередку руйнування, визначається дією декількох чинників [11]. Але тільки дві складові мають виключне значення. Перша складова забезпечує досягнення критичного значення викривлень кристалічної решітки в локальних мікрооб'ємах металу. Друга – визначає рівень діючих напружень для розриву міжатомних зв'язків в металевому кристалі.

На рис. 2 зображені діаграми циклічного навантаження досліджуваних сталей. Відповідно до графічного зображення кривих циклічного навантаження (рис. 1), для досліджуваних сталей визначали характеристики α і β . Так, величина α характеризує напруження, яке повинно бути досягнуте для розриву міжатомних зв'язків в металі.

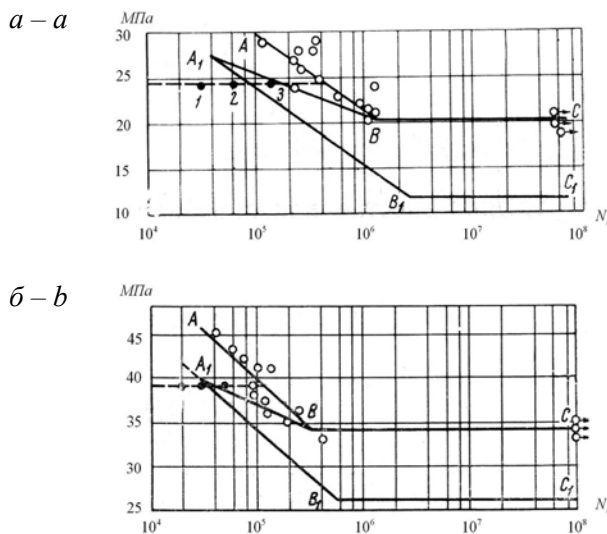


Рис. 2. Діаграми циклічного навантаження сталей I (а) і II (б). Лінії:

ABC – крива Велера, $A_f B_f C_f$ – формування субмікротріщин, $A_f B C$ – формування мікротріщин.

Fig. 2. Cyclic loading diagram of the steels I (a) and II (b). Lines:

ABC – is a Wehler curve, $A_f B_f C_f$ – is a submicrocracks formation, $A_f B C$ – is a micr cracks formation.

Наведена характеристика оцінюється за співвідношенням:

$$\alpha = \sigma_k^u - \sigma_{-1}, \quad (1)$$

де σ_{-1} – межа міцності при втомі (максимальне значення амплітуди циклічного навантаження при досягненні умов необмеженої витривалості), σ_k^u – деяке критичне значення амплітуди циклу.

Наведену характеристику слід розглядати як величину обмеженої витривалості, з відповідним значенням кількості циклів до руйнування зразка (N_k).

Таким чином слід вважати, що величина α визначає різницю: наскільки повинна амплітуда навантаження перебільшувати межу міцності при втомі, щоб за декілька циклів були досягнені умови необерненого порушення суцільності в мікрооб'ємі металевому матеріалу.

Друга величина β (рис. 1) також характеризує напруження, але яке необхідне для досягнення критичного значення викривлень кристалічної решітки в локальних мікрооб'ємах металу. Наведена характеристика оцінюється через залежність:

$$\beta = \sigma_{-1} - \sigma_e^u, \quad (2)$$

де σ_e^u – амплітуда циклічного навантаження за умов відсутності пластичної складової в деформації за цикл. За співвідношенням (2) величина β показує, наскільки необхідно підвищити амплітуду навантаження, щоб досягти критичного значення викривлень кристалічної решітки.

В ході виконаних досліджень з'ясовано, що в процесі циклічного навантаження вже при амплітуді, яка дорівнює σ_{-1} , у визначеній кількості мікрооб'ємів, після N_k циклів досягаються умови початку руйнування металу [5, 11]. Під час випробувань виявлено, що напруження α і β для більшості вуглецевих, низько- та складно-легованих сталей є приблизно однакового рівня і складають значення 85 і 65 МПа відповідно [10].

Для аналізу діаграм циклічного навантаження досліджуваних сталей (рис. 2) були використані відповідні значення величин α і β . Так, межа міцності при втомі для сталі I (0,65 % C) склала значення 200 МПа, а для сталі II (0,7 % C) – 340 МПа. З урахуванням величин α і β , були побудовані відповідні криві A_f , B_f , C_f та визначені значення N_k , які дорівнювали $4 \cdot 10^5$ для

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

сталі I і $3 \cdot 10^5$ циклів для сталі II. Таким чином, збільшення концентрації вуглецю лише на 0,05 %, при практично незмінному структурному стані металу, призвело до зниження величини N_k приблизно на 25 %. З іншого боку, для сталі II суттєво підвищилася величина σ_k'' . Порівняно зі сталлю I, наведена характеристика (для сталі II) склала значення приблизно на 40 % вище (380 МПа).

a – a



б – б

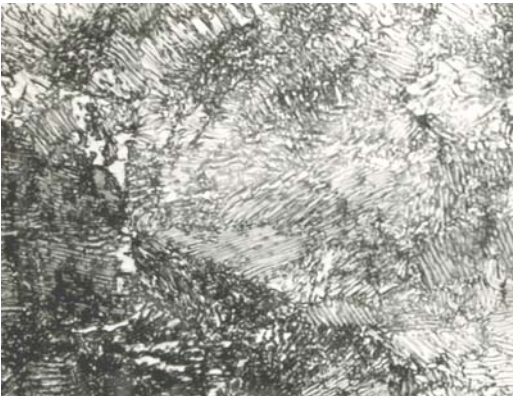


Рис. 3. Мікроструктура сталі I (а) і сталі II (б).
Збільшення 800

Fig. 3. Microstructure of steel I (a) and II (b).
Increase 800

Однак, не зважаючи на більш високе критичне значення напруження циклу (σ_k''), збільшення кількості вуглецю в сталі повинно прискорювати перехід від однієї області розвитку процесів втоми до іншої (від стадії формування субмікротріщин до мікротріщин). Дійсно оцінка тангенса кута нахилу кривих Френча підтверджує наведене положення. Для сталі I зазначена характеристика склала значення $5,5 \cdot 10^{-5}$, в той час як для сталі з підвищеним вмістом вуглецю – $6,1 \cdot 10^{-5}$ МПа/цикл.

Мікроструктурними дослідженнями для низьковуглецевої сталі визначено, що для межі переходу від оберненої до необерненої ушкоджуваності (від стадії II до III за схемою рис. 1), характерною ознакою є виникнення, в межах окремих зерен структурно вільного фериту, грубих стрічок ковзання [8, 17]. З урахуванням дуже малої об'ємної частки структурно вільного фериту і достатньо дисперсної структури перліту в досліджуваних сталях (рис. 3), виявити такі стрічки ковзання з аналізу мікроструктури достатньо складно [16, 17]. Дійсно, якщо аналогічні стрічки ковзання виникають при розвитку процесів втоми у високовуглецевих сталях, їх існування може бути виявлено по формуванням немонотонностей в розподілі характеристик міцності в мікроб'ємах металу [8].

σ_1 , МПа

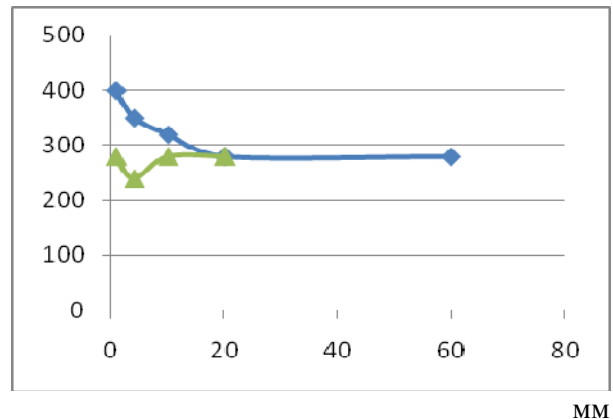


Рис. 4. Критичні значення σ_1 залежно від відстані поверхні руйнування (максимальні – ◆ і мінімальні – ▲)

Fig. 4. Critical values σ_1 depending on the distance from fracture surface (maximum – ◆ and minimal – ▲).

З метою визначення підтверджень про існування вказаних стрічок ковзання в досліджуваних сталях при розвитку процесів втоми, була застасована методика вимірювання мікротвердості. Вимірювання виконувалися на різній відстані від поверхні руйнування зразка після циклічного навантаження. З урахуванням існування лінійного характеру залежності остаточних напружень від поверхні руйнування зразка, був зроблений розрахунок номінального напруження в точці вимірювання мікротвердості (H_μ).

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Розрахунок виконували за співвідношенням:

$$H_{\mu} = f(\sigma_1, N), \quad (3)$$

де σ_1 – розраховані напруження в точці вимірювання H_{μ} зразка (рис. 4). Характер розподілу мікротвердості вздовж зразка наведено на рис. 5. Аналіз залежності вказує на існування декількох ділянок, з екстремальною зміною H_{μ} . При цьому, в міру віддалення від поверхні руйнування, різниця між максимальними (E, C, A) і відповідними мінімальними (F, D, B) значеннями мікротвердості зменшується. Наведені результати слід розглядати як підтвердження різного ступеня накопичення обернених (субмікротріщин) і необернених (мікротріщин) ушкоджень металу, залежно від відстані поверхні руйнування.

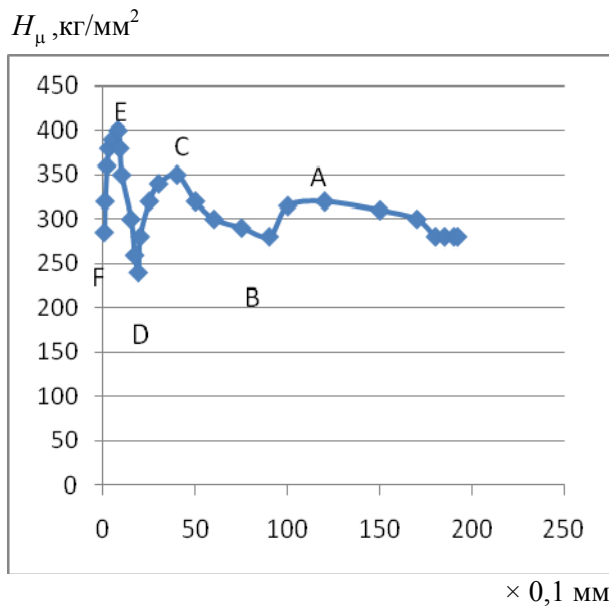


Рис. 5. Залежність H_{μ} від відстані поверхні руйнування для зразка сталі II

Fig. 5. Dependence H_{μ} on the distance from the fracture surface of the steel specimen II

Так, при амплітудах циклу 270–280 МПа (за даними рис. 2, б, відповідно т. V_1), досягаються умови накопичення дефектів кристалічної будови (в першу чергу дислокацій) до максимально припустимої межі [13, 15]. Незначні перебільшення указаного значення діючих напружень, призводять до початку надмірного зростання кількості виникаючих дефектів, що

сприяє в свою чергу досягнення ефекту зміцнення (т. A , рис. 5).

З іншого боку, переміщення дислокацій по кристалографічних системах ковзання, що розташовуються під визначеним кутом між собою, буде призводити до взаємного гальмування і, як наслідок, до зародження субмікротріщини [6, 8]. В результаті такого процесу наступні виходи дислокацій на внутрішню поверхню сформованої субмікротріщини можуть розглядатися як акти анігіляції. Необернений за своїм характером процес виходу дислокацій на вільну поверхню [7] супроводжується прогресуючим зниженням густини накопичених дислокацій і цілком зрозумілим ефектом пом'якшення металу (т. B , рис. 5).

Більше цього, з аналізу характеру розподілу мікротвердості можна визначати інтервали зміни амплітуди циклічного навантаження, за якими буде спостерігатися перебільшення одного процесу над іншим. Дійсно, якщо для діючих напружень в т. B , з координатами σ_a^B , N^B (рис. 2, б) незначні перебільшення рівня σ_a^B призведуть до початку формування мікротріщин (лінія A_1, B), то умови розвитку процесів зміцнення можуть бути записані у вигляді: $\sigma_a^B < \sigma_a < \sigma_a^C$ (рис. 5). Перевищення амплітудою навантаження значення σ_a^C призведе до прискореного зростання кількості мікротріщин, що на кривій зміни мікротвердості буде відповідати умовам розвитку процесів пом'якшення металу.

Таким чином, стає зрозумілим за рахунок яких процесів при циклічному навантаженні відбувається формування в мікрооб'ємах металу ділянок з визначеним градієнтом внутрішніх напружень.

Вважаючи, що максимальний рівень діючих напружень повинен досягатися в мікрооб'ємах поблизу із зростаючою магістральною тріщиною, баланс між процесами зміцнення і пом'якшення може бути відображений по значеннях мікротвердості. В міру наближення до поверхні руйнування, слід очікувати зростання внутрішніх напружень в металі, сформованих при циклічному навантаженні. В дійсності наведене припущення цілком підтверджується характером зміни мікротвердості (рис. 5). Так, для об'ємів металу на відстанях 0,8–1 мм, визначе-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

ний максимум на залежності H_μ (т. E , рис. 5) за рівнем значень суттєво перебільшує мікротвердість більш віддалених ділянок. З іншого боку, найближчий екстремум на кривій « H_μ – відстань» (т. D , рис. 5), відповідає абсолютним мінімальним значенням.

Таким чином, можна однозначно визначити, що найбільш сприятливі умови для зародження осередку руйнування при циклічному навантаженні будуть в тому місці, де розвиток процесів зміцнення і пом'якшення призведе до виникнення максимального градієнту напружень.

Враховуючи, що градієнт внутрішніх напружень може характеризуватися рівнем мікротвердості, оцінимо градієнт H_μ (M) для різних об'ємів металу. Для визначення величини M на ділянці між т. E і D , скористаємося співвідношенням:

$$M = \frac{H_\mu^E - H_\mu^D}{l_E - l_D}, \quad (4)$$

де H_μ^E , H_μ^D – відповідні значення мікротвердості для точок E і D , і відстаней від поверхні руйнування l_E , l_D . Після підстановки відповідних значень характеристик, які входять до співвідношення (4), були вираховані значення M . Для ділянки $E - D$, градієнт мікротвердості склав значення 1 333 МПа/мм. Для більш віддалених областей вказана характеристика знижується і дорівнює для $C - B$ 126 МПа/мм, а для останньої ділянки (A – основний метал) лише 40 МПа/мм. Таким чином при циклічному навантаженні вже на етапах, далеких до початку інкубаційного періоду, в мікрооб'ємах можна спостерігати формування осередків з неоднорідним розташуванням дефектів кристалічної будови і, в першу чергу, дислокацій [8, 10]. Враховуючи, що рухомість дислокацій значною мірою залежить від стану твердого розчину [14], взаємодія дислокацій з атомами вуглецю може мати визначений вплив на розвиток процесів зміцнення при втомі. Дійсно, циклічна зміна діючих напружень в системі ковзання дислокації може мати додатковий вплив від вигляду силового поля дислокації [15]. Залежно від умов і напрямку її руху, зміна параметрів асиметрії енергетичного бар'єру у більшості випадків має непередбачуваний ефект, що вно-

сить додаткові труднощі в прогнозуванні поведінки металевих матеріалів при втомі.

Експериментально виявлені зміни в дислокаційній чарунковій структурі холоднокатаної вуглецевої сталі і відповідне її пом'якшення після декількох циклів знакозмінного згину [9] може розглядатися як якісне підтвердження отриманих результатів при випробуваннях досліджуваних сталей.

При вимірюванні мікротвердості було визначено, що наближення до поверхні руйнування зразка після т. E супроводжується монотонним зниженням значень H_μ (рис. 5).

Порівняльний аналіз мікротвердості для т. F і на відстані більшій ніж 40 мм від поверхні руйнування, вказує на практичне дорівнювання абсолютних значень. На підставі цього, можна вважати, що стан металу на поверхні руйнування за характеристиками міцності залишається незмінним, як до початку циклічного навантаження. Якщо враховувати, що для початкових умов зростання тріщини втомі в металі поблизу її гирла реалізується об'ємно напружений стан, то на визначеній відстані можна спостерігати розвиток процесів зміцнення. На етапах прискореного або неконтрольованого зростання в гирлі тріщини формується плоско деформований стан. На підставі цього, після завершення формування поверхні руйнування рівень напружень, який був необхідним для зростання тріщини, буде сприяти руху дислокацій у напрямку вільної поверхні (поверхні руйнування). Підвищеному рівню внутрішніх напружень буде відповідати певна накопичена внутрішня енергія металу. З урахуванням спрямування рушійних сил в напрямку зниження накопиченої енергії, переміщення визначеної кількості дислокацій в напрямку вільної поверхні призведе до цілком закономірного зниження внутрішніх напружень, за рахунок анігіляції дефектів кристалічної будови.

Наукова новизна та практична значимість

Не залежно від етапів формування осередку руйнування, характер поведінки вуглецевих сталей при втомі визначається співвідношенням між процесами зміцнення і пом'якшення.

При циклічному навантаженні виникаюча неоднорідність розподілу внутрішніх напружень

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

зменшується залежно від відстані поверхні руйнування.

Аналіз процесів внутрішньої перебудови при втомі дозволив визначити, що вже на етапах до початку інкубаційного періоду, в мікроб'ємах металу вже присутні осередки з неоднорідним розташуванням дефектів кристалічної будови і, в першу чергу, дислокацій.

Збільшення вмісту вуглецю від 0,65 до 0,70 %, за умов циклічного навантаження вуглецевої сталі з структурою пластинкового перліту, супроводжується збільшенням межі міцності при втомі приблизно на 40 %.

Збільшення вмісту вуглецю в сталі прискорює перехід від етапу формування обернених ушкоджень внутрішньої будови до необернених, що підтверджується зростанням кутового коефіцієнта кривих Френча.

Висновки

1. За умов циклічного навантаження для вуглецевих сталей з пластинковою структурою карбідної фази збільшення вмісту вуглецю від 0,65 до 0,70 % супроводжується зростанням межі міцності при втомі на 40 %.

2. Збільшення відстані від поверхні руйнування металу супроводжується порушенням співвідношення між процесами зміцнення і пом'якшення. При цьому, вплив процесів деформційного зміцнення зменшується, а пом'якшення – зростає.

3. При незмінному структурному стані вуглецевої сталі зростання вмісту вуглецю супроводжується прискоренням розвитку процесів руйнування при циклічному навантаженні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабич, В. К. Деформационное старение стали / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М. : Металлургия, 1972. – 320 с.
2. Бернштейн, М. Л. Механические свойства металлов / М. Л. Бернштейн, В. А. Займовский. – М. : Металлургия, 1979. – 495 с.
3. Вакуленко, І. О. Дослідження етапів зародження та зростання тріщин при натурному випробуванні на втомленість / І. О. Вакуленко, М. А. Грищенко, О. М. Перков // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – Вип. 21. – С. 266–268.
4. Вакуленко, І. О. Про взаємозв'язок структурних перетворень при втомі вуглецевої сталі

- з особливостями будови поверхонь руйнування / І. О. Вакуленко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 32. – С. 242–245.
5. Иванова, В. С. Ускоренный метод построения линии Френча с применением энергетических критериев усталости / В. С. Иванова, Т. С. Марьяновская, В. Ф. Терентьев // Завод. лаб. – 1966. – № 2. – С. 225–228.
6. Коттрелл, А. Х. Дислокации и пластическое течение в кристаллах / А. Х. Коттрелл. – М. : Металлургиздат, 1958. – 255 с.
7. Нотт, Дж. Ф. Основы механики разрушения / Дж. Ф. Нотт. – М. : Металлургия, 1978. – 256 с.
8. Серенсен, С. В. Сопротивление материалов усталостному и хрупкому разрушению / С. В. Серенсен. – М. : Атомиздат, 1975. – 192 с.
9. Трошенко, В. Т. Усталость и неупругость металлов / В. Т. Трошенко. – К. : Наукова думка, 1971. – 267 с.
10. Усталость и хрупкость металлических материалов / В. С. Иванова, С. Е. Гуревич, И. М. Коптев и др. – М. : Наука, 1968. – 216 с.
11. Шур, Е. А. Методика определения «живучести» при испытании на циклический изгиб / Е. А. Шур, С. А. Колотушкин // Завод. лаб. – 1969. – Т. XXXV, № 6. – С. 728–730.
12. Atkinson, J. D. The Work – hardening of Copper – Silica: IV. The Bauschinger Effect and Plastic Relaxation / J. D. Atkinson, L. M. Brown, W. B. Stobs // Philosophical Magazine. – 1974. – Vol. 30, № 6. – P. 1247–1280.
13. Hollomon, John H. Tensile Deformation / John H. Hollomon // AIME. – 1945. – Vol. 162. – P. 268–290.
14. Holzman, M. Determination of Friction stress in BCC polycrystals / M. Holzman, J. Man // J. of the Iron and Steel Inst. – 1966. – Vol. 204, № 3. – P. 230–234.
15. Li, J. C. M. Consequence of asymmetric energy barriers to dislocation motion / J. C. M. Li // Acta Met. – 1970. – Vol. 18, № 10. – P. 1099–1105.
16. Pickard, S. M. Strain – ageing behavior of fatigued Fe-N-C alloys / S. M. Pickard // Acta Met. – 1990. – Vol. 38, № 3. – P. 397–401.
17. Vakulenko, I. A. Effect of the morphology and size of iron carbide on the fatigue strength of carbon steels / I. A. Vakulenko, O. N. Perkov // Russian Metallurgy. – 2008. – Vol. 2008, № 3. – P. 225–228.

И. О. ВАКУЛЕНКО^{1*}, О. Н. ПЕРКОВ², М. КНАПІНСКИ³, М. БОЛОТОВА⁴

^{1*}Каф. «Технология материалов», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, эл. почта dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-7353-1916

²Институт черной металлургии НАН Украины, площадь Стародубова, 1а, Днепропетровск, Украина, 49050, тел. +38 (056) 776 73 87, эл. почта ukr_ichm @net

³Фак. «Технология обработки материалов и прикладная физика», Ченстоховский технологический университет, ул. Армии Краевой, 19, Ченстохов, Польша, 42-200, тел. +48 34 325 07 90, эл. почта knap@wip.pcz.pl

⁴Днепропетровский профессиональный железнодорожный лицей, пер. Универсальный, 7а, Днепропетровск, Украина, 49056, тел. +38 (056) 376 43 83, эл. почта dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-7353-1949

ОЦЕНКА НЕОБРАТИМОЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ПРИ УСТАЛОСТИ УГЛЕРОДНОЙ СТАЛИ

Цель. В исследовании необходимо осуществить оценку уровня повреждаемости углеродной стали в условиях циклического нагружения. **Методика.** Материалом для исследования служили фрагменты обода железнодорожного колеса и головки рельса с химическим составом 0,65 % С, 0,67 % Мн, 0,3 % Si, 0,027 % Р, 0,028 % S и 0,7 % С, 0,82 % Мн, 0,56 % Si, 0,025 % Р, 0,029 % S соответственно. Микроструктура исследуемых сталей соответствовала состоянию металла после горячей пластической деформации. Исследования на усталость проводили в условиях симметричного изгиба на испытательной машине типа «Сатурн-10». Строили полные диаграммы Велера и линии, которые отвечают формированию суб- и микротрещин. Анализ распределения внутренних напряжений в металле при циклическом нагружении осуществляли с использованием микротвердомера типа ПМТ-3. **Результаты.** На основе анализа кривых усталости высокоуглеродистых сталей были определены положения границ, которые разделяют области обратимой и необратимой повреждаемости. В работе показано, что с ростом концентрации углерода в стали, при неизменности структурного состояния, наблюдается повышение предела усталости. Вместе с этим происходит ускорение процессов, которые определяют условия перехода от этапа формирования субмикротрещин к микротрещинам. Исследованиями распределения микротвердости в металле после разрушения подтвержден характер влияния количества углерода на характеристики усталости стали. **Научная новизна.** Независимо от этапов формирования очага разрушения характер поведения углеродных сталей при усталости определяется соотношением между процессами упрочнения и разупрочнения. При циклическом нагружении возникающая неоднородность распределения внутренних напряжений уменьшается с ростом расстояния от поверхности разрушения. Анализ процессов внутренней перестройки металла при усталостном нагружении позволил определить, что на этапах до начала инкубационного периода в микрообъемах металла уже присутствуют ячейки с неоднородным расположением дефектов кристаллического строения и, в первую очередь, дислокаций. **Практическая значимость.** Увеличение содержания углерода от 0,65 до 0,70 %, в условиях циклического нагружения стали со структурой пластинчатого перлита, сопровождается увеличением усталостной прочности приблизительно на 40 %. Прирост содержания углерода в стали ускоряет переход от этапа формирования обратимых повреждений внутреннего строения к необратимым, что подтверждается увеличением углового коэффициента кривых Френча.

Ключевые слова: прочность при усталости; углерод; трещина; выносливость; повреждаемость

I. O. VAKULENKO^{1*}, O. N. PERKOV², M. KNAPINSKI³, D. M. BOLOTOVA⁴

^{1*}Dep. «Materials Technology», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 56, e-mail dnuzt_textmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-7353-1916

²Iron and Steel Institute NAN of Ukraine, Starodubov Sq., 1a, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49050, tel. +38 (056) 776 73 87, e-mail ukr.ichm@net

³Fac. «Materials Processing Technology and Applied Physics», Czestochowa University of Technology, Armi Krajowej St., 19, Czestochowa, Poland, 42-200, tel. +48 34 325 07 90, e-mail knap@wip.pcz.pl

⁴Dnipropetrovsk Professional Railway Lyceum, Universalnyi Lane, 7a, Ukraine, 49056, tel. +38 (056) 376 43 83, e-mail dnuzt_textmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-7353-1949

ESTIMATION OF IRREVERSIBLE DAMAGEABILITY AT FATIGUE OF CARBON STEEL

Purpose. Damageability estimation of carbon steel in the conditions of cyclic loading. **Methodology.** The steel fragments of railway wheel rim and rail head served as material for research with chemical composition 0.65 % C, 0.67 % Mn, 0.3 % Si, 0.027 % P, 0.028 % S и 0.7 % C, 0.82 % Mn, 0.56 % Si, 0.025 % P, 0.029 % S accordingly. The microstructure of tested steels corresponded to the state of metal after a hot plastic deformation. The fatigue research was conducted in the conditions of symmetric bend using the proof-of-concept machine of type «Saturn-10». Full Wohler diagrams and the lines corresponding to forming of sub-and micro cracks were constructed. The distribution analysis of internal stresses in the metal under cyclic loading was carried out using the microhardness tester of PMT-3 type. **Findings.** On the basis of fatigue curves for high-carbon steels analysis the positions of borders dividing the areas of convertible and irreversible damages were determined. The article shows that with the growth of carbon concentration in the steel at invariability of the structural state an increase of fatigue limit is observed. At the same time the acceleration of processes, which determine transition terms from the stage of forming of submicrocracks to the microcracks occurs. The research of microhardness distribution in the metal after destruction confirmed the nature of carbon amount influence on the carbon steel characteristics. **Originality.** Regardless on the stages of breakdown site forming the carbon steels behavior at a fatigue is determined by the ration between the processes of strengthening and softening. At a cyclic loading the heterogeneity of internal stresses distribution decreases with the increase of distance from the destruction surface. Analysis of metal internal restructuring processes at fatigue loading made it possible to determine that at the stages prior to incubation period in the metal microvolumes the cells are already exist with inhomogeneous position of crystalline structure defects and, primarily, dislocations. **Practical value.** Increase of carbon content from 0.65 to 0.7%, in the conditions of cyclic loading of steel with the structure of lamellar pearlite is accompanied by the fatigue durability increase approximately on 40%. The increase of carbon content in steel accelerates transition from the stage of forming the convertible damages of internal structure to irreversible ones that is confirmed by the increase of angular coefficient of French curves.

Keywords: strength at a fatigue; carbon; crack; endurance; damageability

REFERENCES

1. Babich V.K., Gul Yu.P., Dolzhenkov I.Ye. *Deformatsionnoye starenie stali* [Strain aging of the steel]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1972. 320 p.
2. Bernshteyn M.L., Zaymovskiy V.A. *Mekhanicheskiye svoystva metallov* [Mechanical properties of metals]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1979. 495 p.
3. Vakulenko I.O., Hryshchenko M.A., Perkov O.M. Doslidzhennia etapiv zarodzhennia ta zrostannia trishchyn pry naturnomu vyprobuvanni na vtomlenist [Research of the stages of nucleation and growth of cracks in full-scale tests on fatigue]. *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 21, pp. 266-268.
4. Vakulenko I.O. Pro vzaiemozviazok strukturnykh peretvoren pry vtomi vuhletsevoi stali z osoblyvostiamy budovy poverkhon ruinuвання [On the interrelation of structural transformations with fatigue of carbon steel with structure features of the break surfaces]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 32, pp. 242-245.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

5. Ivanova V.S., Maryanovskaya T.S., Terentyev V.F. Uskorennyy metod postroyeniya linii Frencha s primeneniym energeticheskikh kriteriyev ustalosti [Accelerated method of French line construction using the energy criteria of fatigue]. *Zavodskaya laboratoriya – Factory Laboratory*, 1966, no. 2, pp. 225-228.
6. Kottrell A.Kh. *Dislokatsii i plasticheskoye techeniye v kristallakh* [Dislocations and plastic flow in crystals]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1958. 255 p.
7. Nott Dzh. *Osnovy mekhaniki razrusheniya* [Foundations of the fracture mechanics]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1978. 256 p.
8. Serensen S.V. *Soprotivleniye materialov ustalostnomu i khrupkomu razrusheniyu* [Materials resistance to fatigue and brittle fracture]. Moscow, Atomizdat Publ., 1975. 192 p.
9. Troshchenko V.T. *Ustalost i neuprugost metallov* [Metal fatigue and inelasticity]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1971. 267 p.
10. Ivanova V.S., Gurevich S.Ye., Koptev I.M. *Ustalost i khrupkost metallicheskih materialov* [Fatigue and brittleness of metallic materials]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 216 p.
11. Shur Ye.A., Kolotushkin S.A. Metodika opredeleniya «zhivuchesti» pri ispytanii na tsiklicheskiy izgib. *Zavodskaya laboratoriya – Factory Laboratory*, 1969, vol. XXXV, no. 6, pp. 728-730.
12. Atkinson J.D. The Work – hardening of Copper – Silica: IV. The Bauschinger Effect and Plastic Relaxation. *Philosophical Magazine*, 1974, vol. 30, no. 6, pp. 1247-1280.
13. Hollomon John H. Tensile Deformation. *AIME*, 1945, vol. 162, pp. 268-290.
14. Holzman M., Man J. Determination of Friction stress in BCC polycrystals. *Journal of the Iron and Steel Institute*, 1966, vol. 204, no. 3, pp. 230-234.
15. Li J.C.M. Consequence of asymmetric energy barriers to dislocation motion. *Acta Metallurgica*, 1970, vol. 18, no. 10, pp. 1099-1105.
16. Pickard S.M. Strain – ageing behavior of fatigued Fe-N-C alloys. *Acta Metallurgica*, 1990, vol. 38, no. 3, pp. 397-401.
17. Vakulenko I.A., Perkoy O.N. Effect of the morphology and size of iron carbide on the fatigue strength of carbon steels. *Russian Metallurgy*, 2008, no. 3, pp. 225-228.

Стаття рекомендована до публікації к.т.н., доц. Л. І. Котовою (Україна); к.т.н., доц. О. О. Чайковським (Україна)

Поступила до редакції 10.03.2014

Прийнята до друку 25.04.2014

УДК 669.715:621.7

Н. Є. КАЛІНІНА¹, С. І. МАМЧУР¹, К. О. МУСІНА^{1*}, М. В. ГРЕКОВА¹,
Т. К. ЛОПАТКІНА¹

¹*Каф. «Технології виробництва», Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, Дніпропетровськ, Україна, 49050, тел. +38 (063) 385 23 48, ел. пошта musina.ekaterina.alexsandrovna@yandex.ua, ORCID 0000-0002-7671-0637

¹Каф. «Технології виробництва», Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, Дніпропетровськ, Україна, 49050, тел. +38 (063) 385 23 48

ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВОК ІЗ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ АК6

Мета. У роботі необхідно здійснити обґрунтування матеріалу та способу термічної обробки алюмінієвого сплаву для виготовлення деталі типу «плита» на основі результатів дослідження мікроструктури та механічних властивостей; розробити технологічний процес виготовлення заготовок із алюмінієвого сплаву АК6. **Методика.** Матеріалом для дослідження був порошковий сплав на основі алюмінію типу АК6. Готові поковки розміром 2 520×1 520×65 мм отримували в результаті підготовки заготовки та її кування. Після механічної обробки заготовки піддавалися термічній обробці та фрезеруванню. Структуру металу досліджували під світловим мікроскопом МІМ-8М. В якості характеристики міцності сплаву була використана твердість за Брінеллем. **Результати.** Проведено аналіз впливу легуючих елементів на структуру деформованих алюмінієвих сплавів. Виконано дослідження впливу режимів термічної обробки на структуру та властивості сплаву АК6. Запропоновано удосконалений технологічний процес, який дозволив отримати деталь із поліпшеною структурою та властивостями, а також меншою собівартістю. **Наукова новизна.** Проведено випробування зразків порошкового сплаву АК6 на вогнестійкість. Встановлено, що при нагріванні зразка в окислювальному полум'ї він не запалюється до температури 705 °С. Встановлено причину високої вогнестійкості зразків сплаву АК6, що пов'язано з наявністю в матеріалі рівномірно розподілених, дрібних оксидних включень та аморфної оксидної плівки на поверхні. **Практична значимість.** Жорсткі умови праці (корозія в морській та промисловій атмосфері, статичні та ударні навантаження, циклічні температури) дозволяють використовувати деталь у різноманітних конструкціях.

Ключові слова: заготовки; алюмінієвий сплав; технологічні процеси; термічна обробка; мікроструктура; механічні властивості

Вступ

Застосування сплавів на основі алюмінію в промисловості значною мірою обмежується складнощами при їх обробленні. Так, наприклад, злитки високоміцних алюмінієвих сплавів практично не деформуються [1]. Однією з причин такого обмеження є ліквідаційні процеси в литому металі [2]. Відомо, що подавити ліквідаційні процеси можливо при використанні ефекту гартування з рідкого стану, проте реалізувати цей ефект можна лише для зливків, розміри яких складають десятки або сотні мікрометрів, тобто фактично представляють порошок відповідних алюмінієвих сплавів [3].

Алюмінієві сплави відрізняються малою щільністю, підвищеною корозійною стійкістю, мають високу пластичність, без ускладнень зварюються, легко піддаються обробці тиском,

різанням, мають хороші ливарні властивості, високу електричну і теплопровідність [4, 6, 7].

Алюмінієві сплави застосовують для виготовлення високоякісних деталей та конструкцій, що працюють в складних умовах навантаження. У ракетобудівництві залежно від способу виготовлення напівфабрикатів розрізняють алюмінієві ливарні, спечені та сплави, що деформуються [8, 9, 10]. Деякі сплави зміцнюють термообробкою, яку призначають залежно від умов роботи деталі.

Однак ці сплави мають недоліки і в їх виготовленні [11, 12], які пов'язані з ліквідаційними процесами (наприклад, під час лиття за стандартних умов), тому в цій роботі пропонується використання порошоків із цих сплавів з метою отримання бажаних результатів за властивостями матеріалу [13,14].

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Мета

Обґрунтування використання порошкового матеріалу та способу його термічної обробки для виготовлення заготовок з алюмінієвого сплаву АК6.

Методика

Матеріалом дослідження був порошок з сплаву на основі алюмінію АК6, ГОСТ 4784-97 [4], з хімічним складом: Al основа; Cu 1,8...2,6; Mg 0,4...0,8; Mn 0,4...0,8; Si 0,7...1,2.

Матеріал був отриманий не традиційним способом розплавленням, а методом порошкової металургії [8]. Готові поковки розміром 2 520×1 520×65 мм були отримані куванням заготовки.

Технологічний процес кування плити з порошкової заготовки складається з підготовки заготовки та кування [9].

Основні операції виконувалися в такій послідовності:

1. Перекування на квадрат – на розміри $a = 630$ мм, $h = 670$ мм, де a – сторона квадрата, h – висота.

2. Протягування – на розміри $h = 670$ мм, $l = 1\,500$ мм, $S = 280$ мм, де h – висота, l – довжина, S – ширина.

3. Протягування – на розміри 1 500×1 650×113 мм.

4. Протягування – на розміри 2 520×1 650×65 мм.

Технологічний процес кування виконували при температурі 450 °С. Процес протягування здійснювали поступово – щонайменше за 3–4 переходи, без проміжних нагрівань. Технологічне оснащення та інструмент повинні бути попередньо нагріті до 200–250 °С. Для кування використовували звичайні плоскі бойки. Устаткування для кування мало робоче зусилля 2 500 Тс.

Після обтискування заготовки піддавалися термічній обробці, фрезеруванню та контролю якості. Структуру металу досліджували під світловим мікроскопом МІМ-8М з використанням методик кількісної металографії [5]. Як характеристики міцності сплаву використовували твердість за Брінеллем, σ_B , $\sigma_{0,2}$, межа міцності і твердості, δ – відносне видовження.

Результати

Відповідно до ГОСТ 4784-97 [4] для сплаву АК6 у вигляді заготовок встановлений мінімально припустимий рівень властивостей для тем-

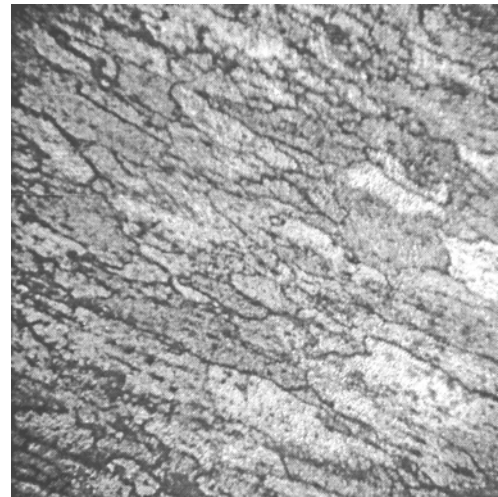
ператури + 20 °С: $\sigma_B = 420$ МПа; $\sigma_{0,2} = 300$ МПа; $\delta = 12$ %. Під час виготовлення із заготовок зразків вживають заходи, що виключають можливість зміни властивостей металу від нагріву або наклепу. Для випробування на розтягання були виготовлені циліндричні зразки, діаметром робочої частини 3 мм, розрахункову довжину $l_0 = 5,65\sqrt{F_0}$, де F_0 – початкова площа початкового перерізу зразка.

Тимчасовий опір обчислювали за формулою: $\sigma_B = P_{\max}/F_0$, де $P_{\max}$ – максимальне навантаження [10, 11].

Твердість за Брінеллем вимірювали на приладі ТШ-2, яка складала 94 [7].

Мікроструктура сплаву після кування без термічної обробки наведена на рис. 1.

$a - a$



$b - b$

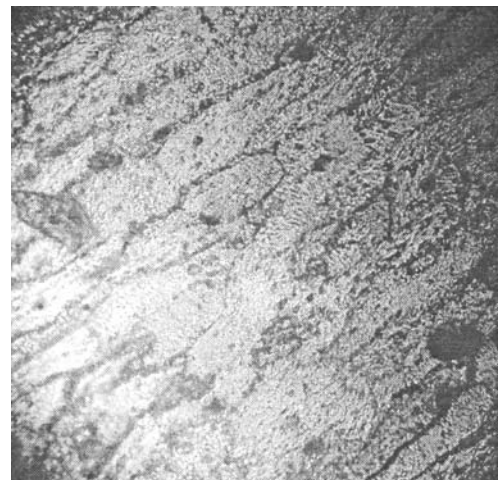


Рис. 1. Мікроструктура литого сплаву АК6 після кування. Збільшення $a - 100$; $b - 300$ разів

Fig. 1. The microstructure of AK6 cast alloy after forging. Increase $a - 100$; $b - 300$ times

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Порівняно з гарячедеформованим станом, коли зерниста структура матриці сплаву має визначну анізотропію (рис. 1), термічна обробка супроводжується якісними змінами внутрішньої будови. Мікроструктурними дослідженнями визначено, що структура сплаву АК6 після термічної обробки (рис. 2) складається із зерен твердого розчину на алюмінієвій основі та включень інтерметалідних сполук CuAl_2 і Mg_2Si [7, 9]. Порівняльний аналіз зернистої будови свідчить, що в результаті термічної обробки структурна анізотропія значною мірою зменшилася. Зерна матриці здебільшого наближуються до рівноосних, але при цьому підвищується різнозеристість структури в цілому.

Більше цього, при застосуванні спеціального травлення [10] було виявлене формування надлишкової концентрації порожнин (рис. 3), що може бути зв'язане з недостатньо високим ступенем деформації при пресуванні.

Детальний аналіз мікроструктури литого сплаву АК6 і порошкового вказує на перевищення за рівнем якісних показників застосування порошкової технології. Литий сплав після деформації має витягнуту форму зерна. Така структура обумовлює в різних напрямках досягнення різних значень механічних властивостей.

Мікроструктура порошкового сплаву навпаки має значно менший розмір зерна, та характеризується відсутністю анізотропії. Більше цього сплав, що виготовлений за порошковою технологією, має більш високу щільність в цілому [14]. Виконаний порівняльний аналіз ілюструє перевагу порошкового сплаву над литим. Підвищена дисперсність інтерметалідних часток, рівномірно розподілених в алюмінієвій матриці, забезпечує більш високу твердість, міцність, ударну в'язкість [16].

Перехід легуючих елементів при термічній обробці в твердий розчин зумовлює зростання його твердості. Швидкість розчинення і повнота переходу легуючих елементів в твердий розчин визначаються температурою нагріву і витримкою. На підставі цього температурний інтервал нагріву під гартування, для більшості алюмінієвих сплавів, вибирають поблизу температури солідусу. Однак, незначний перегрів вище верхньої межі цього інтервалу може призвести до початку плавлення евтектики.

Досягнення високої хімічної стійкості сплаву має велике значення. Наведений ефект

пов'язаний з утворюванням оксидної плівки на поверхні частинок порошку. Важливими етапами технологічного процесу переробки порошків у вироби є просушування і наступне спікання. Порошок, що був використаний в роботі, поступав на сушку з вогкістю від 10 до 30 %. В процесі просушування зменшення вогкості порошку супроводжується пропорційним зниженням його теплопровідності. Весь час, поки на поверхні порошку знаходиться шар води певної товщини, протікає процес окислення алюмінію з виділенням теплової енергії.

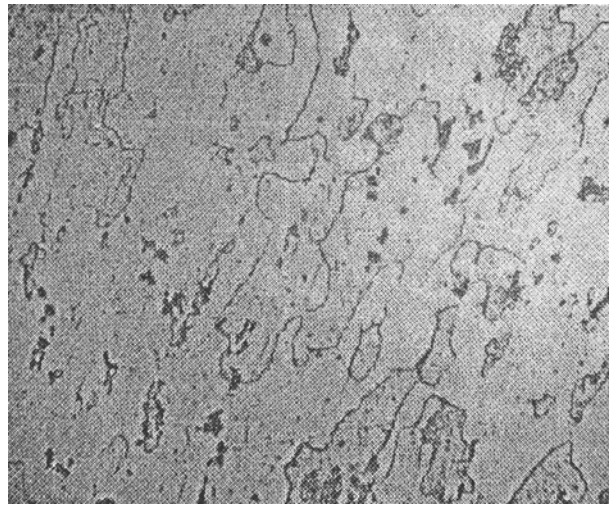


Рис. 2. Мікроструктура сплаву АК6 після термічної обробки за режимом T_1 . Збільшення 250

Fig. 2. Microstructure of AK6 alloy after heat treatment for T_1 mode. Increase 250



Рис. 3. Мікроструктура порошкового сплаву АК6 після термічної обробки. Збільшення 300

Fig. 3. Microstructure of powder alloy AK6 after heat treatment. Increase 300

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Враховуючи, що температура початку бурхливого виділення тепла зв'язана з вогкістю порошку, дослідження залежності температури початку екзотермічної реакції від вогкості становить практичний інтерес.

Так, за даними [8] величина теплового ефекту прямо пропорційна кількості алюмінію, що прореагував. При вогкості 20 % і більше наростання максимальної товщини оксидної плівки може призвести до повного гальмування процесу окислення. З іншого боку, при більш низькій вогкості процес окислювання може відбуватися не до кінця через випаровування води (рис. 4).

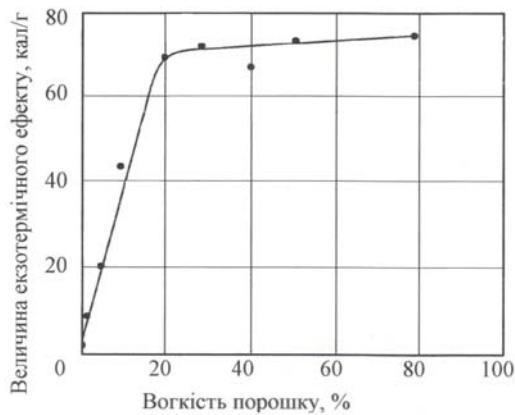


Рис. 4. Вплив вогкості на величину теплового ефекту при нагріві порошку АК6

Fig. 4. Influence of moisture on the thermal effect value under heating the AK6 powder

Результати виконаних досліджень склали основу пропозицій стосовно уточнення технологічного процесу висушування порошку. Основними відмінностями процесу є залежність примусового зниження температури порошку від вогкості, при активному перемішуванні суміші і видалення пари.

Ураховуючи, що головною метою операції спікання при виробництві алюмінієвих порошкових сплавів є дегазація присівок, визначеного значення набувають питання концентрації порошин, їх дисперсності. У зв'язку з цим заготовки в процесі компактування формують виходячи з вимог відкритої пористості.

Дослідження процесів, що відбуваються на поверхні алюмінієвих порошків при нагріванні, вивчали методом дериватографії [8, 9]. В процесі дослідження проби порошків нагрівали до температури 700 °С з швидкостями від 1,25 до 20 °К/хв.

На підставі аналізу результатів, дериватограм, були оцінені втрати маси, визначені температури початку процесу окислення сплаву. Встановлено, що при збільшенні швидкості нагріву зразка, одночасно із зменшенням вологості сплаву (рис. 5), відбувається зниження температури початку окислення (рис. 6).

У більшості випадків на практиці протікання одночасно декількох процесів при нагріванні сплаву може призводити до неоднозначності отриманих результатів.

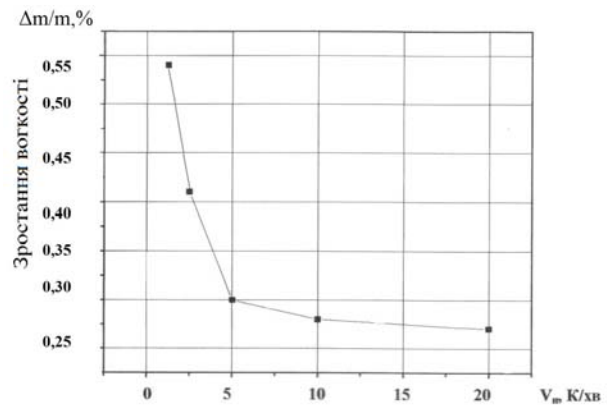


Рис. 5. Залежність відносної втрати маси від швидкості нагріву порошку

Fig. 5. Dependence of fractional mass loss from the powder heating rate

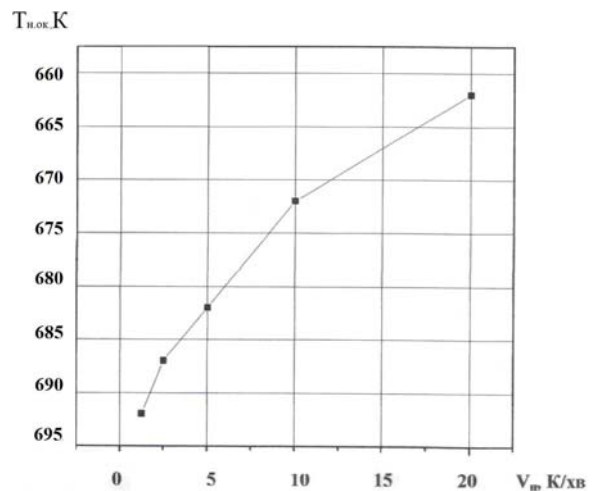


Рис. 6. Залежність температури початку окислення від швидкості нагріву порошку

Fig. 6. Temperature dependence of oxidation beginning from the powder heating rate

Так, при нагріві досліджуваного сплаву протікали в основному два конкуруючих процеси:

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

випаровування молекул води із зовнішнього шару та хімосорбція молекул води з внутрішніх об'ємів. Внаслідок цього випаровування сприяло стоншенню плівки води, а хімосорбція навпаки супроводжувалася нарощуванням шару гідроксидів.

Таким чином, при нагріванні достатньо складно прогнозувати умови переважного протікання того або іншого процесу. При малих швидкостях нагрівання створюються більш сприятливі умови для видалення пари води.

При температурах близьких до 400 °С починають прискорюватися процеси окислення поверхні сплаву киснем повітря. Швидкість окислення (швидкість приросту маси) визначається як товщиною гідроксидної плівки, що вже сформувалася, так і часом самого процесу окислення. Тобто швидкість окислення закономірно знижується із збільшенням швидкості нагріву сплаву.

При гарячій деформації сплаву необхідно враховувати, той факт, що при температурах вище за 440 °С зростає вірогідність викиду води, що знаходиться у кристалічному стані. Дійсно, в процесі гарячої деформації заготовки температура матеріалу може збільшуватися вище за оптимальне значення на 40–80 °С. В цьому випадку виділення пари може викликати до спучування і розшарування виробу, що призведе до браку. Таким чином, при виборі режиму гарячої деформації необхідно враховувати швидкість температури нагріву заготовки, що є однією з важливих технологічних характеристик.

В результаті виконаних досліджень встановлено, що оксидна плівка на поверхні порошку формується як при диспергуванні алюмінію водою високого тиску, так і при технологічних нагрівах заготовок з порошку при спіканні.

Результати дослідження дозволили оптимізувати технологічні параметри режиму спікання високоміцного порошкового технічного алюмінієвого сплаву [12].

В результаті застосування розроблених режимів технології виготовлення алюмінієвого сплаву було отримано комплекс властивостей: $\sigma_B = 475$ МПа; $\sigma_T = 390$ МПа; КСУ = 197 Дж/м².

Підвищення однорідності структури сплаву АК6 було досягнуто використанням термоміцніювальної обробки, яка полягає в гартуванні і наступному старінні (рис. 7). Дійсно, розвиток процесів виділення дрібнодисперсних час-

ток другої фази, когерентність границь розподілу матриці і часток визначають комплекс властивостей сплаву [17]. З іншого боку, стан міжфазових поверхонь розподілу зникнення когерентності має достатньо вагомий вплив на рівень тріщиностійкості сплаву [15], особливо за умов циклічних, знакозмінних навантажень [7].

Технологія складається з таких етапів:

1. Нагрів до 450 °С; витримка 1 год; гартування при охолодженні в воді.

2. Штучне старіння при температурі 160 °С; витримка 4 години, охолодження на повітрі.

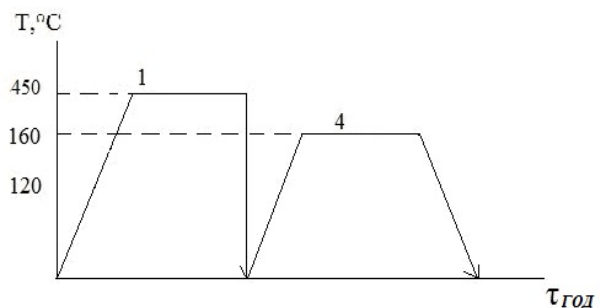


Рис. 7. Схема режиму термічної обробки порошкового сплаву АК6

Fig. 7. Mode pattern of heat treatment of AK6 powder alloy

Температура нагріву під гартування була обрана виходячи з діаграми стану системи Al-Cu, яка дорівнює 450 °С. При цій температурі відбувається формування інтерметалідних фаз $FeAl_3$, $FeAl_2$.

При нагріванні під загартування сплаву АК6 надлишкова фаза $CuAl_2$ повністю розчиняється і при наступному швидкому охолодженні фіксується тільки пересичений α -твердий розчин, що містить мідь, магній і кремній. Аналогічний ефект спостерігали при електричній обробці алюмінієвого сплаву [7]. У зв'язку з присутністю міді в АК6, охолодження потрібно проводити з максимально можливою швидкістю. Швидкість охолодження при гартуванні повинна бути вище за критичне значення, що запобігає розпаду твердого розчину. Для отримання високих механічних властивостей виробів з сплаву АК6, охолодження при загартуванні здійснюють у воді з температурою не вище 40 °С.

Після гартування проводять штучне старіння терміном не менш як 4 години. В процесі штучного старіння відбувається розпад пересиченого твердого розчину, що призводить до

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

виділення дисперсних частинок. Внаслідок цього досягають зміцнення сплаву [15].

Отримана однорідна дисперсна структура порошкового сплаву після термообробки дозволила підвищити рівень механічних властивостей, на відміну від литого стану. Так, межа міцності збільшилася від 447 до 475 МПа, межа текучості – від 378 до 387 МПа, при практично не змінних пластичних властивостях.

Наукова новизна та практична значимість

Виконані випробування зразків показали достатньо високу кореляцію з раніш отриманими результатами [8, 9]. Перевіркою встановлено, що при нагріванні зразка в спеціальному окислювальному полум'ї сплав не запалюється аж до температури 705 °С.

Важливість наведеної характеристики зумовлена складними умовами використання досліджуваного сплаву АК6. Дійсно, вироби, що виготовляються з указанного сплаву, в тому числі з структурним станом після гартування і старіння, мають достатньо широкий діапазон від корозійних умов в морській воді до циклічних механічних і температурних навантажень.

Висновки

1. Досягнення високої вогнестійкості порошкового сплаву після гартування і старіння пов'язане з наявністю в сплаві рівномірно розподілених, дрібних оксидних включень і аморфної оксидної плівки на поверхні.

2. Розроблений технологічний процес, що дозволяє підвищити механічні властивості та знизити собівартість виготовлення виробів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абраимов, Н. В. Авиационное материаловедение и технология обработки металлов : учеб. пособие для авиац. вузов / Н. В. Абраимов, Ю. С. Елисеев, В. В. Крымов. – М. : Высш. шк., 1998. – 444 с.
2. Алиева, С. Г. Промышленные алюминиевые сплавы. Справ. изд. / С. Г. Алиева, М. Б. Альтман, С. М. Амбарцумян. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1984. – 528 с.
3. Алюминиевые сплавы. Производство полуфабрикатов из алюминиевых сплавов : справ. / под. ред. А. Ф. Белова, Ф. И. Квасова. – М. : Металлургия, 1971. – 496 с.

4. Арчакова, З. Н. Структура и свойства полуфабрикатов из алюминиевых сплавов / З. Н. Арчакова, Г. А. Балахонцев, И. Г. Басов. – М. : Металлургия, 1984. – 408 с.
5. Вакуленко, І. О. Структурний аналіз в матеріалознавстві / І. О. Вакуленко. – Д. : Маковецький, 2010. – 124 с.
6. Волчок, І. П. Застосування вторинних алюмінієвих сплавів в транспортному машинобудуванні / І. П. Волчок, О. В. Лютова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – Вип. 14. – С. 225–228.
7. Електрична імпульсна обробка зварювального з'єднання алюмінієвого сплаву / І. О. Вакуленко, Ю. Л. Надєждин, В. А. Сокирко та ін. // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 4 (46). – С. 73–82.
8. Калініна, Н. Є. Авіаційно-космічне матеріалознавство та технології / Н. Є. Калініна, В. А. Богуслаєв, А. Я. Качан. – Запоріжжя : Мотор-Січ, 2010. – 385 с.
9. Калініна, Н. Є. Використання алюмінієвих сплавів в авіаційній та ракетно-космічній техніці : навч. посіб. / Н. Є. Калініна, О. В. Бондаренко. – Д. : РВВ ДНУ, 2011. – 64 с.
10. Колачев, Б. А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б. А. Колачев, В. А. Ливанов, В. И. Елагин. – М. : Металлургия, 1972. – 480 с.
11. Колобнев, И. Ф. Термическая обработка алюминиевых сплавов / И. Ф. Колобнев. – М. : Металлургия, 1966. – 384 с.
12. Мусіна, К. О. Дослідження процесів, що відбувалися в оксидних плівках на поверхні алюмінієвих порошків / К. О. Мусіна // Труды XIII міжнар. конф. «Людина і Космос». – Д. : НЦАОМУ, 2012. – 1 с.
13. Островська, А. Е. Вплив інтерметалідних фаз на опір руйнуванню алюмінієвих сплавів / А. Е. Островська, І. П. Дзига // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 34. – С. 211–214.
14. Скрябін, С. А. Виготовлення поковок з алюмінієвих сплавів гарячим деформуванням / С. А. Скрябін. – К. : КВІЦ, 2004. – 346 с.
15. Ansell, G. S. Creep of a dispersion-hardened aluminium alloy / G. S. Ansell, J. Wertman // Trans. of the Metal. Soc. AIME, 1959. – Vol. 215. – P. 838–843.
16. Atkinson, J. D. The Work - hardening of Copper - Silica: IV. The Bauschinger Effect and Plastic Relaxation / J. D. Atkinson // Philosophical Magazine. – 1974. – Vol. 30, № 6. – P. 1247–1280.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

17. Pickard, S. M. Strain-ageing behaviour of fatigued Fe-N-C alloys / S. M. Pickard, F. Guin // Acta Met. – 1990. – Vol. 38, № 3. – P. 397–401.
18. Vakulenko, I. A. Effect of the morphology and Size of iron carbide on the fatigue strength of carbon steels / I. A. Vakulenko // Russian Met. – 2008. – Vol. 2008, №3. – P. 225–228.

Н. Е. КАЛИНИНА¹, С. И. МАМЧУР¹, Е. А. МУСИНА^{1*}, М. В. ГРЕКОВА¹,
Т. К. ЛОПАТКИНА¹

^{1*}Каф. «Технологии производства», Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, пр. Гагарина, 72, Днепропетровск, Украина, 49050, тел. +38 (063) 385 23 48, эл. почта musina.ekaterina.alexsandrovna@yandex.ua, ORCID 0000-0002-7671-0637

¹Каф. «Технологии производства», Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, пр. Гагарина, 72, Днепропетровск, Украина, 49050, тел. +38 (063) 385 23 48

ВЫБОР МАТЕРИАЛА И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК6

Цель. В работе необходимо осуществить обоснования материала и способа термической обработки алюминиевого сплава для изготовления детали типа «плита» на основе результатов исследования микроструктуры и механических свойств; разработку технологического процесса изготовления заготовок из алюминиевого сплава АК6. **Методика.** Материалом для исследования был порошковый сплав на основе алюминия типа АК6. Готовые поковки размером 2 520×1 520×65 мм получали в результате подготовки заготовки и еёковки. После механической обработки заготовки подвергались термической обработке и фрезерованию. Структуру металла исследовали под световым микроскопом МИМ-8М. В качестве характеристики прочности сплава была использована твердость по Бринеллю. **Результаты.** Проведен анализ влияния легирующих элементов на структуру деформируемых алюминиевых сплавов. Выполнены исследования влияния режимов термической обработки на структуру и свойства сплава АК6. Предложен усовершенствованный технологический процесс, который позволил получить деталь с улучшенной структурой и свойствами, а также меньшей себестоимостью. **Научная новизна.** Проведены испытания образцов порошкового сплава АК6 на огнестойкость. Установлено, что при нагревании образца в окислительном пламени он не воспламеняется до температуры 705 °С. Выяснена причина высокой огнестойкости образцов сплава АК6, что связано с наличием в материале равномерно распределенных, мелких оксидных включений и аморфной оксидной пленки на поверхности. **Практическая значимость.** Жесткие условия труда (коррозия в морской и промышленной атмосфере, статические и ударные нагрузки, циклические температуры) позволяют использовать деталь в различных конструкциях.

Ключевые слова: заготовки; алюминиевый сплав; технологические процессы; термическая обработка; микроструктура; механические свойства

N. YE. KALININA¹, S. I. MAMCHUR¹, K. O. MUSINA^{1*}, M. V. HREKOVA¹,
T. K. LOPATKINA¹

^{1*}Dep. «Production Technologies», Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Gagarin Av., 72, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49050, tel. +38 (063) 385 23 48, e-mail musina.ekaterina.alexsandrovna@yandex.ua, ORCID 0000-0002-7671-0637

¹Dep. «Production Technologies», Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Gagarin Av., 72, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49050, +38 (063) 385 23 48

MATERIAL CHOICE AND BLANKS OPERATION TECHNOLOGY OF AK6 ALUMINIUM ALLOY

Purpose. Justification of the material and heat treatment method of aluminum alloy for the manufacturing of parts, type «plate» based on the results of microstructure and mechanical properties research; development of technological process of blanks operation of AK6 aluminum alloy. **Methodology.** Powdered alloy based on aluminum type AK6 was the research material. Finished forgings with the size 2520×1520×65 mm were obtained as a result of the preparation and forging of the blanks. After mechanical treatment of the blanks they were exposed to thermal

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

processing and milling. Structure of the metal was examined under light microscope MIM-8M. Brinell hardness was used as the strength alloy characteristic. **Findings.** Influence analysis of alloy elements on the structure of deformable aluminum alloys was carried out. Research of influence of heat treatment modes on structure and properties of the AK6 alloy were performed. The improved technological process, which made it possible to obtain the item with the improved structure and properties and lower costs is offered. **Originality.** The samples of AK6 powdered alloy on fire resistance were tested. It is established that under heating of an example in the oxidative flame, it does not ignite to a temperature of 705 °C. The cause of high fire resistance of AK6 alloy samples was found, it is connected with the presence in the material the evenly distributed, small oxide inclusions and amorphous oxide film on the surface. **Practical value.** Hard conditions of work (corrosion in marine and industrial atmosphere, static and shock loads, cyclic temperature) allow the use of the item in various designs.

Keywords: blanks; aluminum alloy; technological processes; thermal processing; microstructure; mechanical properties

REFERENCES

1. Abraimov N.V., Yeliseiev Yu.S., Krymov V.V. *Aviatsiine materialoznavstvo i tekhnolohiia obrobky metaliv* [Aviation material science and metal treatment technology]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1998. 444 p.
2. Aliyeva S.G., Altman M.B., Ambartsumyan S.M. *Promyshlennyye alyuminiyevyye splavy* [Industrial aluminium alloys]. Moscow, Metalurgiya Publ., 1984. 528 p.
3. Belov A.F., Kvasov F.I. *Aluminiyevi splavy. Vyrobnystvo napivfabrykativ z aliuminiyevykh splaviv* [Aluminium alloys. Production of semi-finished products from aluminium alloys]. Moscow, Metalurgiya Publ., 1971. 496 p.
4. Archakova Z.N., Balakhontsev H.A., Basov I.H. *Struktura i vlastyvoli napivfabrykativ z aliuminiyevykh splaviv* [Structure and properties of semi-finished products from aluminium alloys]. Moscow, Metalurgiya Publ., 1984. 408 p.
5. Vakulenko I.O. *Strukturnyi analiz v materialoznavstvi* [Structural analysis in materials science]. Dnipropetrovsk, Makovetskyi Publ., 2010. 124 p.
6. Volchok I.P., Liutova O.V. Zastosuvannya vtorynnykh aliuminiyevykh splaviv v transportnomu mashynobuduvanni [The use of secondary aluminium alloys in transport engineering]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 14, pp. 225-228.
7. Vakulenko I.O., Nadiezhdin Yu.L., Sokyko V.A., Volchok I.P., Mitiaiev A.A. Elektrychna impulsna obrobka zvariuvannoho ziednannia aliuminiyevoho splavu [Electric pulse treatment of aluminium alloy welded joint]. *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.
8. Kalinina N.Ye., Bohuslaiev V.A., Kachan A.Ya. *Aviatsiiono-kosmichne materialoznavstvo ta tekhnolohii* [Aviation and Space Materials Science and technologies]. Zaporizhzhia, Motor-Sich Publ., 2010. 385 p.
9. Kalinina N.Ye., Bondarenko O.V. *Vykorystannia aliuminiyevykh splaviv v aviatsiinii ta raketno-kosmichnii tekhnitsi* [The use of aluminium alloys in aviation and aerospace technologies]. Dnipropetrovsk, RVV DNU Publ., 2011. 64 p.
10. Kolachev B.A., Livanov V.A., Yelagin V.I. *Metaloznavstvo i termichna obrobka kolorovykh metaliv i splaviv* [Metallurgy and heat treatment of nonferrous metals and alloys]. Moscow, Metalurgiya Publ., 1972. 480 p.
11. Kolobnev I.F. *Termoobrobka aliuminiyevykh splaviv* [Heat treatment of aluminium alloys]. Moscow, Metalurgiya Publ., 1966. 384 p.
12. Musina K.O. Doslidzhennia protsesiv, shcho vidbuvalysia v oksydneykh plivkakh na poverkhni aliuminiyevykh poroshkiv [The study of the processes occurring in the oxide film on the surface of aluminium powders]. *Trudy XIII mizhnarodnoi konferentsii «Liudyna i Kosmos»* [Proc. of XIIIth Intren. Conf. «Man and space»]. Dnipropetrovsk, NTsAOMU Publ., 2012. 1 p.
13. Ostrovska A.E., Dzyha I.P. Vplyv intermetalidnykh faz na opir ruinuuvanniu aliuminiyevykh splaviv [Effect of intermetallic phases on the fracture resistance of aluminum alloys]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 34, pp. 211-214.
14. Skriabin S.A. *Vyhotovlennia pokovok z aliuminiyevykh splaviv hariachym deformuvanniam* [Production of forgings of aluminum alloys by hot deformation]. Kyiv, KVITS Publ., 2004. 346 p.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

15. Ansell G.S., Wertman J. Creep of a dispersion- hardened aluminium alloy. *Trans. of the Metal. Soc. AIME*, 1959, vol. 215, pp. 838-843.
16. Atkinson J.D. The Work-hardening of Copper-Silica: IV. The Bauschinger Effect and Plastic Relaxation. *Philosophical Magazine*, 1974, vol. 30, no. 6, pp. 1247-1280.
17. Vakulenko I.A. Effect of the morphology and size of iron carbide on the fatigue strength of carbon steels. *Russian Met.*, 2008, vol. 2008, no. 3. p. 225-228.
18. Pickard S.M., Guin F. Strain- ageing behaviour of fatigued Fe-N-C alloys. *Acta Met.*, 1990, vol. 38, no. 3, pp. 397-401.

Стаття рекомендована до публікації к.т.н., доц. А. Г. Фесенком (Україна); д.т.н., проф. І. О. Вакуленком (Україна)

Надійшла до редколегії 03.02.2014

Прийнята до друку 28.03.2014

УДК 669.295.055.018.62:621.791.05

А. Е. КАПУСТЯН¹, А. В. ОВЧИННИКОВ^{2*}, И. А. ВАКУЛЕНКО³

¹Каф. «Оборудование и технологии сварочного производства», Запорожский национальный технический университет, ул. Жуковского, 64, Запорожье, Украина, 69096, тел. +38 (096) 256 72 60, эл. почта aek@zntu.edu.ua, ORCID 0000-0002-8979-8076

^{2*}Каф. «Механика», Запорожский национальный технический университет, ул. Жуковского, 64, Запорожье, Украина, 69096, тел. +38 (061) 769 83 62, эл. почта glotka87@ukr.net, ORCID 0000-0002-5649-1094

³Каф. «Технология материалов», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, эл. почта dnuzt_textmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-7353-1916

ПОЛУЧЕНИЕ СВАРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СПЕЧЕННЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Цель. Ограниченное применение деталей из порошковых титановых сплавов связано с трудностями получения длинномерных заготовок, деталей сложной формы и больших габаритов. Решить данные проблемы можно путем применения технологий сварочного производства. Для этого необходимо провести исследование структуры и механических свойств сварных соединений спеченных титановых сплавов, полученных сваркой оплавлением. **Методика.** В качестве исходного материала использовали промышленные порошки титана марки ПТ5-1. Формообразование заготовок, химический состав которых соответствовал сплаву ВТ1-0, проводили методом порошковой металлургии. Соединения получали путем сварки оплавлением без подогрева. Проводили микроструктурные исследования и механические испытания. Для сравнения результатов проводились исследования литого сплава ВТ1-0. **Результаты.** Получены образцы сварных соединений спеченных титановых заготовок из сплава ВТ1-0 методом стыковой сварки оплавлением. При сварке микроструктура основного металла, состоявшая из зерен α -фазы размерами 40...70 мкм, трансформируется для сварного шва и зоны термического влияния (ЗТВ) в пластинчатое строение α -фазы. Остаточные поры в сварном шве практически отсутствовали, в ЗТВ их размер составлял до 2 мкм при 30 мкм в основном металле. Достижимый уровень механических свойств сварного соединения спеченных титановых сплавов соизмерим с основным металлом. **Научная новизна.** Обнаружены качественные изменения структуры и достигаемый комплекс свойств соединений спеченных титановых сплавов, сформированных в результате стыковой сварки оплавлением. **Практическая значимость.** Показана принципиальная возможность получения качественных соединений спеченных титановых сплавов методом сварки оплавлением. Это дает основание для более широкого применения спеченных титановых сплавов за счет получения длинномерных заготовок, соответствующих деформируемому прутковым полуфабрикатам.

Ключевые слова: титановые сплавы; порошковая металлургия; сварка; сварной шов; зона термического влияния; структура; механические свойства

Введение

Титановые сплавы являются конструкционным материалом для ряда отраслей промышленности [9, 17]. Широкое применение деталей из титановых сплавов сдерживает их высокая стоимость. Весомой составляющей стоимости изделия является технология его получения. С технологической точки зрения одним из наиболее рациональных и распространенных методов получения полуфабрикатов из титана является метод порошковой металлургии (ПМ) [4, 10, 11]. Существенный недостаток ПМ – невозможность получения длинномерных заготовок и сложной геометрии изделия. Технологии

сварочного производства позволяют решить данную проблему путем получения монолитных соединений деталей небольших размеров и простой конфигурации [1]. Как правило, литой титан сваривают аргоннодуговым, электронно-лучевым, плазменным, электрошлаковым способами, под флюсом, лазерной термической технологией, сваркой давлением [7, 18, 21, 22] и комбинацией данных способов [20]. Свариваемость порошковых титановых сплавов изучали в основном при аргоннодуговой и точечной сварке [8, 14]. Сварка давлением – весьма перспективна [6, 12], в частности, стыковая сварка оплавлением. Данный метод, об-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

ладая преимуществами других способов сварки давлением (позволяет соединять заготовки значительной длины без присадочных материалов, без защиты зоны сварки газами и за более короткое время в сравнение со сваркой плавлением), позволяет соединять заготовки без ограничения формы сечения свариваемых деталей [13]. Свариваемость при стыковой сварке оплавлением определяется, в основном, распределением температуры в деталях, величиной и характером пластической деформации торцов при осадке, микрорельефом и температурой торцевых поверхностей [15]. Все эти параметры в случае сварки спеченных сплавов могут в широкой степени варьироваться от количества и размера пор, структуры сплава, загрязненности исходного материала (порошка) окислами и т.п. Качество сварного соединения в значительной мере будет зависеть от температурного цикла сварки, процесса структурных изменений в металле шва и зонах термического влияния (ЗТВ) [2, 5, 16, 19]. Использование материалов и сплавов в спеченном состоянии неизбежно приведет к корректировке используемых в настоящее время технологий сварки [3]. В связи с этим, для более широкого применения титана необходимо исследование свариваемости спеченных титановых сплавов стыковой сваркой оплавлением.

Цель

Цель работы – исследование структуры и механических свойств спеченных титановых сплавов после стыковой сварки оплавлением без подогрева для определения возможности получения качественных сварных соединений данным методом.

Методика

В качестве исходного материала использовали промышленные порошки титана марки ПТ5-1 (ТУ 14-10-026-98) и гидроксида титана производства ГП «Государственный научно-исследовательский и проектный институт титана», ГП «Запорожский металлургический опытно-промышленный завод». Заготовки для прутка изготавливали методом порошковой металлургии, химический состав которых соответствовал сплаву ВТ1-0 (ГОСТ 19807-91). Формообразование заготовок $\varnothing 38$ мм, длиной 70...80 мм

(рис. 1, а) проводили путем прессования на гидравлическом прессе с давлением 900 МПа. Спекание проводили в вакуумной печи СНВЭ–1.3.1/16И₃ при температуре 1250 ± 20 °С и давлении 13,3 Па в течении 3 ч. Охлаждение осуществляли с печью.

а – а



б – б



Рис. 1. Внешний вид опытных прессованных (а) и сварных (б) заготовок

Fig. 1. The exterior of experimental nibs (a) and welded (b) blanks

Диаметр заготовок был выбран как предельный для сварки непрерывным оплавлением на обычных стыковых машинах без необходимости подогрева и применения защиты от воздуха (рис. 1, б).

Из рис. 1, б, по наличию цветов побежалости, определили размер ЗТВ, который составлял порядка 50 мм с каждой стороны шва. Учитывая известный эффект отеснения электрического тока к поверхности, для используемого диаметра заготовок коэффициент поверхностного эффекта может быть более двух единиц [15]. На основании этого следует учитывать возможную разницу в эффективности разогрева поверхности и сердцевины заготовки при сварке, а, следовательно, и степени нагрева этих зон. Поэтому размеры ЗТВ дополнительно контролировали по изменению структуры заготовок.

Микроструктурные исследования осуществляли с использованием инвертированного мик-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

роскопа отраженного света «Observer.D1m». Механические испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 1497-84. Микротвердость образцов определяли на приборе ПМТ-3 при нагрузке 50 г.

Для сравнения полученных результатов проводились исследования литого сплава ВТ1-0.

Результаты

Фон травимости в основном металле матовый (рис. 2), в шве и ЗТВ с элементами блеска, что говорит об увеличении размеров α -зерен в результате перегрева при сварке: размеры макрозерен в сварном шве и ЗТВ составляли 2 000...3 000 мкм, в основном металле до 1 000 мкм.

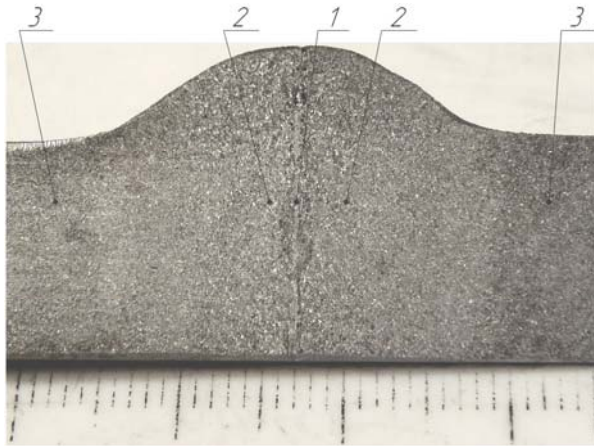


Рис. 2. Макроструктура сварной заготовки титана типа ВТ1-0, полученного методом ПМ:

1 – область сварного шва; 2 – ЗТВ; 3 – основной металл

Fig. 2. Macrostructure of a welded blank of titanium, type VT1-0, obtained by PM method:

1 – the seam weld area; 2 – HAZ; 3 – base metal

В результате количественной оценки параметров сварного соединения установлено, что ширина сварного шва находилась в пределах 250...1 750 мкм, ЗТВ – 15...20 мм (рис. 2). При этом ЗТВ характеризовалась наличием β -превращенных колоний размерами 125...205 мкм (рис. 3). Такая структура характерна для сварных соединений литых титановых сплавов.

Микроструктура прессованных полуфабрикатов характеризовалась наличием зерен α -фазы размерами 40...70 мкм, по границам которых располагались микропоры преимущественно сферической формы, диаметр которых составлял значение в пределах 6...30 мкм (рис. 4, а).

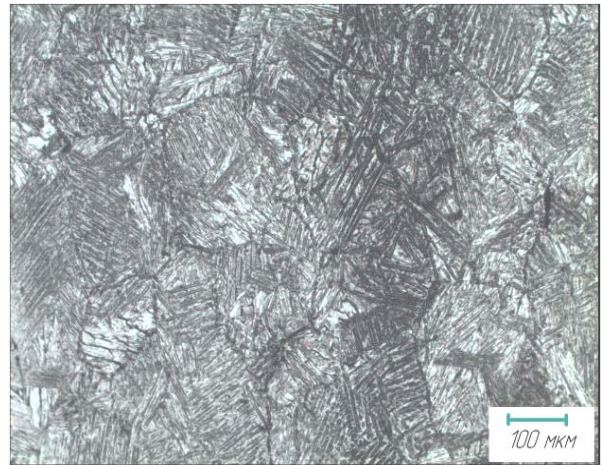


Рис. 3. Микроструктура сварного шва и ЗТВ соединения заготовок из опытного титана типа ВТ1-0, полученного методом ПМ

Fig. 3. Microstructure of the welding seam and HAZ of the blank joints from experimental titanium, type VT1-0, obtained using the method of powder metallurgy

Микроструктура ЗТВ сварного соединения (рис. 4, б) имела тонкопластинчатое строение, состояла из пачек параллельных α -пластин с различной кристаллографической ориентировкой. Аналогичным, но более грубопластинчатым строением обладал шов (рис. 4, в). В металле шва пор практически не обнаружено. В ЗТВ поры носили единичный характер, до 2 мкм с преимущественным расположением по границам α -пластин.

Механические испытания исследуемых сварных образцов позволили установить, что уровень их свойств соизмерим с уровнем свойств литого металла (табл. 1).

Таблица 1

Усредненные значения механических свойств образцов из титана

Table 1

Averaged values of the mechanical properties of samples from titanium

Состояние	Механические свойства	
	σ_b , МПа	δ , %
Литой сплав ВТ1-0	365	10
ПМ	355	8
ПМ после сварки	355	8

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

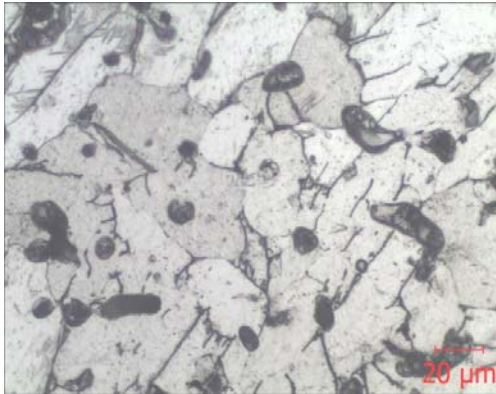
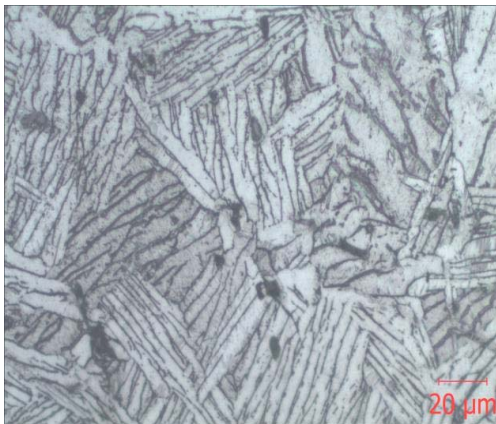
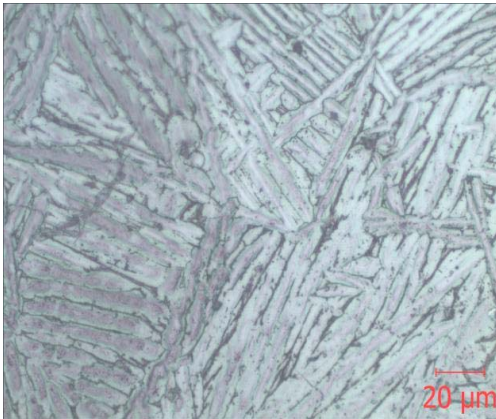
a – a*б – б**в – в*

Рис. 4. Микроструктура основного металла (*a*), ЗТВ (*б*) и сварного шва (*в*) соединения заготовок из опытного титана типа VT1-0, полученного методом ПМ

Fig. 4. Microstructure of the basic metal (*a*), HAZ (*б*) and the welding seam (*в*) of the blank joints from experimental titanium, type VT1-0, obtained using the method of powder metallurgy

Разрушение, в большинстве случаев, происходило в зоне, удаленной от сварного шва (рис. 5). Одной из причин такого разрушения является формирование металла повышенной плотности с дисперсной структурой в области

сварного шва. Такое строение способствует повышению прочностных характеристик по сравнению с основным металлом спеченной заготовки. Таким образом, можно говорить о соизмеримости прочности сварного соединения с прочностью сплава VT1-0 в литом состоянии.

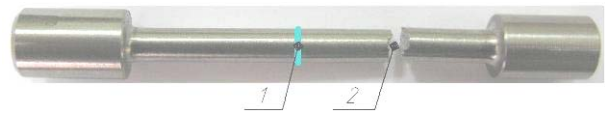


Рис. 5. Образец после испытаний на растяжение: 1 – сварной шов; 2 – место разрушения

Fig. 5. Sample after tensile tests: 1 – welding seam; 2 – position of fracture

Вместе с этим, неизменность микротвердости образцов (2,5...2,9 ГПа) во всех зонах соединения указывает на необходимость проведения исследований по объяснению природы наблюдаемых явлений.

Научная новизна и практическая значимость

В настоящей работе обнаружены качественные изменения структуры и достигаемый комплекс свойств соединений спеченных титановых сплавов, сформированных в результате стыковой сварки оплавлением. Показана принципиальная возможность получения качественных сварных соединений при изготовлении из спеченных титановых сплавов длинномерных заготовок и изделий сложной конфигурации.

Выводы

1. Получены образцы сварных соединений из спеченных титановых заготовок сплава VT1-0 методом стыковой сварки оплавлением.
2. Металлографические исследования показали, что при сварке микроструктура основного металла, состоявшая из зерен α -фазы размерами 40...70 мкм, трансформируется для сварного шва и ЗТВ в пластинчатое строение α -фазы. Остаточные поры в сварном шве практически отсутствовали, в ЗТВ их размер составлял до 2 мкм при 30 мкм в основном металле.
3. Из анализа результатов испытаний на растяжение следует, что достигаемый уровень механических свойств сварного соединения спеченных титановых сплавов соизмерим с основным металлом.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Биковський, О. Г. Зварювання та різання кольорових металів : довідк. посіб. / О. Г. Биковський. – Запоріжжя : Видавець, 2011. – 390 с.
2. Вакуленко, І. О. Використання технології зварювання тертям з перемішуванням алюмінієвого сплаву / І. О. Вакуленко, С. О. Плітченко, Ю. Л. Надєждін // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 41. – С. 230–233.
3. Вакуленко, І. А. Технології сварки с использованием различных источников энергии / І. А. Вакуленко, С. А. Плітченко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – Вип. 24. – С. 197–198.
4. Влияние водорода и легирующих элементов на особенности синтеза титановых сплавов с использованием гидрированного титана / О. М. Ивасишин, Д. Г. Саввакин, Н. М. Гуменяк, М. В. Матвийчук // Междунар. конф. Тi-2011 в СНГ (25.04–28.04.2011) : сб. трудов. – К. : РИО ИМФ им. Г. В. Курдюмова НАН Украины, 2011. – С. 322–328.
5. Иванов, А. П. Распределение температурных остаточных напряжений в швеллерах при нанесении сварного шва / А. П. Иванов, В. В. Псюк, И. А. Иванов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 39. – С. 51–54.
6. Куликовский, Р. А. Определение прочности соединений титановых сплавов, выполненных сваркой трением / Р. А. Куликовский // Вестн. Донбас. гос. машиностроит. акад. – Краматорск, 2012. – № 3 (28). – С. 173–176.
7. Литвинов, А. П. Решение проблем сварки плавлением конструкций из титановых полуфабрикатов / А. П. Литвинов // Науч. вестн. ДГМА. – Краматорск, 2009. – № 1 (4Е). – С. 123–128.
8. Особенности сварки спеченных титановых материалов и свойства сварных элементов / В. М. Анохин, Р. К. Огнев, В. С. Попов, Г. Л. Дубров // Мат. соврем. техники : сб. науч. тр. / ППИ. – Пермь, 1975. – № 174. – С. 151–154.
9. Погрелюк, І. М. Забезпечення антикорозійного захисту і декоративного забарвлення деталям з титанових сплавів при хіміко-термічній обробці у контрольованому азотокисневмісному середовищі / І. М. Погрелюк, О. В. Ткачук, З. О. Сірик // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 38. – С. 220–224.
10. Применение гидрированного титана с заданным содержанием кислорода для получения изделий методом порошковой металлургии / И. О. Быков, А. В. Овчинников, С. И. Давыдов и др. // Теория и практика металлургии. – 2011. – № 1–2 (80–81). – С. 65–69.
11. Ресурсосберегающая технология получения длинномерных полуфабрикатов из титановых сплавов методом порошковой металлургии / А. В. Овчинников, А. Е. Капустян, В. Г. Шевченко и др. // Технологічні системи. – 2013. – № 4 (65). – С. 29–33.
12. Сварка давлением при изготовлении сферических сосудов из титановых сплавов в состоянии сверхпластичности / Р. Я. Лутфуллин, А. А. Круглов, М. Х. Мухаметрахимов, О. Р. Валиахметов // Сварочное пр-во. – 2004. – № 3. – С. 17–23.
13. Сварка трением : справ. / В. К. Лебедев, И. А. Черненко, Р. Михальски, В. И. Виль. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 236 с.
14. Скребцов, А. А. Исследование механических свойств сварных соединений спеченных титановых сплавов / А. А. Скребцов, А. В. Овчинников, А. Е. Капустян // 36. наук. пр. «Вісн. СевНТУ». Сер. : Механіка, енергетика, екологія. – Севастополь, 2012. – Вип. 132. – С. 14–17.
15. Технология и оборудование контактной сварки / Б. Д. Орлов, Ю. В. Дмитриев, А. А. Чакалев и др. – М. : Машиностроение, 1975. – 536 с.
16. Формирование структуры металла шва титановых сплавов при электронно-лучевой сварке и сварке вольфрамовым электродом / В. И. Муравьев, Б. И. Дорлотов, П. Г. Демьшев, Р. А. Фицулакуев // Сварочное пр-во. – 2008. – № 7. – С. 28–32.
17. Хорев, А. И. Высокопрочный титановый сплав BT23 и его применение в перспективных сварных и паяных конструкциях / А. И. Хорев // Сварочное пр-во. – 2008. – № 9. – С. 3–8.
18. Шабдинов, М. Л. Перспективные аспекты использования лазерной термической технологии для сварки и резки титановых сплавов / М. Л. Шабдинов, Г. М. Измаилова, Э. Ш. Джемилев // Вісн. Хмельниц. нац. ун-ту. – Хмельницьк, 2011. – № 5. – С. 31–34.
19. Electric pulse treatment of welded joint of aluminum alloy / I. A. Vakulenko, Yu. L. Nadezhdin, V. A. Sokirko et al. // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – № 4 (46). – С. 73–82.
20. Fiber laser-GMA hybrid welding of commercially pure titanium / C. Li, K. Muneharua, S. Takao, H. Kouji // Mater. and Des. – 2009. – № 1. – P. 109–114.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

21. Mathers, G. Job knowledge. Welding of titanium and its alloys. Pt. 2 / G. Mathers // Connect : The Magazine and J. of TWI and the Welding and Joining Society. – 2011. – № 170. – P. 4–5.
22. Sutherlin, R. The welding of titanium and its alloys / R. Sutherlin // Weld. J. – 2007. – № 12. – P. 40–45.

О. Є. КАПУСТЯН¹, О. В. ОВЧИННИКОВ^{2*}, І. О. ВАКУЛЕНКО³

¹Каф. «Обладнання та технології зварювального виробництва», Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, Україна, 69096, тел. +38 (096) 256 72 60, ел. пошта aek@zntu.edu.ua, ORCID 0000-0002-8979-8076

^{2*}Каф. «Механіка», Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, Україна, 69096, тел. +38 (061) 769 83 62, ел. пошта glotka87@ukr.net, ORCID 0000-0002-5649-1094

³Каф. «Технологія матеріалів», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-7353-1916

ОТРИМАННЯ ЗВАРНИХ ВИРОБІВ ЗІ СПЕЧЕНИХ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Мета. Обмежене застосування деталей із порошкових титанових сплавів пов'язане з труднощами отримання довгомірних заготовок, деталей складної форми й великих габаритів. Вирішити дані проблеми можна шляхом застосування технологій зварювального виробництва. Для цього необхідно провести дослідження структури та механічних властивостей зварних з'єднань спечених титанових сплавів, отриманих зварюванням оплавленням. **Методика.** В якості вихідного матеріалу використовували промислові порошки титану марки ПТ5-1. Формоутворення заготовок, хімічний склад яких відповідав сплаву ВТ1-0, проводили методом порошкової металургії. Сполуки отримували шляхом зварювання оплавленням без підігріву. Проводили мікроструктурні дослідження та механічні випробування. Для порівняння результатів проводилися дослідження литого сплаву ВТ1-0. **Результати.** Отримано зразки зварних з'єднань спечених титанових заготовок зі сплаву ВТ1-0 методом стикового зварювання оплавленням. При зварюванні мікроструктура основного металу, що складалася із зерен α -фази розмірами 40...70 мкм, трансформується для зварного шва та зони термічного впливу (ЗТВ) у пластинчасту будову α -фази. Залишкові пори в зварному шві практично були відсутні, у ЗТВ їх розмір становив до 2 мкм при 30 мкм в основному металі. Досяжний рівень механічних властивостей зварного з'єднання спечених титанових сплавів співмірний із основним металом. **Наукова новизна.** Виявлено якісні зміни структури та досяжний комплекс властивостей сполук спечених титанових сплавів, сформованих у результаті стикового зварювання оплавленням. **Практична значимість.** Показано принципову можливість отримання якісних сполук спечених титанових сплавів методом зварювання оплавленням. Це дає підставу для більш широкого застосування спечених титанових сплавів за рахунок отримання довгомірних заготовок відповідним прутковим напівфабрикатам, що деформуються.

Ключові слова: титанові сплави; порошкова металургія; зварювання; зварені шви; зони термічного впливу; структури; механічні властивості

A. YE. KAPUSTYAN¹, A. V. OVCHINNIKOV^{2*}, I. A. VAKULENKO³

¹Dep. «Equipment and Welding Technology», Zaporozhye National Technical University, Zhukovsky St., 64, Zaporozhye, Ukraine, 69096, tel. +38 (096) 256 72 60, e-mail aek@zntu.edu.ua, ORCID 0000-0002-8979-8076

^{2*}Dep. «Mechanics», Zaporozhye National Technical University, Zhukovsky St., 64, Zaporozhye, Ukraine, 69096, tel. +38 (061) 769 83 62, e-mail glotka87@ukr.net, ORCID 0000-0002-5649-1094

³Dep. «Materials Technology», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 56, e-mail dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-7353-1916

PRODUCTION OF WELDMENTS FROM SINTERED TITANIUM ALLOYS

Purpose. Limited application of details from powder titanium alloys is connected with the difficulties in obtaining of long-length blanks, details of complex shape and large size. We can solve these problems by applying the

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

welding production technology. For this it is necessary to conduct a research of the structure and mechanical properties of welded joints of sintered titanium alloys produced by flash welding. **Methodology.** Titanium industrial powders, type PT5-1 were used as original substance. Forming of blanks, whose chemical composition corresponded to BT1-0 alloy, was carried out using the powder metallurgy method. Compounds were obtained by flash welding without preheating. Microstructural investigations and mechanical tests were carried out. To compare the results investigations of BT1-0 cast alloy were conducted. **Findings.** Samples of welded joints of sintered titanium blanks from VT1-0 alloy using the flash butt welding method were obtained. During welding the microstructure of basic metal consisting of grains of an α -phase, with sizes 40...70 mkm, is transformed for the seam weld and HAZ into the lamellar structure of an α -phase. The remaining pores in seam weld were practically absent; in the HAZ their size was up to 2 mkm, with 30 mkm in the basic metal. Attainable level of mechanical properties of the welded joint in sintered titanium alloys is comparable to the basic metal. **Originality.** Structure qualitative changes and attainable property complex of compounds of sintered titanium alloys, formed as a result of flash butt welding were found out. **Practical value.** The principal possibility of high-quality compounds obtaining of sintered titanium alloys by flash welding is shown. This gives a basis for wider application of sintered titanium alloys due to long-length blanks production that are correspond to deformable strand semi finished product.

Keywords: titanium alloys; powder metallurgy; welding; welding seam; heat-affected zone; structure; mechanical properties

REFERENCES

1. Bykovskiy O.H. *Zvariuvannia ta rizannia kolorovykh metaliv* [Welding and cutting of non-ferrous metals]. Zaporizhzhia, Vydavets Publ., 2011. 390 p.
2. Vakulenko I.O., Plitchenko S.O., Nadezhdin Yu.L. Vykorystannia tekhnolohii zvariuvannia tertiam z peremishuvanniam aliuminiievroho splavu [Use of friction welding with aluminum alloy mixing]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 41, pp. 230-233.
3. Vakulenko I.A., Plitchenko S.A. Tekhnologii svarki s ispolzovaniem razlichnykh istochnikov energii [Welding technologies with the use of different energy sources]. *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 24, pp. 197-198.
4. Ivasishin O.M., Savvakina D.G., Gumenyak N.M., Matviychuk M.V. Vlianiye vodoroda i legiruyushchikh elementov na osobennosti sinteza titanovykh splavov s ispolzovaniem gidrirovannogo titana [Effect of hydrogen and alloying elements on the characteristics of the synthesis of titanium alloys using hydrogenated titanium]. *Sbornik trudov mezhdunarodnoy konferentsii «Ti-2011 v SNG»* [Proc. of Int. Conf. «Ti-2011 in CIS»], Kyiv, 2011, pp. 322-328.
5. Ivanov A.P., Psyuk V.V., Ivanov I.A. Raspredeleniye temperaturnykh ostatochnykh napryazheniy v shvellakh pri nanesenii svarnogo shva [Temperature distribution of residual stresses in channels under application of welding seam]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 39, pp. 51-54.
6. Kulikovskiy R.A. Opredeleniye prochnosti soyedineniy titanovykh splavov, vypolnennykh svarkoy treniyem [Compound strength determination of titanium alloys, made by friction welding]. *Vestnik Donbasskoy gosudarstvennoy mashinostroitel'noy akademii* [Bulletin of Donbass State Engineering Academy], 2012, issue 3 (28), pp. 173-176.
7. Litvinov A.P. Resheniye problem svarki plavleniyem konstruktivnykh iz titanovykh polufabrikatov [Solving the problems of fusion welding of titanium semi-finished constructions]. *Nauchnyy Vestnik Donbasskoy gosudarstvennoy mashinostroitel'noy akademii* [Scientific Bulletin of Donbass State Engineering Academy], 2009, no. 1 (4E), pp. 123-128.
8. Anokhin V.M., Ognev R.K., Popov V.S., Dubrov G.L. Osobennosti svarki spechennykh titanovykh materialov i svoystva svarnykh elementov [Features of welding sintered titanium materials and properties of welded elements]. *Sbornik nauchnykh trudov Permskogo politekhnicheskogo instituta «Materialy sovremennoy tekhniki»* [Proc. of Perm Polytechnic Institute «Materials of contemporary engineering»], 1975, no. 174, pp. 151-154.
9. Pohreliuk I.M., Tkachuk O.V., Siryk Z.O. Zabezpechennia antykorozijnoho zakhystu i dekorativnoho zabarvlennia detaliam z tytanovykh splaviv pry khimiko-termichnii obrobtsi u kontrolovanomu

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

- azotokysnevismisnomu seredovysshchi [Provision of anticorrosive protection and pattern coating of details from titanium alloys under chemical and heat treatment in a controlled nitrogen oxygen environment]. *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. 220-224.
10. Bykov I.O., Ovchinnikov A.V., Davydov S.I., Drozdenko M.V., Lekhovitsner Z.V. Primeneniye gidrirovannogo titana s zadannym sodержaniyem kisloroda dlya polucheniya izdeliy metodom poroshkovoy metallurgii [Application of hydrogenated titanium with a given content of oxygen to produce goods by powder metallurgy method]. *Teoriya i praktika metallurgii – Theory and Practice of Metallurgy*, 2011, no. 1-2 (80-81), pp. 65-69.
 11. Ovchinnikov A.V., Kapustyan A.Ye., Shevchenko V.G., Davydov S.I., Pavlov V.V. Resursosberegayushchaya tekhnologiya polucheniya dlinnomernykh polufabrikatov iz titanovykh splavov metodom poroshkovoy metallurgii [Alternative technology for manufacture of elongated semi-finished from titanium alloys by powder metallurgy method]. *Tekhnologichni systemy – Technological systems*, 2013, no. 4, pp. 29-33.
 12. Lutfullin R.Ya., Kruglov A.A., Mukhametrakhimov M.Kh., Valiakhmetov O.R. Svarka davleniem pri izgotovlenii sfericheskikh sosudov iz titanovykh splavov v sostoyanii sverkhplastichnosti [Pressure welding in the spherical vessels manufacture from titanium alloys in a state of superplasticity]. *Svarochnoye proizvodstvo – Welding production*, 2004, no. 3, pp. 17-23.
 13. Lebedev V.K., Chernenko I.A., Mikhalski R., Vill V.I. *Svarka treniyem* [Friction Welding]. Leningrad, Mechanical Engineering Publ., 1987. 236 p.
 14. Skrebtsov A.A., Ovchinnikov A.V., Kapustyan A.Ye. Issledovaniye mekhanicheskikh svoystv svarnykh soyedineniy spechennykh titanovykh splavov [Mechanical properties investigation of welded joints of sintered titanium alloys]. *Zbirnyk naukovykh prats «Visnyk SevNTU»*. Seriya: Mekhanika, enerhetyka, ekolohiia [Proc. of «SevNTU Bulletin». Series: Mechanics, Energy, Environment], 2012, issue 132, pp. 14-17.
 15. Orlov B.D., Dmitriyev Yu.V., Chakalev A.A., Sidiyakin V.A., Marchenko A.L. *Tekhnologiya i oborudovaniye kontaktnoy svarki* [Technology and equipment of resistance welding]. Moscow, Mechanical Engineering Publ., 1975. 536 p.
 16. Muravyev V.I., Dorlotov B.I., Demyshev P.G., Fizulakuov R.A. Formirovaniye struktury metalla shva titanovykh splavov pri elektronno-luchevoy svarke i svarke volframovym elektrodom [Formation of weld metal structure of titanium alloys during electron beam welding and GTAW]. *Svarochnoye proizvodstvo – Welding production*, 2008, no. 7, pp. 28-32.
 17. Khorev A.I. Vysokoprochnyy titanovyy splav VT23 i yego primeneniye v perspektivnykh svarnykh i payanykh konstruksiyakh [High-strength titanium alloy VT23 and its application in prospective welded and brazed designs]. *Svarochnoye proizvodstvo – Welding production*, 2008, no. 9, pp. 3-8.
 18. Shabdinov M.L., Izmaylova G.M., Dzhemilov E.Sh. Perspektivnyye aspekty ispolzovaniya lazernoy termicheskoy tekhnologii dlya svarki i rezki titanovykh splavov [Promising aspects of laser thermal technology use for welding and cutting of titanium alloys]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu* [Bulletin of Khmelnytsk National University], 2011, no. 5, pp. 31-34.
 19. Vakulenko I.A., Nadezhdin Yu. L., Sokirko V.A., Volchok I.P., Mitiaev A.A. Electric pulse treatment of welded joint of aluminum. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 46, pp. 73-82.
 20. Li C., Muneharua K., Takao S., Kouji H. Fiber laser-GMA hybrid welding of commercially pure titanium. *Mater. and Des*, 2009, no. 1, pp. 109-114.
 21. Mathers G. Job knowledge. Welding of titanium and its alloys. Pt 2. *Connect : The Magazine and Journal of TWI and the Welding and Joining Society*, 2011, no. 170, pp. 4-5.
 22. Sutherlin R. The welding of titanium and its alloys. *Weld. J*, 2007, 86, no. 12, pp. 40-45.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. И. П. Волчком (Украина); д.т.н., проф. И. А. Вакуленко (Украина)

Поступила в редколлегию 14.03.2014

Принята к печати 28.04.2014

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

УДК 517.5

А. А. БОСОВ^{1*}, П. А. ЛОЗА^{2*}

^{1*}Каф. «Прикладная математика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 36, эл. почта aabosov@i.ua, ORCID 0000-0002-5348-2205

^{2*}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, ORCID 0000-0002-6698-5629

ПРОИЗВОДНАЯ ФУНКЦИИ МНОЖЕСТВА ПО МЕРЕ И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ (ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ЗАДАЧ)

Цель. В работе необходимо разработать теоретические основы для решения инвестиционных задач, представленных в виде функций множества как задач векторной оптимизации или задач на условный экстремум. **Методика.** В качестве исследования инвестиционных задач используются функции множества и их производные по мере. Доказывается необходимое условие минимума функции множества. В задачах на условный экстремум используется метод Лагранжа. Показано, что этот метод применим и для функций множества. Для доказательства используется мера, обобщающая меру А. Лебега, и вводится понятие предела последовательности множеств. Отмечается, что введенный предел по мере совпадает с классическим пределом по Э. Борелю и может быть использован при доказательстве существования производной от функции множества по мере на сходящейся последовательности множеств. **Результаты.** Предложен алгоритм решения инвестиционной задачи на условный экстремум применительно к задачам инвестирования. **Научная новизна.** Научная новизна состоит в том, что в многовариантных задачах на условный экстремум от непосредственного перебора можно отказаться, а использовать предлагаемый алгоритм построения (отбора) вариантов, которые позволяют строить выпуклую линейную огибающую решения по Парето. Данная огибающая позволяет лицу, принимающему решения (ЛПР), выбрать такие варианты, которые «лучше» с его позиции, и учитывать некоторые критерии, формализация которых затруднена или они не могут быть описаны в математических терминах. **Практическая значимость.** Результаты исследования дают необходимое теоретическое обоснование принятия решений в инвестиционных задачах, когда объектов инвестирования значительное число и непосредственный перебор вариантов весьма затруднителен по затратам времени даже для современной вычислительной техники.

Ключевые слова: алгебра множеств; функции множества по мере; производные функции множества по мере; пределы последовательности множеств

Введение

Среди множества задач инвестирования необходимо выделить наиболее часто встречающиеся, когда надо найти максимум функции

$$F(x) = \sum_{i=1}^n f(x_i)$$

при условии

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

$$\sum_{i=1}^n f(x_i) = c,$$

где x_i – объем инвестирования, i -го объекта; c – капитал, который необходимо распределить по n объектам (предприятиям); $F(x)$ – прибыль от распределения инвестиций по предприятиям.

С математической точки зрения данная задача представляет собой многомерную задачу на условный максимум. Р. Беллман [2] предложил свести эту задачу к решению n задач одномерной оптимизации, что позволяет значительно упростить поиск максимума исходной многомерной задачи.

В работах [9, 10] предложено усовершенствованные алгоритмы процедуры Р. Беллмана.

Основным недостатком подобного подхода к решению рационального инвестирования является отсутствие возможности вариации перечнем объектов инвестирования. Еще одним из недостатков является отсутствие определения последовательности вложения капитала. Заметим, что вариацию набора предприятий можно произвести, но тогда необходимо решить 2^n подобных задач.

Так, например, при $n=100$ должно быть решено 2^{100} задач. И если быстроедействие такое, что за одну миллионную долю секунды решается одна задача, то потребуются непрерывно работать $4 \cdot 10^{14}$ веков, что значительно более существования жизни на земле.

Другими словами имеем неполиномиальной сложности задачу [1, 5], что приводит к необходимости разработки нового математического аппарата.

Цель

Разработать теоретические основы для решения инвестиционных задач, представленных в виде функций множества как задач векторной оптимизации или задач на условный экстремум.

Методика

Предложены основы исчисления функций множества.

Введена производная от функции множества по мере и получено необходимое условие минимума функции множества.

Доказана возможность применения метода Лагранжа в задачах на условный экстремум в терминах функций множества.

Постановка проблемы. В работе [2] приводится предположение А. Коши, которое заключается в том, что любой показатель может быть измерен, если математической моделью его является функция множества.

В данной работе предлагается построение исчисления функций множества и ее производной для решения задач оптимизации.

Функции множества. Мера. Пусть Ω некоторое множество, а $\mathfrak{A}(\Omega)$ – класс подмножеств множества Ω .

Относительно $\mathfrak{A}(\Omega)$ считаем, что оно обладает следующими свойствами:

1. $\forall A, B \in \mathfrak{A}(\Omega) \rightarrow A \cup B \in \mathfrak{A}(\Omega)$;
2. $\forall A, B \in \mathfrak{A}(\Omega) \rightarrow A \setminus B \in \mathfrak{A}(\Omega)$;
3. $\Omega \in \mathfrak{A}(\Omega)$.

Другими словами $\mathfrak{A}(\Omega)$ представляет собой алгебру. На классе $\mathfrak{A}(\Omega)$ определяем отображение

$$\mathfrak{A}(\Omega) \xrightarrow{F} R,$$

где F – некоторое правило сопоставления $\forall A \in \mathfrak{A}(\Omega)$ действительного числа $F(A) \in R$.

В дальнейшем $F(A)$ будем называть функцией множества, областью определения которой является $\mathfrak{A}(\Omega)$, а областью значений – действительная ось R [12].

Среди всевозможных функций множества выбираем такую, которая обладает следующими свойствами:

- C1. $\forall A \in \mathfrak{A}(\Omega) \rightarrow \mu(A) \geq 0$;
- C2. Если $\mu(A) = 0$, то $A = \emptyset$;
- C3. $\forall A, B \in \mathfrak{A}(\Omega)$ имеет место

$$\mu(A \cup B) = \mu(A) + \mu(B) - \mu(A \cap B)$$
- C4. $\forall \{B_n\}_{n=1,2,\dots} \xrightarrow{B} B; \lim_{x \rightarrow \infty} \mu(B_n) = \mu(\lim_{x \rightarrow \infty} B_n)$.

Свойство C4 требует более подробного рассмотрения. Если имеется некоторая последовательность $\{B_n\}_{n=1,2,\dots}$, то Э. Борель [11] вводит два множества:

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

$\bar{B}$ – верхний предел последовательности $\{B_n\}$, т. е. если $x \in \bar{B}$, то данный x принадлежит бесконечному числу множеств их последовательности $\{B_n\}$; $\underline{B}$ – нижний предел последовательности $\{B_n\}$, т. е. если $x \in \underline{B}$, то можно указать такой номер $n(x)$, что для всех $n \geq n(x)$ данные $x \in B_n$.

Определение 1. Если $\bar{B} = \underline{B}$, то по Борелю данная последовательность сходится, а $B_* = \bar{B} = \underline{B}$ называется пределом последовательности $\{B_n\}_{n=1,2,\dots}$.

Определение 2. Будем говорить, что множество B является пределом последовательности $\{B_n\}_{n=1,2,\dots}$, если имеет место

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \mu(B \Delta B_n) = 0, \quad (1)$$

где Δ – операция симметричной разницы двух множеств.

Теорема 1. Если существует предел по Борелю B_* , то существует и B . Если существует B , то существует и B_* , более того они совпадают.

Доказательство данной теоремы приведено в работе [1].

Определение 3. Функцию множества $F(A)$ будем называть непрерывной при A , если для любой последовательности $\{A_n\}$, сходящейся к A имеет место

$$\lim_{n \rightarrow \infty} F(A_n) = F(A). \quad (2)$$

В силу данного определения С4 необходимо понимать как тот факт, что $\mu(A)$ – непрерывная функция множества. В дальнейшем функцию $\mu(A)$ будем называть мерой на классе $\mathfrak{A}(\Omega)$ [4, 6].

Отметим некоторое свойство непрерывных функций множества. Если $F_1(A)$ и $F_2(A)$ – непрерывные функции множества, то

- 1) $F_1(A) + F_2(A)$ – непрерывна;
- 2) $F_1(A) \cdot F_2(A)$ – непрерывна;
- 3) $F_1(A)/F_2(A)$ – непрерывна при $F_2(A) \neq 0$;

4) если $\Phi(x)$ – непрерывная функция переменной x , то $\Phi(F(A))$ – непрерывная функция множества [13].

Соотношение (2) можно переписать на языке $\varepsilon \cdot \delta$ следующим образом:

Если функция $F(A)$ непрерывна, тогда по заданному $\varepsilon > 0$ можно указать такое $\delta(\varepsilon)$, что если $\mu(A \Delta B) < \delta(\varepsilon)$, то $|F(A) - F(B)| < \varepsilon$.

Данным представлением непрерывности удобно пользоваться при доказательстве свойств непрерывности функции множества.

В качестве примера, докажем свойство 3.

Прежде всего, оценим разность

$$\left| \frac{F_1(A)}{F_2(A)} - \frac{F_1(B)}{F_2(B)} \right| \leq \frac{|F_2(B)| + |F_1(B)|}{|F_2(A)| \cdot |F_2(B)|} \cdot \varepsilon_1,$$

где $\varepsilon_1 = \max\{|F_1(A) - F_1(B)|, |F_2(A) - F_2(B)|\}$.

Тогда, выбирая $\varepsilon > 0$ так, что

$$\varepsilon_1 \frac{|F_2(B)| + |F_1(B)|}{|F_2(A)| \cdot |F_2(B)|} < \varepsilon$$

И $\delta(\varepsilon)$ таким, что $\mu(A \Delta B) < \delta(\varepsilon)$,

Получаем доказательство непрерывности отношения непрерывных функций.

Правда, при этом необходимо оговаривать, что функции $F_1(A)$ и $F_2(A)$ ограничены и $F_2(B)$ не равны нулю [7].

Определение 4. Множество $C = A \Delta B$ будем называть вариацией множества A с помощью множества B [8]. Так как $A \Delta B = (A \setminus B) \cup (B \setminus A)$, то множество $C = A \Delta B \in \mathfrak{A}(\Omega)$.

Пусть имеем некоторую последовательность $\{B_n\}_{n=1,2,\dots}$, сходящуюся к множеству B , и рассмотрим последовательность чисел

$$a_n = \frac{F(A \Delta B_n) - F(A)}{\mu(A \Delta B_n) - \mu(A)}, \quad n = 1, 2, \dots$$

Производная по мере.

Определение 5. Если предел чисел a_n существует, то его будем называть производной

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

функції множення по мере на послідовальності $\{B_n\}$ і записувати в виде

$$\left. \frac{dF(A)}{d\mu} \right|_{\{B_n\} \rightarrow B} \triangleq \lim_{n \rightarrow \infty} a_n. \quad (3)$$

Очевидно, в силу свойства 3 даний предел существует, если функция $F(A)$ непрерывна и мера $\mu(A)$ в силу С4 так же непрерывна.

Основная задача. Необходимо найти такое множество $A_* \in \mathfrak{A}(\Omega)$, что

$$F_1(A_*) \leq F_2(A) \quad (4)$$

для любого $A \in \mathfrak{A}(\Omega)$.

Теорема 2. Если множество A_* таково, что имеет место (4), то с необходимостью должно выполняться для непрерывной функции $F(A)$ соотношение

$$\left. \frac{dF(A)}{d\mu} \right|_{\{B_n\} \rightarrow B \subset A_*} \leq 0. \quad (5)$$

Доказательство. В силу того, что A_* доставляет минимум функции $F(A)$, имеем

$$\Delta F_n = F(A_* \Delta B_n) - F(A_*) \geq 0.$$

А меру можно представить в виде $\Delta \mu_n = \mu(A_* \Delta B_n) - \mu(A_*) = \mu(A_n) - 2\mu(A_* \cap B_n)$.

Тогда при некотором n_* , начиная с которого $B_n \subset A_*$, получаем $\Delta \mu_n = -\mu(B_n)$.

$$\text{И тогда } a_n = \frac{F(A_* \Delta B_n) - F(A_*)}{\mu(A_* \Delta B_n) - \mu(A_*)} \leq 0.$$

Откуда следует, что и предел $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n \leq 0$, что и доказывает теорему.

В качестве примера, рассмотрим функцию множества равную

$$F(A) = \sum_{\omega \in A} f(\omega). \quad (6)$$

Прежде всего отметим, что для непрерывной функции множества имеет место

$$\left. \frac{dF(A)}{d\mu} \right|_{\{B_n\} \rightarrow B} = \frac{F(A \Delta B) - F(A)}{\mu(A \Delta B) - \mu(A)}. \quad (7)$$

И если $B = \{\omega\} \in A$, то производная функции (6) будет равна

$$\frac{f(\omega)}{\mu(\{\omega\})} \leq 0.$$

Тогда множество A с необходимостью представляет собой $A = \{\omega \in \Omega : f(\omega) \leq 0\}$.

Вводя седловую пару $\langle A_*, t^* \rangle$, где A_* – множество, а t^* – неопределенный множитель Лагранжа, и применяя теорему и лемму из работы [3, 10], получаем доказательство метода Лагранжа в задаче на условный экстремум для функций множества. Таким образом, задача на условный экстремум

$$F_1(A) \rightarrow \min$$

при условии

$$F_2(A) = M$$

сводится к поиску минимума функции Лагранжа

$$\mathfrak{J}(A, t) = F_1(A) + t(M - F_2(A)) \rightarrow \min.$$

Так например, когда $F_1(A) = \sum_{\omega \in A} c(\omega)$, $F_2(A) = \sum_{\omega \in A} p(\omega)$, то функция Лагранжа будет следующей

$$\mathfrak{J}(A, t) = \sum_{\omega \in A} c(\omega) + t \left(M - \sum_{\omega \in A} p(\omega) \right),$$

а ее производная при $\{B_n\} \rightarrow \{\omega\} \in A$ принимает вид

$$\left. \frac{d\mathfrak{J}(A, t)}{d\mu} \right|_{\{B_n\} \rightarrow \{\omega\} \in AB} = \frac{c(\omega) - tp(\omega)}{\mu(\{\omega\})}.$$

И в силу теоремы 2 имеем

$$A_t = \{\omega \in \Omega : c(\omega) - tp(\omega) \leq 0\},$$

а значение t^* определяем из соотношения

$$F_2(A_t) = M.$$

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Числовой пример. Рассмотрим числовой пример, когда Ω некоторый набор мероприятий, а $c(\omega)$ – затраты средств на реализацию мероприятия ω , $p(\omega)$ – прибыль от реализации данного мероприятия. Числовые данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Table 1

ω	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5
$c(\omega)$	2	4	3	5	6
$p(\omega)$	1	3	2	7	5
$t = \frac{c(\omega)}{p(\omega)}$	2	1,3	1,5	0,71	1,2
Порядок формирования множества	5	3	4	1	2
A_t					

В силу того, что $p(\omega) > 0$ множества A_t можно представить в виде

$$A_t = \left\{ \omega \in \Omega : \frac{c(\omega)}{p(\omega)} \leq t \right\}.$$

Перебирая t из табл. 1, получим последовательность множеств A_t , а также $F_1(A_t)$ и $F_2(A_t)$ и результат сведем в табл. 2.

Таблица 2

Table 2

t	A_t	$F_1(A_t)$	$F_2(A_t)$
0,71	$\{\omega_4\}$	5	6
1,2	$\{\omega_4, \omega_5\}$	11	12
1,3	$\{\omega_2, \omega_4, \omega_5\}$	15	15
1,5	$\{\omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5\}$	18	17
2	Ω	20	18

Так, если $M=18$, то $t^*=1,5$, а множество A_{t^*} будет следующим $A_{t^*} = \{\omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5\}$, при этом $F_2(A_{t^*})=17$.

Значения всех 32 вариантов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Table 3

№ пор.	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	F_1	F_2
1					1	5	6
2				1		7	5
3				1	1	11	12
4			1			3	2
5			1		1	9	7
6			1	1		8	9
7			1	1	1	14	14
8		1				4	2
9		1			1	10	8
10		1		1		9	10
11		1		1	1	15	15
12		1	1			7	5
13		1	1		1	13	10
14		1	1	1		12	12
15		1	1	1	1	18	17
16	1					2	1
17	1				1	8	6
18	1			1		7	8
19	1			1	1	13	13
20	1		1			5	3
21	1		1		1	11	8
22	1		1	1		10	10
23	1		1	1	1	16	15
24	1	1				6	4
25	1	1			1	12	9
26	1	1		1		11	9
27	1	1		1	1	17	14
28	1	1	1			9	6
29	1	1	1		1	15	11
30	1	1	1	1		14	13
31		1	1	1	1	20	18

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Все варианты S из табл. 2 и 3 представлены на рис. 1. Ломаная, проведенная по точкам *, представляет собой огибающую всех вариантов из S .

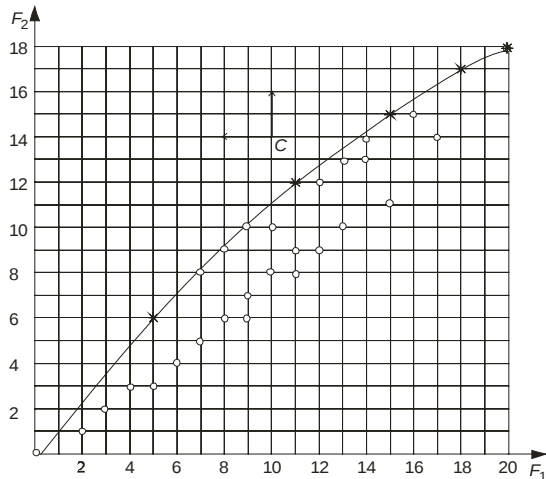


Рис. 1. Все варианты S из табл. 3 (o) и варианты из табл. 2 (*)

Fig. 1. All variants of S from the Table 3 (o) and variants from the Table 2 (*)

На рис. 1 представлен конус Парето с вершиной в точке C .

Решение по Парето определяется из необходимого и достаточного условия

$$S \cap KP(c) = \{c\},$$

где $KP(c)$ – конус Парето с вершиной в точке C .

Результаты

Предложен алгоритм решения инвестиционной задачи на условный экстремум применительно к задачам инвестирования.

Научная новизна и практическая значимость

Получен алгоритм приближенного решения NP -задач, который применим для оценки эффективности инвестиционных вложений.

Выводы

1. Если обозначить через S_* точки из табл. 2, а через S_p решение по Парето, то имеет место соотношение $S_* \subseteq S_p$.

2. Таким образом, для построения S_* необходимо рассмотреть только 5 вариантов (табл. 2), а чтобы построить S_p необходимо рассматривать все 32 варианта из табл. 3.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андерсон, Дж. Дискретная математика и комбинаторика / Дж. Андерсон. – М. : Изд. дом «Вильямс», 2004. – 530 с.
2. Беллман, Р. Динамическое программирование / Р. Беллман. – М. : ИЛ, 1960. – 401 с.
3. Босов, А. А. Функции множества и их применение : учеб. пособие / А. А. Босов. – Днепропетровск : Изд. дом «Андрей», 2007. – 182 с.
4. Босов, А. А. Об одном подходе определения меры и ее применения / А. А. Босов, К. В. Елисеев // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 34. – С. 176–179.
5. Босов, А. А. Обоснование эвристического алгоритма в задаче о ранце / А. А. Босов, А. В. Горбова, Н. В. Халипова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 170–175.
6. Васильев, Ф. П. Численные методы решения экстремальных задач / Ф. П. Васильев. – М. : Наука, 1980. – 518 с.
7. Лазарев, А. А. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы / А. А. Лазарев, Е. Р. Гафаров. – М. : Изд-во Моск. гос. ун-та им. М. В. Ломоносова, 2011. – 222 с.
8. Лебег, Анри. Интегрирование и отыскивание примитивных функций / Анри Лебег. – М. : Гос. техн.-теорет. изд-во, 1934. – 324 с.
9. Линейное и нелинейное программирование / И. Н. Ляшенко, Е. А. Карагодова, Н. В. Черников, Н. З. Шор. – К. : Вища шк., 1975. – 370 с.
10. Моисеев, Н. Н. Элементы теории оптимальных систем / Н. Н. Моисеев. – М. : Наука, 1975. – 530 с.
11. An exact algorithm for project scheduling with recourse constraints based on new mathematical formulation / A. Mingozzi, V. Maniezzo, S. Ricciardellis, L. Bianco // Management Science. – 1998. – Vol. 44. – P. 714–729.
12. Borel, E. Les probabilités dénombrables et leurs applications arithmétiques / E. Borel // Rend. Circ. Mat. Palermo. – 1909. – № 27. – P. 247–271.
13. Kuratowski, A. Set theory with an introduction to descriptive set theory / A. Kuratowski, A. Mostowski. – Warszawa : PWN, 1976. – 508 p.

А. А. БОСОВ^{1*}, П. О. ЛОЗА^{2*}

^{1*}Каф. «Прикладна математика», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 36, ел. пошта aabosov@i.ua, ORCID 0000-0002-5348-2205

^{2*}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, ORCID 0000-0002-6698-5629

ПОХІДНА ФУНКЦІЇ МНОЖИНИ ЗА МІРОЮ ТА ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ (ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ЗАДАЧ)

Мета. У роботі необхідно розробити теоретичні основи для вирішення інвестиційних завдань, представлених у вигляді функцій множини як задач векторної оптимізації або завдань на умовний екстремум. **Методика.** В якості дослідження інвестиційних задач використовуються функції множини та їх похідні за мірою. Доводиться необхідна умова мінімуму функції множини. У завданнях на умовний екстремум використовується метод Лагранжа. Показано, що цей метод можна застосовувати й для функцій множини. Для доказу використовується міра, узагальнююча міру А. Лебега, і вводиться поняття межі послідовності безлічі множин. Відзначається, що введена межа за мірою збігається з класичною межею за Е. Борелем та може бути використана при доведенні існування похідної від функції множини за мірою, що сходиться на послідовності множин. **Результати.** Запропоновано алгоритм розв'язання інвестиційної задачі на умовний екстремум стосовно завдань інвестування. **Наукова новизна.** Наукова новизна полягає в тому, що в багатоваріантних задачах на умовний екстремум від безпосереднього перебору можна відмовитись, а використовувати запропонований алгоритм побудови (відбору) варіантів, який дозволяє будувати опуклу лінійну огинаючу рішення за Парето. Дана огинаюча дозволяє особі, яка приймає рішення (ОПР), вибрати такі варіанти, які «краще» з його позиції і враховувати деякі критерії, формалізація яких ускладнена або вони не можуть бути описані в математичних термінах. **Практична значимість.** Результати дослідження дають необхідне теоретичне обґрунтування прийняття рішень в інвестиційних завданнях, коли об'єктів інвестування значна кількість і безпосередній перебір варіантів вельми скрутний за витратами часу навіть для сучасної обчислювальної техніки.

Ключові слова: алгебра множин; функції множини за мірою; похідні функції множини за мірою; межі послідовності множин

А. А. BOSOV^{1*}, P. A. LOZA^{2*}

^{1*}Dep. «Applied Mathematics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 36, e-mail aabosov@i.ua, ORCID 0000-0002-5348-2205

^{2*}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, ORCID 0000-0002-6698-5629

DERIVATIVE OF SET MEASURE FUNCTIONS AND ITS APPLICATION (THEORETICAL BASES OF INVESTMENT OBJECTIVES)

Purpose. It is necessary to develop the theoretical fundamentals for solving the investment objectives presented in the form of set function as vector optimization tasks or tasks of constrained extremum. **Methodology.** Set functions and their derivatives of measure are used as research of investment objectives. Necessary condition of set function minimum is proved. In the tasks for constrained extremum the method of Lagrange is used. It is shown that this method can also be used for the set function. It is used the measure for proof, which generalizes the Lebesgue measure, and the concept of set sequence limit is introduced. It is noted that the introduced limit over a measure coincides with the classical Borel limit and can be used in order to prove the existence of derivative from set function over a measure on convergent of sets sequence. **Findings.** An algorithm of solving the investment objective for constrained extremum in relation to investment objectives was offered. **Originality.** Scientific novelty lies in the fact that in multivariate objects for constrained extremum one can refuse from immediate enumeration. One can use the

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

proposed algorithm of constructing (selection) of options that allow building a convex linear envelope of Pareto solutions. This envelope will let the person who makes a decision (DM), select those options that are "better" from a position of DM, and consider some of the criteria, the formalization of which are difficult or can not be described in mathematical terms. **Practical value.** Results of the study provide the necessary theoretical substantiation of decision-making in investment objectives, when there is a significant number of an investment objects and immediate enumeration of options is very difficult on time costs even for modern computing techniques.

Keywords: algebra of sets; set function over a measure; derivative set function over a measure; sets sequence limit

REFERENCES

1. Anderson Dzh. *Diskretnaya matematika i kombinatorika* [Discrete mathematics and combinatorics]. Moscow, Izd. dom «Vilyams» Publ., 2004. 530 p.
2. Bellman R. *Dinamicheskoye programirovaniye* [Dynamic Programming]. Moscow, IL Publ., 1960. 401 p.
3. Bosov A.A. *Funktsii mnozhestva i ikh primeneniye* [Set functions and their applications]. Dneprodzerzhinsk, Izd. dom «Andrey» Publ., 2007. 182 p.
4. Bosov A.A., Yeliseyenko K.V. Ob odnom podkhode opredeleniya mery i yeye primeneniya [About one approach of measure determination and its application]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 34, pp. 176-179.
5. Bosov A.A., Gorbova A.V., Khalipova N.V. Obosnovaniye evristicheskogo algoritma v zadache o rantse [Justification of a heuristic algorithm in a knapsack problem]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 170-175.
6. Vasilyev F.P. *Chislennyye metody resheniya ekstremalnykh zadach* [Numerical methods for solving extremal problems]. Moscow, Nauka Publ., 1980. 518 p.
7. Lazarev A.A., Gafarov Ye.R. *Teoriya raspisaniy. Zadachi i algoritmy* [Scheduling theory. Problems and algorithms]. Moscow, Izd-vo Mosk. gos. un-ta im. M. V. Lomonosova Publ., 2011. 222 p.
8. Lebeg Anri. *Integrirovaniye i otyskivaniye primitivnykh funktsiy* [Integration and search of primitive functions]. Moscow, Gos. tekhn.-teoret. izd-vo Publ., 1934. 324 p.
9. Lyashenko I.N., Karagodova Ye.A., Chernikov N.V., Shor N.Z. *Lineynoye i nelineynoye programmirovaniye* [Linear and nonlinear programming]. Kyiv, Vishcha shkola Publ., 1975. 370 p.
10. Moiseyev N.N. *Elementy teorii optimalnykh sistem* [Elements of optimal systems theory]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 530 p.
11. Mingozi A., Maniezzo V., Ricciarddellis S, Bianco L. An exact algorithm for project scheduling with recourse constraints based on new mathematical formulation. *Management Science*, 1998, vol. 44, pp. 714-729.
12. Borel E. Les probabilités dénombrables et leurs applications arithmétiques. *Rend. Circ. Mat. Palermo*, 1909, no. 27, pp. 247-271.
13. Kuratowski A., Mostowski A. *Set theory with an introduction to descriptive set theory*. Warszawa, PWN Publ., 1976. 508 p.

Статья рекомендована к публикации д.физ.-мат.н., проф. С. А. Пичуговым (Украина); д.т.н., проф. А. И. Михалевым (Украина)

Поступила в редколлегию 10.03.2014

Принята к печати 30.04.2014

УДК 621.822.8:629.4.027.5

А. В. ГАЙДАМАКА^{1*}

^{1*}Каф. «Детали машин и прикладная механика», Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, Харьков, Украина, 61002, тел. +38 (057) 707 64 55, эл. почта gaydamaka_av@mail.ua, ORCID 0000-0002-6952-4086

МОДЕЛИ КИНЕМАТИКИ И ДИНАМИКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РОЛИКОПОДШИПНИКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Цель. Отсутствие моделей кинематики и несовершенство известных моделей динамики роликоподшипников букс железнодорожного подвижного состава не позволяет проектировать оптимальные конструкции сепараторов, обеспечивающих требуемую долговечность и надежность подшипниковых узлов колесных пар вагонов и локомотивов. Поэтому в работе необходимо провести исследования кинематики и динамики роликоподшипников букс вагонов и локомотивов, а также построить модели взаимодействия их деталей для создания аналитического метода расчета сепараторов. **Методика.** Поставленная цель достигнута за счет построения моделей кинематики идеального (без зазоров) и реального (с учетом зазоров, погрешностей изготовления и монтажа) подшипников, обоснования механизма передачи движения от роликов к сепаратору, построения моделей динамики качения роликов, исследования сил взаимодействия роликов с сепаратором. **Результаты.** Установлено, что кинематику идеального подшипника определяют контактные деформации роликов и колец, а кинематика реального подшипника зависит преимущественно от боковых зазоров в окнах сепаратора. На основе исследований кинематики реального подшипника построены модели динамики взаимодействия роликов с сепаратором. Проведенные исследования кинематики и динамики подшипников качения изменили представления о них как о планетарном механизме, объяснили причину нагружения сепаратора, подтвердили возможность их разрушения в эксплуатации. **Научная новизна.** Впервые предложен механизм передачи движения от роликов к сепаратору роликоподшипников, состоящий в том, что боковой зазор в окне сепаратора уменьшается постепенно – кратно количеству роликов зоны радиального нагружения по мере перемещения сепаратора. Усовершенствованы модели динамики роликоподшипников, позволяющие рассчитать силы взаимодействия деталей для любых режимов эксплуатации. **Практическая значимость.** Использование предложенных моделей кинематики и динамики роликоподшипников позволит разработать метод аналитического расчета сепаратора для выбора его оптимальной конструкции по критерию максимальной долговечности и надежности подшипникового узла колесных пар железнодорожного подвижного состава.

Ключевые слова: сепараторы; ролики; подшипники; зоны радиального нагружения; кинематика; динамика; силы взаимодействия

Введение

Безопасность эксплуатации железнодорожного подвижного состава в значительной мере зависит от надежности буксовых узлов колесных пар [5, 6]. Однако, у роликоподшипников букс вагонов в эксплуатации наблюдаются усталостные разрушения сепараторов [2].

До сих пор проектирование рамных конструкций сепараторов подшипников качения основывается на выборе их геометрических параметров по эмпирическим формулам, таблицам и графикам [7]. Проверочные расчеты прочности и жесткости сепараторов выполняются с использованием численных методов и экспериментально определенных нагрузок, что иногда связано со значительными материальными

затратами. Поэтому актуальным является разработка аналитического метода расчета сепаратора подшипников качения. Аналитический метод расчета сепаратора должен основываться на информации, во-первых, о точках приложения сил к его конструкции, во-вторых, о направлении действия сил, и, в-третьих, о величинах сил. Точки приложения сил к сепаратору и направления их действия могут быть выяснены на основе исследования кинематики подшипников, а величины сил определяются по результатам исследования динамики. Таким образом, исследования кинематики и динамики роликоподшипников букс вагонов и локомотивов являются необходимым этапом в разработке аналитического метода расчета сепаратора.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Цель

Цель работы – исследования кинематики и динамики роликоподшипников букс вагонов и локомотивов и построение моделей взаимодействия деталей.

Методика

Поставленная цель достигается за счет построения моделей кинематики идеального (без зазоров) и реального (с учетом зазоров, погрешностей изготовления и монтажа) подшипников, обоснования механизма передачи движения от роликов к сепаратору, построения моделей динамики качения роликов, исследования сил взаимодействия роликов с сепаратором.

Кинематика подшипников. В известных публикациях [1, 2, 8–13] по работоспособности подшипников исследования кинематики деталей отсутствуют.

Анализ угловой скорости роликов ω'_{py} в зоне радиального нагружения идеального подшипника показал, что причиной изменения их скорости, а значит и скорости сепаратора, являются деформации δ_n и δ_e в контакте с наружным и внутренним кольцами

$$\omega'_{py} = \frac{\omega_e \cdot d_e (D_w - \delta_3 \cos \gamma_i)}{2 (d_e + D_w - 2\delta_e \cos \gamma_i) (D_w - 2(\delta_3 + \delta_e) \cos \gamma_i)}, \quad (1)$$

где ω_e – угловая скорость подшипника; D_w – диаметр ролика; d_e – диаметр внутреннего кольца; γ_i – угловое положение i -го ролика.

Бóльшие контактные деформации ролика в центре зоны радиального нагружения, чем по краям, обуславливают его надавливание на перемычку сепаратора идеального подшипника, ускоряя движение сепаратора. Надавливание тем большее, чем больше нагрузка на подшипник. Иллюстрацией этого вывода являются расчеты угловой скорости ролика в зоне радиального нагружения ψ (рис. 1) для цилиндрического роликоподшипника типа 2 726, применяемого в буксах вагонов (частота вращения подшипника $n_e = 1\,000 \text{ мин}^{-1}$, радиальная нагрузка на подшипник $F_r = 30 \dots 50 \text{ кН}$).

Таким образом, причина изменения скорости сепаратора идеального роликоподшипника обус-

ловлена контактными деформациями роликов и колец от внешнего радиального нагружения.

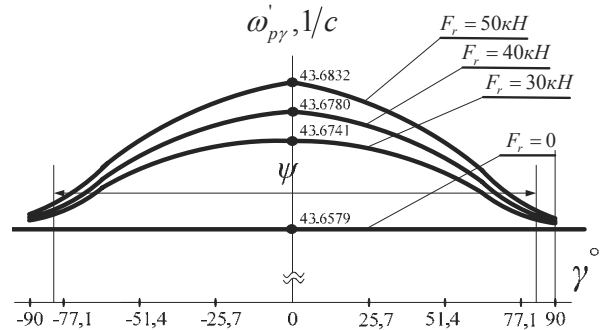


Рис. 1. Расчетная угловая скорость роликов и сепаратора идеального подшипника

Fig. 1. Calculated angular speed of roller and cage of ideal bearing

Основная причина изменения скорости сепаратора в зоне радиального нагружения неидеального подшипника (рис. 2) установлена путем сопоставления разницы перемещений ролика, обусловленных совокупным влиянием конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов.

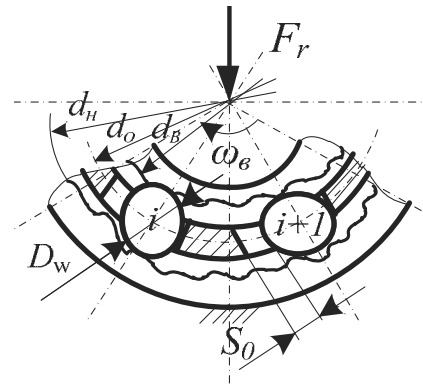


Рис. 2. Фрагмент зоны радиального нагружения подшипника

Fig. 2. Fragment of the area of bearing radial loading

Факторы конструктивные: боковой зазор в окне сепаратора S_0 (определяется конструкцией) и неточности геометрических размеров деталей ΔS_1 (определяются математической моделью); факторы технологические: ошибки сборки подшипникового узла ΔS_2 (определяются статистическими исследованиями); факторы эксплуатационные: контактные деформации деталей ΔS_3 (определяются формулами

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Герца) и повороты роликов при перекосе колец ΔS_4 (определяются конструкцией подшипника).

Расчеты перемещений ролика, обусловленных вышеуказанными факторами, выполнено автором [3] на примере роликоподшипника типа 2 726 с боковым зазором в окнах сепаратора $S_0 = 0,8$ мм при $F_r = 50$ кН. Установлено, что $\Delta S_1 \leq 0,33$ мкм, $\Delta S_2 \leq 1$ мкм, $\Delta S_3 \leq 5$ мкм, $\Delta S_4 = 0,258$ мм, причем всегда справедливо условие $\Delta S_4 < S_0$ для обеспечения свободного перемещения ролика, и поэтому $S_0 = (2...3)\Delta S_\Sigma$, где $\Delta S_\Sigma = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \Delta S_4$.

Следовательно, основной причиной изменения скорости сепаратора, передачи движения от роликов к сепаратору и нагружения сепаратора в зоне радиального нагружения неидеального подшипника являются боковые зазоры в окнах сепаратора.

По результатам исследования причин изменения скорости сепаратора в зоне радиального нагружения неидеального подшипника предложен механизм передачи движения от роликов к сепаратору, который поясняется схемой на рис. 3.

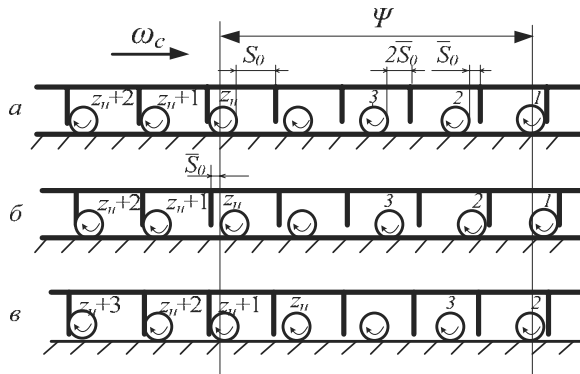


Рис. 3. Схематическое представление механизма передачи движения от роликов к сепаратору в зоне радиального нагружения подшипника

Fig. 3. Schematic representation of motion transmission mechanism from the roller to the cage in the area of radial loading of bearing

В исходном положении (рис. 3, а) все ролики (1, 2, ..., z_n) зоны радиального нагружения ψ имеют одинаковую скорость. Ролик 1, выходя из зоны нагружения, теряет тяговую способность и останавливается вместе с сепаратором. Ролик 2 вместе с остальными роликами перемещается на расстояние $\bar{S}_0$ и становится тяговым (рис. 3, б),

то есть перемещает сепаратор с группой роликов $z_n + 1, z_n + 2$, и так далее, которые находятся вне зоны нагружения. Тяговая способность ролика 2 сохраняется до момента, когда он займет положение ролика 1 (рис. 3, в). Потом цикл «нагружение-перемещение-остановка» сепаратора повторится роликом 3, и так далее с постепенным уменьшением бокового зазора S_0 между перемычкой и роликом z_n .

Упорядоченный характер движения роликов в подшипнике подтверждается экспериментальным исследованием кинематики американскими учеными с помощью скоростной киносъемки и фотоупругих покрытий на сепараторе [1]. Установлено, что на входе в зону нагружения подшипника ролик касается задней перемычки, в середине – ролик располагается между перемычками, на выходе – ролик находится у передней перемычки.

Таким образом, кинематику деталей реального подшипника в зоне радиального нагружения определяют боковые зазоры в окнах сепаратора, а предложенный механизм передачи движения от роликов к сепаратору поясняет процедуру появления, реализации и потери тяговой способности роликов.

Динамика подшипников. Модели динамики подшипника представлены плоским качением роликов в средней части (рис. 4) и на выходе из зоны ψ нагружения подшипника (рис. 5) при отсутствии проскальзывания с учетом предложенного механизма передачи движения от роликов к сепаратору.

Динамика качения ролика на входе в зону ψ нагружения подшипника предполагается такой же, как на ее выходе.

Ролик, ведомый силой трения качения $F_{f\theta}$ с внутренним кольцом в средней части зоны нагружения (рис. 4), встречает сопротивление силы трения качения $F_{f\beta}$ со стороны наружного кольца и моментов трения соответственно $2\kappa(F_{r\beta} + F_{r\theta})$, $F_{\theta}(D_w - h_{\theta})$ от составляющих радиального нагружения F_r и от составляющих осевого нагружения F_a . На выходе из зоны нагружения (рис. 5) дополнительно появляются силы сопротивления движения ролика со стороны сепаратора – F_c и $f \cdot F_c$.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

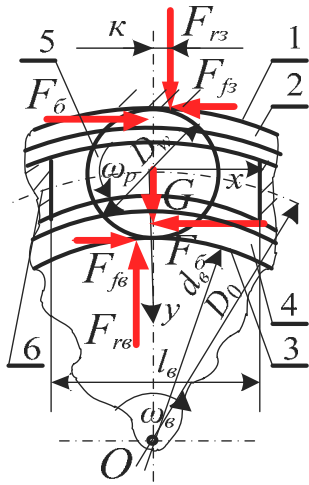


Рис. 4. Модель динамики подшипника в средней части зоны радиального нагружения:

1 – внешнее кольцо; 2 – борт внешнего кольца;
3 – внутреннее кольцо; 4 – борт внутреннего кольца;
5 – ролик; 6 – сепаратор

Fig. 4. Dynamics model of bearing in the middle of radial loading area:

1 – external ring; 2 – border of external ring;
3 – internal ring; 4 – border of internal ring; 5 – roller; 6 – cage

– уравнения качения ролика в средней части зоны нагружения без проскальзывания

$$m \ddot{x}_c = F_{f_n}(\varphi) + F_{f_\delta}(\varphi); \quad (9)$$

$$m \ddot{y}_c = F_{r_n}(\varphi) - F_{r_\delta}(\varphi) + G; \quad (10)$$

$$I \ddot{\varphi}_c = [F_{f_\delta}(\varphi) - F_{f_n}(\varphi)] \frac{D_w}{2} - \kappa [F_{r_\delta}(\varphi) + F_{r_n}(\varphi)] - F_\delta(\varphi) (D_w - h_\delta); \quad (11)$$

$$\frac{3}{16} m D_w^2 (\omega_{p1}^2 - \omega_{p0}^2) = G (\cos \varphi_0 - \cos \varphi) \frac{D_0}{2} + 2 F_{f_\delta}(\varphi) S_1 -$$

$$- \frac{2\kappa}{D_w} [F_{r_n}(\varphi) + F_{r_\delta}(\varphi)] S_1 - F_\delta(\varphi) (D_w - h_\delta) \frac{2S_1}{D_w}; \quad (12)$$

– решение системы уравнений (9) – (12):

$$F_{r_n}(\varphi^*) = F_{r_\delta}(\varphi^*) + m \omega^2 \frac{D_0}{2} - G. \quad (13)$$

$$F_{f_n}(\varphi^*) = \frac{m D_w^2}{32 S_1} (\omega_{p1}^2 - \omega_{p0}^2) - \frac{D_0 G}{12 S_1} (\cos \varphi_0 - \cos \varphi^*) -$$

$$- \frac{\kappa}{D_w} \left(2 F_{r_\delta}(\varphi^*) + m \omega_{p1}^2 \frac{D_0}{2} - G \right) - \frac{F_\delta(\varphi^*)}{D_w} (D_w - h_\delta). \quad (14)$$

$$F_{f_\delta}(\varphi^*) = \frac{3m D_w^2}{32 S_1} (\omega_{p1}^2 - \omega_{p0}^2) - \frac{D_0 G}{4 S_1} (\cos \varphi_0 - \cos \varphi^*) +$$

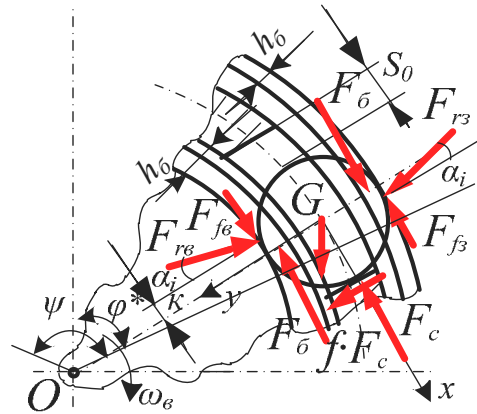


Рис. 5. Модель динамики подшипника на выходе из зоны радиального нагружения

Fig. 5. Dynamics model of bearing at the output from the radial loading area

Качение роликов в средней части зоны ψ нагружения (рис. 4) подшипника и на выходе из нее (рис. 5) описывается следующими дифференциальными уравнениями:

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

$$+ \frac{\kappa}{D_w} \left(2F_{r\theta}(\varphi^*) + m \omega_{p1}^2 \frac{D_0}{2} - G \right) + \frac{F_{\theta}(\varphi^*)}{D_w} (D_w - h_{\theta}); \quad (15)$$

– уравнения качения ролика на выходе из зоны нагружения подшипника до проскальзывания

$$m \ddot{x}_c = F_{fH}(\varphi) + F_{f\theta}(\varphi) + G \sin \varphi - F_c(\varphi) + 2F_{r\theta}(\varphi) \sin \alpha_i; \quad (16)$$

$$m \ddot{y}_c = G \cos \varphi + [F_{rH}(\varphi) - F_{r\theta}(\varphi)] \cos \alpha_i + f_c F_c(\varphi); \quad (17)$$

$$I \ddot{\varphi}_c = [F_{f\theta}(\varphi) - F_{fH}(\varphi)] \frac{D_w}{2} - \kappa [F_{r\theta}(\varphi) + F_{rH}(\varphi)] \cos \alpha_i - F_{\theta}(\varphi) (D_w - h_{\theta}) - f_c F_c(\varphi) \frac{D_w}{2}; \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \frac{3}{16} m D_w^2 (\omega_{p1}^2 - \omega_{p0}^2) = G (\cos \varphi'_0 - \cos \varphi') \frac{D_0}{2} + 2F_{f\theta}(\varphi) S_2 - \frac{2\kappa S_2}{D_w} [F_{rH}(\varphi) + F_{r\theta}(\varphi)] \cos \alpha_i - \\ - F_{\theta}(\varphi) (D_w - h_{\theta}) \frac{2S_2}{D_w} + 2F_{r\theta}(\varphi) S_2 \sin \alpha_i - F_c(\varphi) S_2; \end{aligned} \quad (19)$$

$$F_{fH}(\varphi) \leq f_p N(\varphi), \text{ где } N(\varphi) = F_{r\theta}(\varphi) \cos \alpha_i - G \cos \varphi' - F_c(\varphi) f_c; \quad (20)$$

– решение системы уравнений (16) – (20):

$$\begin{aligned} F_c(\varphi^*) \leq \frac{1}{\left(\frac{\kappa f_c}{D_w} + f_p f_c - \frac{2}{3} f_c + 0,5 \right)} \left[f_p (F_{r\theta}(\varphi^*) \cos \alpha_i - G \cos \varphi^*) - \frac{m D_w^2}{32 S_2} (\omega_{p1}^2 - \omega_{p0}^2) + \right. \\ \left. + \frac{G D_0}{12 S_2} (\cos \varphi'_0 - \cos \varphi^*) + \frac{G}{3} \sin \varphi' + F_{r\theta}(\varphi^*) \sin \alpha_i + \frac{F_{\theta}(\varphi^*)}{D_w} (D_w - h_{\theta}) + \right. \\ \left. + \frac{\kappa}{D_w} \left(2F_{r\theta}(\varphi^*) \cos \alpha_i + \frac{m \omega_{p1}^2 D_0}{2} - G \cos \varphi^* \right) \right]. \end{aligned} \quad (21)$$

$$F_{rH}(\varphi^*) = F_{r\theta}(\varphi^*) + \frac{m \omega_{p1}^2 D_0}{2 \cos \alpha_i} - \frac{G \cos \varphi^*}{\cos \alpha_i} - \frac{f_c F_c(\varphi^*)}{\cos \alpha_i}; \quad (22)$$

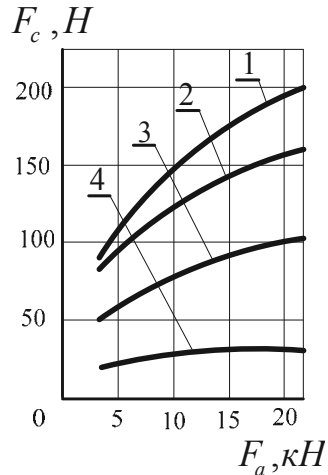
$$\begin{aligned} F_{fH}(\varphi^*) = \frac{m D_w^2}{32 S_2} (\omega_{p1}^2 - \omega_{p0}^2) - \frac{\kappa}{D_w} \left(2F_{r\theta}(\varphi^*) \cos \alpha_i + m \omega_{p1}^2 \frac{D_0}{2} - G \cos \varphi^* - f_c F_c(\varphi^*) \right) - \\ - \frac{G}{3} \sin \varphi^* - F_{r\theta}(\varphi^*) \sin \alpha_i - \frac{F_{\theta}(\varphi^*)}{D_w} (D_w - h_{\theta}) - \frac{G D_0}{12 S_2} (\cos \varphi'_0 - \cos \varphi^*) + \frac{F_c(\varphi^*)}{2} \left(1 - \frac{4}{3} f_c \right). \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} F_{f\theta}(\varphi^*) = \frac{3m D_w^2}{32 S_2} (\omega_{p1}^2 - \omega_{p0}^2) + \frac{\kappa}{D_w} \left(2F_{r\theta}(\varphi^*) \cos \alpha_i + m \omega_{p1}^2 \frac{D_0}{2} - G \cos \varphi^* - f_c F_c(\varphi^*) \right) - \\ - F_{r\theta}(\varphi^*) \sin \alpha_i + \frac{F_{\theta}(\varphi^*)}{D_w} (D_w - h_{\theta}) - \frac{G D_0}{4 S_2} (\cos \varphi'_0 - \cos \varphi^*) + \frac{F_c(\varphi^*)}{2}. \end{aligned} \quad (24)$$

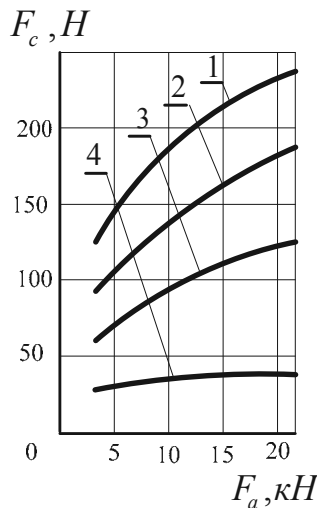
МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Результаты расчета сил F_c взаимодействия ролика с перемычкой сепаратора на примере роликоподшипника типа 2 726 по выражению (21) приведено на рис 6.

$a - a$



$b - b$



$в - в$

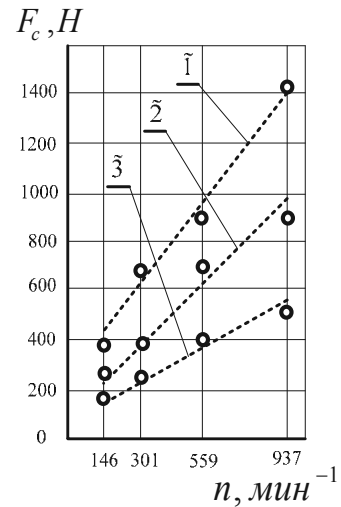
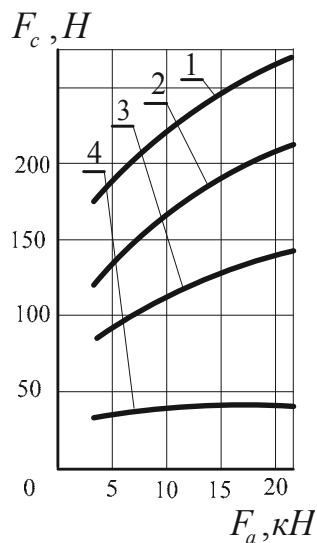


Рис. 6. Силы взаимодействия ролика с латунным сепаратором:

$a, б, в$ – расчетные значения соответственно для $F_r = 30$ кН, $F_r = 40$ кН, $F_r = 50$ кН (1 – $\varphi^* = 60^\circ$; 2 – $\varphi^* = 61^\circ$; 3 – $\varphi^* = 62^\circ$; 4 – $\varphi^* = 63^\circ$, где φ^* – угол, определяющий начало проскальзывания ролика); z – экспериментальные ($\tilde{1} - F_a = 15$ кН; $\tilde{2} - F_a = 10$ кН; $\tilde{3} - F_a = 5$ кН)

Fig. 6. Interaction forces of the roller with brass cage: a, b, c are the calculation values respectively for $F_r = 30$ кН, $F_r = 40$ кН, $F_r = 50$ кН (1 – $\varphi^* = 60^\circ$; 2 – $\varphi^* = 61^\circ$; 3 – $\varphi^* = 62^\circ$; 4 – $\varphi^* = 63^\circ$, where φ^* is the angle determining the beginning of the roller slip); d – are the experimental ones ($\tilde{1} - F_a = 15$ кН; $\tilde{2} - F_a = 10$ кН; $\tilde{3} - F_a = 5$ кН)

Таким образом, разработанные модели динамики системы сепаратор-ролики цилиндрического роликоподшипника опорных узлов колесных пар вагонов адекватно отражают механические процессы взаимодействия деталей, что подтверждается близостью расчетных (рис. 6, $a, б, в$) и экспериментально определенных [4] сил (рис. 6, z).

Результаты

Установлено, что кинематику идеального подшипника определяют контактные деформации роликов и колец, а кинематика реального подшипника зависит преимущественно от боковых зазоров в окнах сепаратора. На основе кинематики реального подшипника построены модели динамики взаимодействия роликов с сепаратором в средней части зоны радиального нагружения и на выходе из нее.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Научная новизна и практическая значимость

Впервые предложен механизм передачи движения от роликов к сепаратору роликоподшипников, состоящий в том, что боковой зазор в окне сепаратора уменьшается постепенно – кратно количеству роликов зоны радиального нагружения по мере перемещения сепаратора в зоне радиального нагружения.

Использование предложенных моделей кинематики и динамики роликоподшипников позволит разработать метод аналитического расчета сепаратора для выбора его оптимальной конструкции по критерию максимальной долговечности и надежности подшипникового узла колесных пар железнодорожного подвижного состава.

Выводы

1. Проведенные исследования кинематики подшипников изменили представления о них как о планетарном механизме, в котором внутреннее и наружное кольца, сепаратор и тела качения выполняют функцию соответственно центральных колес, водила и сателлитов.

2. Предложенный механизм передачи движения от роликов к сепаратору подшипников подтвердил факт нагруженности сепаратора, выявил причину нагружения его конструкции и пояснил характер неравномерного движения сепаратора.

3. На основе разработанных моделей динамики деталей подшипника в зоне его радиального нагружения появилась возможность расчета сил взаимодействия сепаратора с роликами и аналитического определения его напряженно-деформированного состояния для выбора оптимальной конструкции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аверин, Н. А. Исследования нагруженности полиамидных сепараторов для буксовых подшипников методом конечных элементов / Н. А. Аверин, О. А. Русанов, С. Г. Иванов // Вестн. ВНИИЖТа. – 2007. – № 3. – С. 24–29.
2. Гайдамака, А. В. Роликоподшипники букс вагонов и локомотивов: моделирование и усовершенствование : монография / А. В. Гайдамака. – Х. : Изд-во «Курсор», 2011. – 320 с.
3. Гайдамака, А. В. О причинах появления сил между телами качения и сепаратором в подшипниках / А. В. Гайдамака // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Х., 2003. – Вип. 54. – С. 111–116.
4. Лосев, А. В. Силовое взаимодействие элементов цилиндрического роликового подшипника / А. В. Лосев // Тр. ВНИИЖТа. – М., 1975. – Вып. 540. – С. 63–67.
5. Михайличенко, П. Є. Характер та величина зносу деталей пресового з'єднання буксового вузла вагонів / П. Є. Михайличенко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2005. – Вип. 6. – С. 92–101.
6. Подшипниковые узлы современных машин и приборов : энциклопед. справ. / под общ. ред. В. Б. Носова. – М. : Машиностроение, 1997. – 640 с.
7. Симсон, Э. А. Расчет напряженно-деформированного состояния сепаратора подшипника качения / Э. А. Симсон, В. В. Овчаренко, Ю. А. Шевчук // Вестн. НТУ «ХПИ». – Х., 2010. – Вип. 37. – С. 142–145.
8. Усовершенствование системы контроля нагрева букс пассажирского вагона / В. И. Приходько, О. А. Шкабров., С. Г. Игнатов и др. // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2005. – Вип. 7. – С. 57–60.
9. Fujiwara, H. Dynamic Analysis of Needle Roller Bearings in Connecting Rod Big-End Applications / H. Fujiwara, T. Kobayashi // NTN Technical Review. – 2001. – № 69. – P. 89–96.
10. Gupta, P. K. Advanced Dynamics of Rolling Elements / P. K. Gupta. – New York : Springer-Verlag, 1984. – 340 p.
11. Harris, T. Rolling bearing analysis / T. Harris. – New York : Wiley, 2006. – 760 p.
12. Kakuta, K. Generating Mechanism of Forces Acting on Retainer of Ball Bearings Supporting Unbalanced Rotating Shaft / K. Kakuta, T. Kohno, H. Ota // Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. – 1996. – № 62-600. – P. 3210–3215.
13. Sakaguchi, T. Dynamic Analysis of Cage Stress in Tapered Roller Bearings / T. Sakaguchi, K. Harada // Proc. ASIATRIB. – Kanazawa, 2006. – P. 649–650.

А. В. ГАЙДАМАКА^{1*}

^{1*}Каф. «Деталі машин та прикладна механіка», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Фрунзе, 21, Харків, Україна, 61002, тел. +38 (057) 707 64 55, ел. пошта gaydamaka_av@mail.ua, ORCID 0000-0002-6952-4086

МОДЕЛІ КІНЕМАТИКИ ТА ДИНАМІКИ ЦИЛІНДРИЧНИХ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Мета. Відсутність моделей кінематики й недосконалість відомих моделей динаміки роликопідшипників букс залізничного рухомого складу не дозволяє проектувати оптимальні конструкції сепараторів, що забезпечать потрібну вантажність і надійність вагонів та локомотивів. Тому в роботі проводяться дослідження кінематики й динаміки роликопідшипників букс вагонів та локомотивів, а також побудова моделей взаємодії їх деталей для створення аналітичного методу розрахунку сепараторів. **Методика.** Поставлена мета досягнута за рахунок побудови моделей кінематики ідеального (без зазорів) та реального (з урахуванням зазорів, похибок виготовлення та монтажу) підшипників, обґрунтування механізму передачі руху від роликів до сепаратору, побудови моделей динаміки кочення роликів, дослідження сил взаємодії роликів із сепаратором. **Результати.** Встановлено, що кінематику ідеального підшипника визначають контактні деформації роликів та кілець, а кінематика реального підшипника залежить переважно від бокових зазорів у вікнах сепаратора. На основі досліджень кінематики реального підшипника побудовано моделі динаміки взаємодії роликів із сепаратором. Проведені дослідження кінематики та динаміки підшипників кочення змінили уявлення про них як про планетарний механізм, пояснили причину навантаження сепаратора, підтвердили можливість їхнього руйнування в експлуатації. **Наукова новизна.** Вперше запропоновано механізм передачі руху від роликів до сепаратора роликопідшипників, який полягає в тому, що боковий зазор у вікні сепаратора зменшується поступово – кратно кількості роликів зони радіального навантаження. Удосконалено моделі динаміки роликопідшипників, що дозволяють розрахувати сили взаємодії деталей для будь-яких режимів експлуатації. **Практична значимість.** Використання запропонованих моделей кінематики та динаміки роликопідшипників дозволить розробити метод аналітичного розрахунку сепаратора для вибору його оптимальної конструкції за критерієм максимальної довговічності й надійності підшипникового вузла колісних пар залізничного рухомого складу.

Ключові слова: сепаратори; ролики; підшипники; зони радіального навантаження; кінематика; динаміка; сили взаємодії

А. V GAYDAMAKA^{1*}

^{1*}Dep. «Machine Details and Applied Mechanics», National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Frunze St., 21, Kharkiv, Ukraine, 61002, tel. +38 (057) 707 64 55, e-mail gaydamaka_av@mail.ua, ORCID 0000-0002-6952-4086

KINEMATICS AND DYNAMICS MODELS OF CYLINDRICAL ROLLER BEARING OF RAILWAY TRANSPORT

Purpose. Lack of kinematics models and imperfection of the known dynamics models of the roller bearings of railway rolling stock axle-boxes do not allow designing the optimal structure of bearing cages, providing the required service life and reliability of bearing units of wheel sets for cars and locomotives. The studies of kinematics and dynamics of roller bearings of axle boxes for cars and locomotives and modeling of their parts interaction to create the analytical method of bearing cages calculation are necessary. **Methodology.** This purpose has been achieved due to the modeling of kinematics of the ideal (without gaps) and real (taking account the gaps, manufacturing and installation errors) bearings, substantiation of the transfer mechanism of motion from the rollers to bearing cage, modeling the dynamics of rolling, research of interaction forces of the rollers with bearing cage. **Findings.** It is established that the kinematics of ideal bearing is determined by the contact deformations of the rollers and rings, when the kinematics of real bearing depends mainly on the side gaps in the windows of the bearing cage. On the basis of studies of the real bearing kinematics the dynamics models of the rollers and bearing cage interaction were constructed. The conducted studies of kinematics and dynamics of rolling bearings have changed our view of them as of the planetary mechanism,

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

explained the reason of bearing cage loading, and confirmed the possibility of destruction during operation. **Originality.** It was first proposed a mechanism for motion transfer from the rollers to the bearing cage of roller bearings, consisting in that the side gap in the bearing cage window is reduced gradually multiple of the number of rollers of radial loading area according to the bearing cage motion. The models of roller bearing dynamics, which allow calculating the interaction forces of parts for all modes of operation, were improved. **Practical value.** Use of the offered models of kinematics and dynamics of the roller bearings will develop analytical calculation method of the bearing cage for the choice of its optimal design according to criterion of maximum service life and reliability of the bearing unit of wheel sets of the railway rolling stock.

Keywords: bearing cages; rollers; bearings; radial loading area; kinematics; dynamics, interaction forces

REFERENCES

1. Averin, N.A., Rusanov O.A., Ivanov S.G. Issledovaniya nagruzhennosti poliamidnykh separatorov dlya buksovykh podshipnikov metodom konechnykh elementov [Studies of the loading of polyamide bearing cages for axle box bearing under-bearings using the finite elements method]. *Vestnik VNIIZhTa – VNIIZhT Bulletin*, 2007, no. 3, pp. 24-29.
2. Gaydamaka A.V. *Rolikopodshipniki buks vagonov i lokomotivov: modelirovaniye i usovershenstvovaniye* [Roller bearings of axle boxes of cars and locomotives]. Kharkiv, Kursor Publ., 2011. 320 p.
3. Gaydamaka A.V. O prichinakh poyavleniya sil mezhdru telami kacheniya i separatorom v podshipnikakh [On the appearance causes of forces between the rolling bodies and the bearing cages]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT* [Proc. of Ukrainian State Academy of Railway Transport], 2003, issue 54, pp. 111-116.
4. Losev A.V. Silovoye vzaimodeystviye elementov tsilindricheskogo rolikovogo podshipnika [Force interaction of the elements of the straight roller bearing]. *Trudy VNIIZhTa – Proc. of VNIIZhT*, 1975, issue 540, pp. 63-67.
5. Mykhailichenko P.Ye. Kharakter ta velychyna znosu detalei presovoho z'yednannia buksovoho vuzla vagoniv [Character and wear rate of the press joint parts of the axle box of 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, issue 6, pp. 92-101.
6. Nosov V.B. *Podshipnikovyie uzly sovremennykh mashin i priborov* [Bearing boxes of the modern machines and devices]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1997. 640 p.
7. Simson E.A., Ovcharenko V.V., Shevchuk Yu.A. Raschet napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya separatora podshipnika kacheniya [Calculation of the stress-strain state of bearing cages]. *Vestnik Natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta «Kharkovskiy Politekhnycheskiy Institut»* [Bulletin of National Technical University «Kharkiv Polytechnical University»], 2010, issue 37, pp. 142-145.
8. Prihodko V.I., Shkabrov O.A., Ignatov S.G. Usovershenstvovaniye sistemy kontrolya nagreva buks passazhirskogo vagona [Improvement of heating system control of the axle boxes of the passenger car]. *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 7, pp. 57-60.
9. Fujiwara H., Kobayashi T. Dynamic Analysis of Needle Roller Bearings in Connecting Rod Big-End Applications. *NTN Technical Review*, 2001, no. 69, pp. 89-96.
10. Gupta P.K. *Advanced Dynamics of Rolling Elements*. New York, Springer-Verlag Publ., 1984. 340 p.
11. Harris T. *Rolling bearing analysis*. New York, Wiley Publ., 2006. 760 p.
12. Kakuta K., Kohno T., Ota H. Generating Mechanism of Forces Acting on Retainer of Ball Bearings Supporting Unbalanced Rotating Shaft. *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers*, 1996, no. 62-600, pp. 3210-3215.
13. Sakaguchi T., Harada K. Dynamic Analysis of Cage Stress in Tapered Roller Bearings. *Proc. ASIATRI*, 2006, pp. 649-650.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. М. С. Степановым (Украина); д.т.н., проф. С. В. Ракшой (Украина)

Поступила в редколлегию 01.04.2014

Принята к печати 14.05.2014

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

УДК 625.574:621.311

Ю. К. ГОРЯЧЕВ¹, А. С. КУРОПЯТНИК^{2*}, М. Р. ИЗМАЙЛОВ^{3*}

¹Каф. «Прикладная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18

^{2*}Каф. «Прикладная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, эл. почта kuropyatnick@gmail.com, ORCID 0000-0001-5581-3883

^{3*}Каф. «Прикладная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, эл. почта izmailoff.memet@yandex.ru, ORCID 0000-0001-7885-9067

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗЕРВОВ ЭНЕРГИИ ПРИВОДОВ ПОДВЕСНЫХ КАНАТНЫХ ДОРОГ С УЧЕТОМ ДИАГРАММ ОКРУЖНЫХ УСИЛИЙ

Цель. В работе необходимо использовать формализацию подходов к определению резервов энергии приводов подвесных канатных дорог с учетом диаграмм окружных усилий. **Методика.** Для определения резервов энергии использовались диаграммы окружных усилий. Метод основан на сравнительном анализе участков тормозного и силового режимов работы привода канатной дороги. Их площадь зависит от профиля дороги (длина и перепад высот пролетов, провисание несущего каната) и расположения приводной станции (на нижней или верхней опорной точке). **Результаты.** Применение метода накапливания энергии в тормозном режиме с последующим её расходом в силовом режиме дает возможность использовать резервы энергии приводов. Зная рельеф местности, можно на этапе проектирования задать параметры профиля дороги, а также расположить приводную станцию таким образом, чтобы на диаграмме окружных усилий участки тормозного режима чередовались с участками силового режима и были приблизительно равными по величине. Это, в свою очередь, позволит экономить электроэнергию в процессе эксплуатации. **Научная новизна.** Предложен подход к определению резервов энергии приводов подвесных канатных дорог. **Практическая значимость.** Использование предложенного метода поможет (перед конструированием) рассчитать такой профиль дороги, при котором возможно увеличение участков тормозного режима, что, в свою очередь, положительно скажется на величине аккумулируемой энергии.

Ключевые слова: городской транспорт; подвесная канатная дорога; диаграмма окружных усилий; тормозной режим; силовой режим; аккумуляция

Введение

Развитие современных городов сопровождается увеличением их территории, миграцией населения в новые районы, удалением жилых массивов от мест труда. В связи с этим растет число горожан, пользующихся транспортом, а также количество городского транспорта, обслуживающего это население. Пропускной способно-

сти автомобильных дорог недостаточно для освоения пассажиропотока, сопутствующего такому развитию: образуются пробки, заторы на дорогах, что приводит к длительному проезду пассажиров. Это объясняется низкими скоростями основных видов городского транспорта (автобусов, троллейбусов, трамваев, маршрутных такси), необходимостью совершать пере-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

садки из-за не совершенства маршрутной сети и потеря времени пассажиров на подходы к остановкам. Не редко поездки совершаются в дискомфортных условиях с нарушениями установленных норм наполнения транспортных средств. Все эти факторы указывают на то, что существующий городской транспорт не справляется с поставленной перед ним задачей. А если учесть, что он – не всегда исправен, дорог и экологически вреден, то целесообразной представляется возможность задействовать альтернативные виды транспорта. Одним из таких является подвесная канатная дорога (ПКД). Как вид городского транспорта и с целью разгрузки пассажирского потока ПКД используется во многих городах и странах мира. Осуществляя перевозки населения в пределах территории города, канатные дороги играют неоспоримую социальную роль в обеспечении мобильности граждан. ПКД – комфортный, быстрый, экологически чистый, экономически выгодный вид транспорта, не зависящий от ландшафта, так как находится на определенной высоте от земли и застроек. Кроме того, ПКД открыты для внедрения различных ресурсосберегающих технологий. На данный момент из альтернативных источников энергии используются энергия ветра (ветрогенераторы) и энергия солнца (солнечные батареи) [4].

Методики проектного расчета ПКД с учетом влияния различных факторов изложены в работах [1, 2, 5–13].

Исследуя диаграммы окружных усилий (рис. 1), построенные для приводов канатных дорог, при различных режимах нагружения, можно увидеть неиспользованные резервы энергии. Эта энергия заключена в тормозном режиме работы привода (заштрихованная область диаграммы). Произведя анализ работ [3, 6], связанных с построением таких диаграмм, получаем, что при движении вагона от верхней опоры к нижней привод притормаживает его, переходя из силового режима в тормозной, а значит, не потребляет энергию. Часть энергии торможения преобразуется в тепловую, а остальная – отдается в сеть. Поэтому целесообразней было бы аккумулировать энергию и использовать ее в последующих силовых режимах. Произведя расчет площадей участков диаграммы окружных усилий привода, можно предварительно оценить процент экономии энергии. Таким образом, разработка методик, позволяющих определить величину резервов, способы их формирования и использования, является актуальной задачей.

Цель

Формализация подходов к определению резервов энергии приводов подвесных канатных дорог с учетом диаграмм окружных усилий.

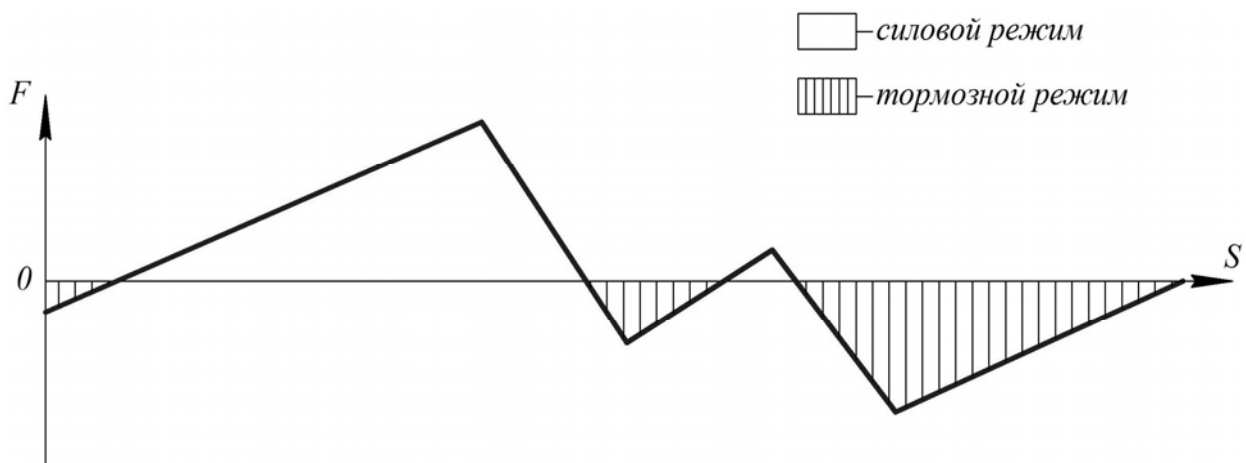


Рис. 1. Диаграмма окружных усилий канатной дороги «Мисхор – Ай Петри»: F – окружное усилие; S – перемещение вагона

Fig. 1. Diagram of twisting forces of the rope way «Miskhor – Ay-Petri»: F – twisting force; S – car movement

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

Методика

Для определения резервов энергии использовались диаграммы окружных усилий. Метод основан на сравнительном анализе участков тормозного и силового режимов работы привода канатной дороги. Их площадь зависит от профиля дороги (длина и перепад высот пролетов, провисание несущего каната) и расположения приводной станции (на нижней или верхней опорной точке).

Учитывая кольцевой тип подвесной канатной дороги, знаем, что одна ветвь тягового каната набегает на приводной шкив (набегающая), а вторая – сбегает (сбегающая). Кроме того, примем во внимание, что в зависимости от расположения приводной станции (на верхней опоре «а» или нижней «б»), вагон будет двигаться на подъем или спуск.

Рассмотрим три основные схемы расположения опор (рис. 2):

- левая опора выше правой;
- опоры расположены на одной высоте;
- левая опора ниже правой.

В каждом случае один из вагонов движется вверх, а другой – вниз.

Первый случай. Привод расположен на левой опорной точке, а это значит, что вагон (1) движется вниз, придерживаемый сбегающей ветвью тягового каната. В результате чего уси-

лие в тяговом канате T_1 отрицательно, канат свободно провисает, т. е. привод притормаживает вагон, тем самым не затрачивая энергию. При этом отрицательное значение натяжения каната (а далее – и окружного усилия) компенсируется работой привода в режиме генератора с отдачей энергии в сеть (тормозной режим). Доходя до точки «Х» (точка перехода), вагон (1) начинает подъем, при этом усилие в тяговом канате возрастает.

Второй случай. Вагон (2) движется по несущему канату под действием силы тяги привода, которая передается через тяговый канат. При этом реализуется движение, аналогичное первому случаю (спуск – подъем), но усилие в набегавшей ветви тягового каната равно T_2 .

Зная усилие в тяговом канате, можно определить окружное усилие и построить диаграммы (рис. 3). Формула для подсчета окружного усилия [2]:

$$F = T_{нб} - T_{сб},$$

где $T_{нб}$ – усилие в набегавшей ветви каната; $T_{сб}$ – усилие в сбегающей ветви каната.

Если знать расположение приводной станции, можно сказать, какая из ветвей каната является сбегающей, а какая – набегавшей. В результате чего можно определить окружное усилие.

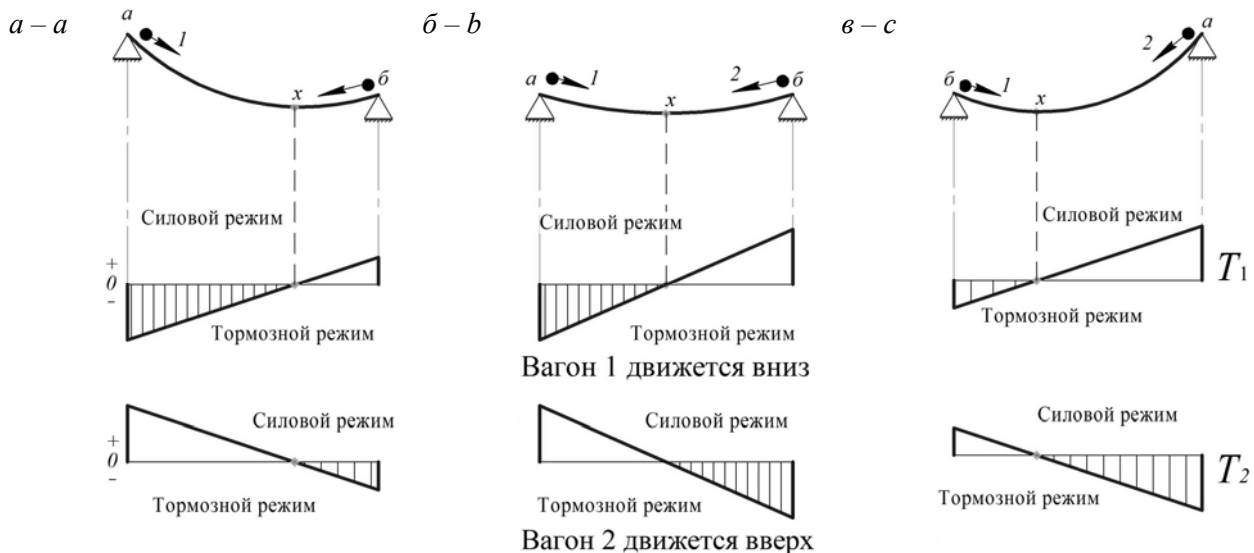
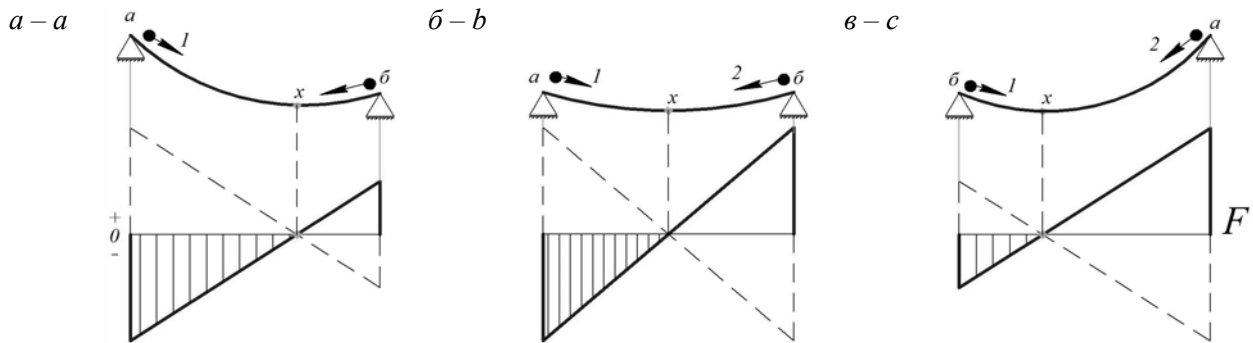


Рис. 2. Схемы расположения опор

Fig. 2. Diagram of the supports placement

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

Рис. 3. Диаграмма окружных усилий (a , b , v – согласно рис. 2)Fig. 3. Diagram of twisting forces (a , b , c – according to the Fig. 2)

Если приводная станция расположена на верхней опорной точке профиля «а», окружное усилие будет равно

$$F = T_2 - T_1.$$

Получаем диаграмму окружных усилий (штриховая линия). А если расположить приводную станцию на нижней опорной точке профиля «б», то диаграмма имеет вид, отмеченный основной линией, величина окружных усилий будет рассчитана как

$$F = T_1 - T_2.$$

Расположив опоры таким образом, чтобы использовались три существующие схемы (см. рис. 3) с учетом расположения приводной станции, можно создать такой профиль дороги, при котором экономия энергии в тормозном режиме будет максимальна.

Результаты

Реализацию сформулированных подходов к определению резервов энергии привода рассмотрим на примере городской ПКД, теоретический маршрут которого представлен на рис. 4. Маршрут проложен через сложный рельеф (перепад высот – 61 м; рис. 5). Между двумя этими условными точками (A и B) курсируют маршрутные транспортные средства. Чтобы добраться из пункта A в пункт B , необходимы пересадки по маршруту, а значит потери времени. Длина пути от A до B в прямом направлении (штрихпунктирная линия) – 4,7 км, а в обратном (сплошная тонкая линия) – 5,5 км. Длина маршрута канатной дороги (сплошная толстая линия) составляет 1,83 км.

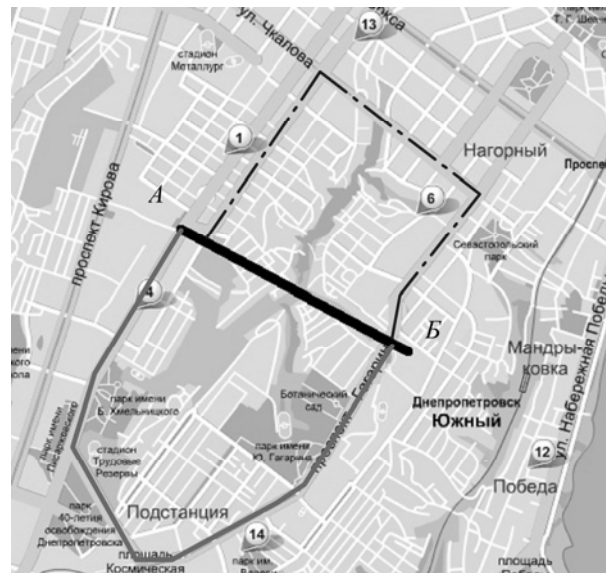


Рис. 4. Теоретический маршрут ПКД

Fig. 4. Theoretical route of aerial ropeway

Используем вышеизложенные схемы расположения опор к предложенной канатной дороге (рис. 6). Расположив приводную станцию на опорной точке A , получаем, что участок движения от A до x (на спуск) больше участка от x до A_1 (на подъем), а значит тормозной режим больше силового. Это дает возможность аккумулировать большое количество энергии, а значит применение этих схем очень эффективно. Но обратим внимание, что расположив приводную станцию на опорной точке A , в третьем пролете тормозной режим будет меньше, чем тяговый.

Из рис. 6 видно, что применение метода накопления энергии в тормозном режиме с последующим ее расходом в силовом режиме, дает возможность использовать резервы энергии приводов. Зная рельеф местности, можно

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

на этапе проектирования задать параметры профиля дороги, а также расположение приводной станции таким образом, чтобы на диаграмме окружных усилий участки тормозного

режима чередовались с участками силового режима и были приблизительно равными по величине. Это, в свою очередь, позволит экономить электроэнергию в процессе эксплуатации.

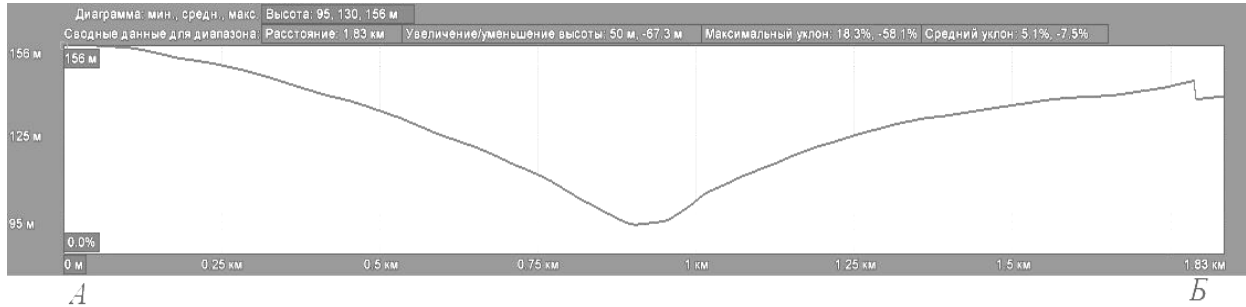


Рис. 5. Профиль рельефа проектируемой дороги

Fig. 5. Relief profile of the projected road

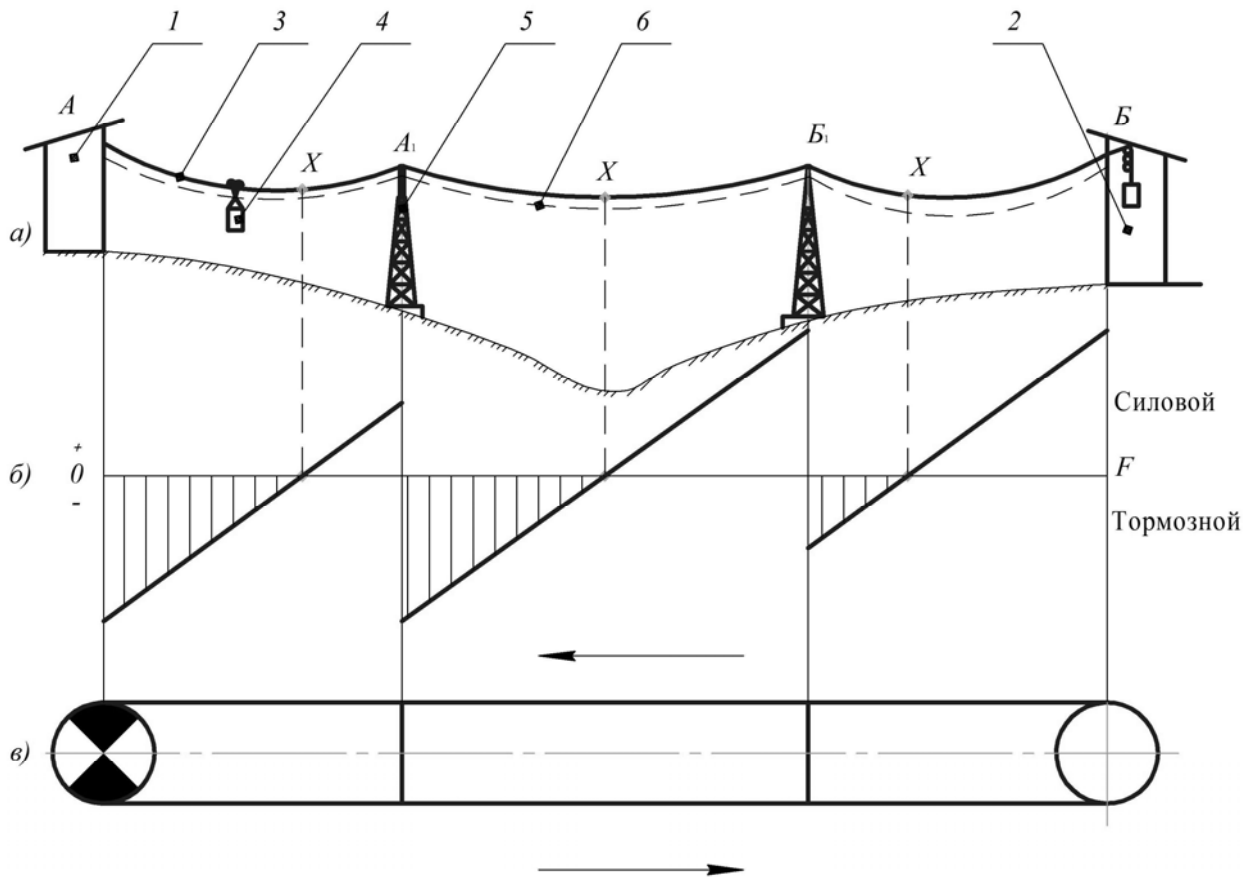


Рис. 6. Пример канатной дороги с использованием схем расположения опор:

a – схема пкд: 1 – приводная станция, 2 – обводная станция, 3 – несущий канат, 4 – вагон (гондола), 5 – опора, 6 – тяговый канат; *b* – диаграмма окружных усилий; *c* – схема расположения привода

Fig. 6. Rope way example with the use of support placement diagrams:

a – aerial ropeway scheme: 1 – power-drive station, 2 – bypass station, 3 – carrying rope, 4 – car (gondola), 5 – support, 6 – traction rope; *b* – diagram of twisting forces; *c* – scheme of drive location

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

Научная новизна и практическая значимость

Предложен подход к определению резервов энергии приводов подвесных канатных дорог.

Использование предложенного метода поможет (перед конструированием) рассчитать такой профиль дороги, при котором возможно увеличение участков тормозного режима, что в свою очередь положительно скажется на величине аккумулируемой энергии.

Выводы

Сформулированные в данной работе подходы позволяют проектировать подвесные канатные дороги с пониженным энергопотреблением. При этом параметры профиля дороги и место расположения привода играют определенную роль в формировании и обеспечении возможности использования резервов энергии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Беркман, М. Б. Подвесные канатные дороги / М. Б. Беркман. – М. : Машиностроение, 1984. – 264 с.
- Городские канатные дороги [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.isr.at/Gorodskie-kanatnye-dorogi.229+M50039cec051.0.html>. – Загл. с экрана.
- Горячев, Ю. К. Построение диаграмм окружных усилий привода маятниковой подвесной канатной дороги / Ю. К. Горячев // Подъемно-трансп. техника. – 2010. – № 4. – С. 56–63.
- Первая в мире канатная дорога на солнечных батареях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://alp.org.ua/?p=37815>. – Загл. с экрана.
- Ракша, С. В. Аналіз впливу пружних деформацій несучого каната на зусилля в тяговому канаті підвісної дороги / С. В. Ракша, Ю. К. Горячев, О. С. Куроп'ятник // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 6 (48). – С. 110–119.
- Сванидзе, Л. Г. Окружные усилия на шкивах канатных дорог / Л. Г. Сванидзе, В. Ф. Супрунов // Подъем. сооружения. Спец. техника. – 2008. – № 7. – С. 50–52.
- Сванидзе, Л. Г. Размещение опор маятниковой канатной дороги / Л. Г. Сванидзе, В. Ф. Супрунов // Подъем. сооружения. Спец. техника. – 2009. – № 4. – С. 47–49.
- Чунашвили, Б. М. Диаграмма нагрузки электроприводов маятниковых подвесных канатных дорог / Б. М. Чунашвили, М. И. Кобаля // Вестн. нац. техн. ун-та «ХПИ». – Х., 2002. – Вып. 12. – С. 85–86.
- Knawa, M. Effects of dynamic loads acting on carrying cable in operating ropeway / M. Knawa, D. Bryja // Proc. in Applied Mathematics and Mechanics. – 2008. – Vol. 8. – Iss. 1. – P. 10297–10298.
- Kopanakis, G. A. Oscillations in ropeways / G. A. Kopanakis // Intern. Ropeway Review. Pt. 1. – 2011. – № 6. – P. 48–50.
- Kopanakis, G. A. Oscillations in ropeways / G. A. Kopanakis // Intern. Ropeway Review. Pt. 2, 3. – 2012. – № 1. – P. 46–49.
- Kopanakis, G. A. Oscillations in ropeways / G. A. Kopanakis // Intern. Ropeway Review. Pt. 4. – 2012. – № 3. – P. 63–66.
- Nejez, J. Cableway oscillation problems / J. Nejez // Intern. Ropeway Review. – 2011. – № 6. – P. 47.

Ю. К. ГОРЯЧЕВ¹, А. С. КУРОП'ЯТНИК^{2*}, М. Р. ИЗМАЙЛОВ^{3*}

¹Каф. «Прикладна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18

^{2*}Каф. «Прикладна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, ел. пошта kuropyatnick@gmail.com, ORCID 0000-0001-5581-3883

^{3*}Каф. «Прикладна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, ел. пошта izmailoff.memet@yandex.ru, ORCID 0000-0001-7885-9067

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗЕРВІВ ЕНЕРГІЇ ПРИВОДІВ ПІДВІСНИХ КАНАТНИХ ДОРІГ ІЗ УРАХУВАННЯМ ДІАГРАМ ОКУРЖНИХ ЗУСИЛЬ

Мета. У роботі необхідно дослідити формалізацію підходів до визначення резервів енергії приводів підвісних канатних доріг із урахуванням діаграм окружних зусиль. **Методика.** Для визначення резервів енергії використовувалися діаграми окружних зусиль. Метод заснований на порівняльному аналізі ділянок гальмів-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

ного й силового режимів роботи приводу канатної дороги. Їх площа залежить від профілю дороги (довжина та перепад висот прольотів, провисання несучого каната) і розташування приводної станції (на нижній або верхній опорній точці). **Результати.** Застосування методу накопичення енергії в гальмівному режимі з подальшою її витратою в силовому режимі дає можливість використовувати резерви енергії приводів. Знаючи рельєф місцевості, можна на етапі проектування задати параметри профілю дороги, а також розташувати приводну станцію таким чином, щоб на діаграмі окружних зусиль ділянки гальмівного режиму чергувалися з ділянками силового режиму та були приблизно рівними за величиною. Це, у свою чергу, дозволить економити електроенергію в процесі експлуатації. **Наукова новизна.** Запропоновано підхід до визначення резервів енергії приводів підвісних канатних доріг. **Практична значимість.** Використання запропонованого методу допоможе (перед конструюванням) розрахувати такий профіль дороги, при якому можливе збільшення ділянок гальмівного режиму, що, у свою чергу, позитивно позначиться на величині енергії, що акумулюється.

Ключові слова: міський транспорт; підвісна канатна дорога; діаграма окружних зусиль; гальмівний режим; силовий режим; акумуляція

YU. K. GORYACHEV¹, A. S. KUROPYATNIK^{2*}, M. R. IZMAYLOV^{3*}

¹Dep. «Applied Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 18

^{2*}Dep. «Applied Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 18, e-mail kuropyatnick@gmail.com, ORCID 0000-0001-5581-3883

^{3*}Dep. «Applied Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 18, e-mail izmailoff.memet@yandex.ru, ORCID 0000-0001-7885-9067

POSSIBILITY RESEARCH OF THE USE OF ENERGY RESERVE OF AERIAL ROPEWAY DRIVES TAKING INTO ACCOUNT THE TWISTING FORCES DIAGRAMS

Purpose. It is necessary to study the formalization of approaches to determination of energy reserves of aerial ropeways drives taking into account the twisting forces diagrams. **Methodology.** To determine the energy reserves the twisting forces diagrams were used. A method is based on the comparative analysis of areas of braking and power operation modes of ropeway drive. Their area depends on the road profile (length and overfall of clearance heights, carrying rope deflection) and location of the drive station (on the lower or the upper supporting points). **Findings.** The application of the method of energy accumulation in the braking mode with its subsequent consumption in the power mode enables to use the energy reserves of drives. Taking into account the relief, it is possible on the stage of planning to set the parameters the road profile, as well as to locate the drive station so that on the twisting forces diagram the areas of braking mode alternated with the areas of the power mode and were approximately equal in size. This, in turn, will save the electric power in the process of operation. **Originality.** The approach to determination of energy reserves of the aerial ropeway drives is offered. **Practical value.** The use of the offered method will help (before the construction) to calculate such a road profile, which will increase the areas of braking mode. The latter in turn will positively affect the size of the accumulated energy.

Keywords: urban transport; aerial ropeway; twisting forces diagram; braking mode; power mode; accumulation

REFERENCES

1. Berkman M.B. *Podvesnyye kanatnyye dorogi* [Aerial ropeways]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1984. 264 p.
2. *Gorodskiy kanatnyye dorogi* (Urban ropeways). Available at: <http://www.isr.at/Gorodskie-kanatnyedorogi.229+M50039cec051.0.html> (Accessed 22 February 2014).
3. Goryachev Yu.K. Postroyeniye diagramm okruzhnykh usilyi privoda mayatnikovoy podvesnoy kanatnoy dorogi [Construction of diagram of driver twisting forces for pendulum ropeway]. *Podyemno-transportnaya tekhnika – Handling Machinery*, 2010, no. 4, pp. 56-63.
4. *Pervaya v mire kanatnaya doroga na solnechnykh batareyakh* (The first in the world solar powered ropeway). Available at: <http://alp.org.ua/?p=37815> (Accessed 22 February 2014).

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

5. Raksha S.V., Horiachev Yu.K., Kuropyatnyk O.S. Analiz vplyvu pruzhnykh deformatsii nesuchoho kanata na zusyilia v tiahovomu kanati pidvisnoi dorohy [Influence analysis of the elastic strains of carrying cable on the efforts in traction cable of the ropeway]. *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. 110-119.
6. Svanidze L.G., Suprunov V.F. Okruzhnyye usiliya na shkivakh kanatnykh dorog [Twisting forces on pulleys of the ropeways]. *Podyemnyye sooruzheniya. Spetsialnaya tekhnika – Handling Equipment. Special Machinery*, 2008, no. 7, pp. 50-52.
7. Chunashvili B.M., Kobaliya M.I. Diagramma nagruzki elektroprivodov mayatnikovykh podvesnykh kanatnykh dorog [Load diagram of electric drives of pendulum ropeways]. *Vestnik Natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta «Kharkovskiy Politekhnichestkiy Institut» [Bulletin of National Technical University «Kharkiv Polytechnical University»]*, 2002, issue 12, pp. 85-86.
8. Krawa M., Bryja D. Effects of dynamic loads acting on carrying cable in operating ropeway. *Proc. in Applied Mathematics and Mechanics*, 2008, vol. 8, issue 1, pp. 10297-10298.
9. Kopanakis G.A. Oscillations in ropeways. *Intern. Ropeway Review. Part 1*, 2011, no. 6, pp. 48-50.
10. Kopanakis G.A. Oscillations in ropeways. *Intern. Ropeway Review. Part 2*, 3, 2012, no. 1, pp. 46-49.
11. Kopanakis G.A. Oscillations in ropeways. *Intern. Ropeway Review. Part 4*, 2012, no. 3, pp. 63-66.
12. Nejez J. Cableway oscillation problems. *Intern. Ropeway Review*, 2011, no. 6, p. 47.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. Ф. Семенюком (Украина); к.т.н., доц. К. Ц. Главацким (Украина)

Поступила в редколлегию 03.03.2014

Принята к печати 25.04.2014

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.463.027.2

Г. ВАЙЧУНАС¹, С. В. МЯМЛИН², А. А. БОСОВ³, В. Я. ПАНАСЕНКО⁴,
И. В. КЛИМЕНКО^{5*}, Е. Ф. ФЕДОРОВ⁶

¹Фак. «Железнодорожный транспорт», Вильнюсский технический университет имени Гедиминаса, ул. Басанавичуса, 28, Вильнюс, Литва, LT-03224, тел. +37 (052) 74 48 05, эл. почта lionginas.liudvinavicius@vgtu.lt

²Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 03, эл. почта sergeymyamin@gmail.ru, ORCID 0000-0002-7383-9304

³Каф. «Прикладная математика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 36, эл. почта aabosov@i.ua, ORCID 0000-0002-5348-2205

⁴Каф. «Безопасность жизнедеятельности», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 81

^{5*}Отраслевая научно-исследовательская лаборатория динамики и прочности подвижного состава железных дорог, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 793 19 08, эл. почта irklmn@mail.ru, ORCID 0000-0001-8889-8713

⁶Отраслевая научно-исследовательская лаборатория динамики и прочности подвижного состава железных дорог, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 793 19 08

УПРУГО-ФРИКЦИОННЫЙ СКОЛЬЗУН ДЛЯ ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

Цель. Необходимо выяснить вопросы относительно уменьшения износа деталей скользунов грузовых вагонов, уменьшения расходов на восстановление изношенных деталей, улучшения динамических качеств рельсовых экипажей и повышения безопасности их движения. **Методика.** Износоустойчивые элементы скользунов выполнены в виде сменных металлокерамических пластинок, жестко закрепленных на плоскостях трения. **Результаты.** В процессе эксплуатации из-за загрязнения, износов трущихся поверхностей и других причин силовые характеристики скользуна могут существенно меняться, что будет неблагоприятно сказываться на динамических качествах тележек и, как следствие, – на безопасности движения поездов. Поэтому предложенное авторами решение по улучшению работы упругих фрикционных скользунов путем их модернизации является актуальным. **Научная новизна.** Усовершенствована конструкция скользуна тележки грузового вагона. На пружине установлен фрикционный клин, наклонная поверхность которого взаимодействует с опорной наклонной площадкой плиты через пластинку с нанесенными на нее износоустойчивыми элементами в виде металлокерамических вставок. **Практическая значимость.** Использование износоустойчивых элементов в виде сменных металлокерамических вставок будет способствовать уменьшению износа элементов соединения тележки и рамы грузового вагона, улучшению его динамических качеств, а также уменьшению расходов на восстановление изношенных трением скользунов.

Ключевые слова: тележки грузового вагона; упруго-фрикционные скользуны; динамические качества; износ

Введение

В настоящее время большинство магистральных грузовых вагонов колеи 1 520 мм оборудовано двухосными тележками модели 18-100 (ЦНИИ-ХЗ).

Конструкция этой тележки была разработана еще в 30-е годы прошлого столетия, а серийный выпуск их начат в 1956 году [3, 6, 8]. В качестве прототипа серийной тележки была взята тележка с составной (трехэлементной) рамой, которая применялась как стандартная на Североамериканских железных дорогах. Данная тележка представляет собой инженерную конструкцию, которая выдержала испытания временем и нашла широкое применение благодаря ряду преимуществ в условиях массового производства вагонов, оказывающих решающее влияние на выбор конкретных технических решений. К основным преимуществам относятся: простота конструкции, что в свою очередь сказалось на относительно низкой стоимости их изготовления; взаимозаменяемость узлов в широком диапазоне, а также высокий уровень стандартизации.

Однако максимальное упрощение конструкции тележки привело также и к недостаткам принципиального характера, выявленным в процессе эксплуатации, устранением которых занимались ученые и работники производственной сферы разных стран на протяжении многих лет и занимаются модернизацией конструкции тележек до сих пор [19, 20].

За последние 30 лет тележка грузового вагона ЦНИИ-ХЗ (модель 18-100) претерпела значительную модернизацию. Так, заменены подшипники скольжения на подшипники качения [11]; вертикальные рычаги тормозной передачи, состоящие из двух пластин, объединены между собой перемычками, закрепленными электросваркой. По нашему мнению, эти модернизации, наряду с другими причинами, могли привести к интенсивному износу гребней колесных пар [1, 2, 5–15, 18, 20].

Для технического перевооружения вагонного хозяйства необходим поиск новых конструктивных решений, направленных не только на улучшение технических характеристик ходовых частей грузовых вагонов, но и на качество их обслуживания и ремонта [4, 16, 17].

Для специализированных грузовых вагонов, которые эксплуатируются со скоростью до

140 км/ч, разработана двухосная тележка модели 18-115 с улучшенными динамическими качествами по сравнению с тележкой модели 18-100.

Одной из конструктивных особенностей тележки модели 18-115 является использование более совершенной по сравнению с тележкой модели 18-100 схемы опирания кузова на тележку: часть нагрузки от кузова вагона передается на подпятник, а часть – через упруго-фрикционный скользун. Однако элементы фрикционной пары скользящих интенсивно изнашиваются, что приводит к увеличению расходов при их восстановлении.

Цель

Целью данной работы является уменьшение износа деталей скользящих грузовых вагонов, уменьшение расходов на восстановление изношенных деталей, улучшение динамических качеств рельсовых экипажей и повышение безопасности их движения за счет совершенствования конструкции скользящих тележек.

Методика

Конструкция тележки модели 18-115 имеет и еще ряд особенностей: повышенная гибкость рессорного подвешивания за счет новой схемы опирания кузова на тележку одновременно через подпятник и упругие фрикционные скользящие; упругое опирание боковых рам тележки на буксы через резиновые элементы; усеченный фрикционный клин в качестве гасителя колебаний, у которого наклонная площадка развернута под углом 60° к продольной оси тележки.

Надрессорная балка – литой конструкции с наличием на верхней плоскости двух упруго-фрикционных скользящих. Фрикционные клинья размещаются в гнездах надрессорной балки и своими наклонными поверхностями взаимодействуют с наклонными поверхностями надрессорной балки, а вертикальными поверхностями – с фрикционными планками, укрепленными на колонках боковой рамы.

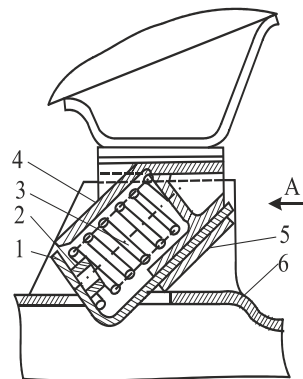
Упруго-фрикционный скользун (рис. 1) представляет собой Г-образную плиту 1 с приваренной к ней бонкой 2 для фиксации пружины 3. Плита установлена на верхнем поясе надрессорной балки 6 и опирается на ребра 5. На пружину 3 установлен фрикционный клин 4, наклонная поверхность которого взаимодействует с опорной наклонной площадкой плиты 1.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Применение упруго-фрикционных скользунов обеспечивает более высокие ходовые качества вагона в результате гашения колебаний боковой качки кузова и виляния тележки. В первом случае, за счет трения между наклонными поверхностями фрикционного клина 4 и плиты 7, во втором – момента трения между горизонтальными поверхностями скользунов кузова и тележки.

Но элементы фрикционной пары скользунов интенсивно изнашиваются в процессе эксплуатации, что приводит к увеличению затрат при их восстановлении.

a – a



б – б

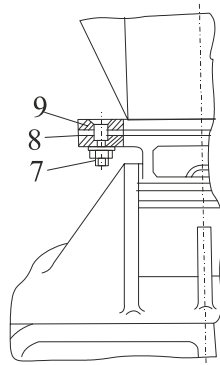


Рис. 1. Упругий фрикционный скользунок тележки модели 18-115: общий вид (а) и вид по стрелке А (б).

Fig. 1. Elastic friction side bearer, model 18-115: general view (a) and view along the arrow A (b)

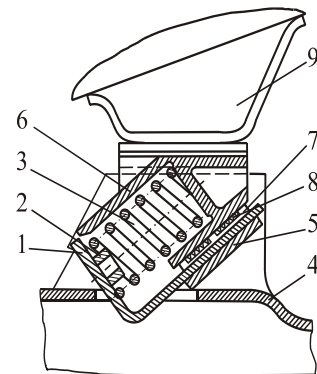
В работе предлагается усовершенствованная конструкция скользунов тележки железнодорожного вагона [16]. Отличие предлагаемой конструкции скользуна от аналогичных в том, что износостойчивые элементы выполнены в виде сменных металлокерамических пластинок, жестко закрепленных на плоскостях трения.

На рис. 2 представлен общий вид скользуна, который состоит из Г-образной плиты 1 с жест-

ко закрепленным на ней приливом 2 для фиксации пружины 3. Плита установлена на верхнем поясе надрессорной балки 4 и опирается на ребра 5. На пружине установлен фрикционный клин 6, наклонная поверхность которого взаимодействует с опорной наклонной площадкой плиты через пластинку 7 с нанесенной на нее износостойчивыми элементами в виде сменных металлокерамических вставок 8, жестко закрепленных на плоскостях трения.

Между верхней поверхностью опорной части клина и скользуном 9, закрепленным на раме вагона, к клину жестким соединением 10 закреплена также пластинка 11 с износостойчивыми элементами в виде металлокерамических вставок 12 через площадку 13, с помощью которой регулируется величина начального натяжения между скользунами.

a – a



б – б

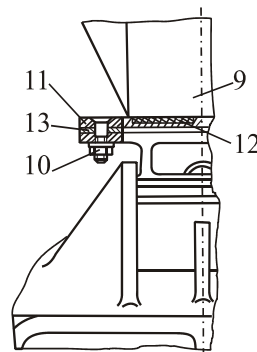


Рис. 2. Общий вид усовершенствованного скользуна (а) и вид по стрелке А (б)

Fig. 2. General view of the improved side bearer (a) and a view along the arrow A (b)

Результаты

В процессе эксплуатации из-за загрязнения, износов трущихся поверхностей и других причин силовые характеристики скользуна могут

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

существенно меняться, что неблагоприятно будет сказываться на динамических качествах тележек и как следствие – на безопасность движения поездов. Поэтому вопрос улучшения работы упругих фрикционных скользунков путем их модернизации является достаточно актуальным.

Во время движения транспортного средства по железнодорожному пути возникают вертикальные колебания необрессоренной части 9 кузова вагона относительно надрессорной балки 4 тележки (см. рис. 2). При этом действуют значительные силы трения в парах 9–12 и 8–6, основную часть которых воспринимают металлокерамические вставки 12 и 8, что приводит к гашению этих сил и обеспечивает уменьшение динамических нагрузок, которые возникают при колебаниях тележки во время движения по прямым и вписывании тележки в кривые участки пути.

Научная новизна и практическая значимость

Усовершенствована конструкция фрикционной пары скользунков тележки грузового вагона модели 18-115.

Использование износоустойчивых элементов в виде сменных металлокерамических вставок будет способствовать уменьшению износа элементов соединения тележки и рамы грузового вагона, улучшению его динамических качеств, а также уменьшению расходов на восстановление изношенных трением скользунков.

Выводы

Использование износоустойчивых элементов в виде металлокерамических вставок будет способствовать уменьшению износа элементов соединения тележки и рамы грузового вагона, улучшению его динамических качеств, а также уменьшению расходов на восстановление изношенных трением скользунков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андриевский, С. М. Боковой износ рельсов на кривых / С. М. Андриевский // Тр. ВНИИЖТа. – М., 1961. – Вып. 207. – С. 1–126.
2. Бирюков, И. Вагон и маленькая тележка / И. Бирюков // Гудок. – 2003. – 23 апр.
3. Бородай, С. М. Ремонт тележек типа ЦНИИ-ХЗ / С. М. Бородай. – М. : Транспорт, 1966. – 30 с.
4. Вагоны. Общий курс. Учеб. для вузов ж.-д. трансп. / под общей ред. В. В. Лукина. – М. : Маршрут, 2000. – 424 с.
5. Вериги, М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериги, А. Я. Коган. – М. : Транспорт, 1986. – 559 с.
6. Вериги, М. Ф. Вертикальные силы, действующие на путь при прохождении подвижного состава / М. Ф. Вериги // Тр. ЦНИИ МПС. – М., 1955. – Вып. 97. – С. 25–288.
7. Вериги, М. Ф. Модернизация рессорного подвешивания тележек типа МТ-50 / М. Ф. Вериги, Л. О. Грачева, П. С. Анисимов // Тр. ВНИИЖТа. – М., 1968. – Вып. 372. – С. 1–112.
8. Влияние технического состояния узлов опирания грузовых вагонов на сопротивление повороту тележки / Ю. С. Ромен, В. М. Богданов, Л. К. Добрынин и др. / Вестн. ВНИИЖТа. – 2000. – № 3. – С. 9–12.
9. Волощенко, Г. И. Как снизить износ колес. Опыт Юго-Восточной дороги / Г. И. Волощенко // Локомотив. – 2003. – № 1. – С. 33.
10. Инструкция по ремонту и обслуживанию букс с подшипниками скольжения. – М. : Транспорт, 1977. – 31 с.
11. Косов, В. С. Влияние смазки рельсов на динамические качества и износ гребней колес при движении локомотива в кривых / В. С. Косов // Вопросы трансп. машиностроения : сб. науч. тр. Брян. гос. техн. ун-та. – Брянск : Изд-во БГТУ, 2000. – С. 31–39.
12. Мешков, В. С. Техничко-экономические аспекты смазки колес и рельсов / В. С. Мешков, В. В. Прасков, В. В. Кравчук // Локомотив. – 2004. – № 12. – С. 24–26.
13. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса : пер. с англ. / У. Дж. Харрис, С. М. Захаров, Дж. Ландгрэн, Х. Турне, В. Эберсен. – М. : Интекст, 2002. – 408 с.
14. Оценка динамических (ходовых) качеств и воздействия на путь шестиосных полувагонов грузоподъемностью 95 т / М. Ф. Вериги, Л. О. Грачева, М. В. Алексеев, П. С. Анисимов // Тр. ВНИИЖТа. – М., 1963. – Вып. 268 : Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава. – С. 5–125.
15. Пат. 31833 Україна, МПК B61F 5/00. Ковзун візка залізничного вагона / Мямлін С. В., Босов А. А., Панасенко В. Я., Клименко І. В. (Україна) ; заявник та патентовласник Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – № у 2007 13481 ; заявл. 03.12.2007 ; опубл. 25.04.2008 ; Бюл. № 8. – 2 с.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

16. Пути совершенствования конструкции тележки грузового вагона / С. В. Мямлин, А. А. Босов, В. Я. Панасенко и др. // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 29. – С. 27–32.
17. Ушкалов, В. Ф. Модернизация тележек грузовых вагонов как вариант обновления ходовых частей подвижного состава / В. Ф. Ушкалов, А. Д. Лашко, Т. Ф. Мокрий // Вестн. ВНИИЖ-Та. – 2013. – № 5. – С. 8–15.
18. Шур, Е. Кто они, настоящие тени? / Е. Шур // Гудок. – 2003. – 17 апр.
19. Comparative study on wheel-rail dynamic interactions of side-frame cross-bracing bogie and sub-frame radial bogie / C. Yang, F. Li, Y. Huang, K. Wang, B. He. – J. of Modern Transportation. – Vol. 21. – Iss. 1. – 2013. – P. 1–8.
20. Orlova, A. Rutting mode of 3-piece bogies during curving / A. Orlova, D. Moelle, H. Scheffel // Identification and Anomalies (11.11–13.11. 2002) : Proc. of the 8th Mini Conf. on Vehicle System Dynamics / Budapest Univ. Technol. and Econ. – Budapest : VSDIA' 2002. – P. 85–92.

Г. ВАЙЧУНАС¹, С. В. МЯМЛІН², А. А. БОСОВ³, В. Я. ПАНАСЕНКО⁴,
І. В. КЛИМЕНКО^{5*}, Є. Ф. ФЕДОРОВ⁶

¹Фак. «Залізничний транспорт», Вільнюський технічний університет імені Гедимінаса, вул. Басанавічуса, 28, Вільнюс, Литва, LT-03224, тел. +37 (052) 74 48 05, ел. пошта lionginas.liudvinavicius@vgtu.lt

²Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс + 38 (056) 793 19 03, ел. пошта sergeyuyamlin@gmail.ru, ORCID 0000-0002-7383-9304

³Каф. «Прикладна математика», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 36, ел. пошта aabosov@i.ua, ORCID 0000-0002-5348-2205

⁴Каф. «Безпека життєдіяльності», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 81

^{5*}Галузева науково-дослідна лабораторія динаміки і міцності рухомого складу залізниць, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 08, ел. пошта irklmn@mail.ru, ORCID 0000-0001-8889-8713

⁶Галузева науково-дослідна лабораторія динаміки і міцності рухомого складу залізниць, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 08

ПРУЖНО-ФРИКЦІЙНИЙ КОВЗУН ДЛЯ ВІЗКА ВАНТАЖНОГО ВАГОНА

Мета. Необхідно з'ясувати питання стосовно зменшення зношування деталей ковзунів вантажних вагонів, зменшення витрат на відновлення зношених деталей, поліпшення динамічних якостей рейкових екіпажів і підвищення безпеки їх руху. **Методика.** Зносостійкі елементи ковзунів виконані у вигляді змінних металокерамічних пластинок, жорстко закріплених на площинах тертя. **Результати.** У процесі експлуатації через забруднення, знос тертьових поверхонь та інші причини силові характеристики ковзуна можуть суттєво змінюватися, що несприятливо буде позначатися на динамічних якостях візків і, як наслідок, – на безпеці руху поїздів. Тому запропоновані авторами рекомендації із поліпшення роботи пружно-фрикційних ковзунів через їхню модернізацію є актуальними. **Наукова новизна.** Удосконалено конструкцію ковзуна візка вантажного вагона. На пружині встановлено фрикційний клин, похила поверхня якого взаємодіє з опорною похилою частиною плити через пластинку з нанесеними на неї зносостійкими елементами у вигляді металокерамічних вставок. **Практична значимість.** Використання зносостійких елементів у вигляді змінних металокерамічних вставок буде сприяти зменшенню зношування елементів з'єднання візка й рами вантажного вагона, поліпшенню його динамічних якостей, а також зменшенню витрат на відновлення зношених тертям ковзунів.

Ключові слова: візки вантажного вагона; пружно-фрикційні ковзуни; динамічні якості; знос

G. VAICIUNAS¹, S. V. MYAMLIN², A. A. BOSOV³, V. YA. PANASENKO⁴,
I. V. KLIMENKO^{5*}, YE. F. FEDOROV⁶

¹Fac. «Railway Transport», Vilnius Gediminas Technical University, Basanavichyus St., 28, Vilnius, Lithuania, LT-03224, tel. +37 (052) 74 48 05, e-mail lionginas.liudvinavicius@vgtu.lt

²Dep. «Cars and Car Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 03, e-mail sergeymyamin@gmail.ru, ORCID 0000-0002-7383-9304

³Dep. «Applied Mathematics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 36, e-mail aabosov@i.ua, ORCID 0000-0002-5348-2205

⁴Dep. «Life Safety», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 81

^{5*}Branch Research Laboratory of the Dynamics and Strength of Railway Rolling Stock, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793 19 08, e-mail irklmn@mail.ru, ORCID 0000-0001-8889-8713

⁶Branch Research Laboratory of the Dynamics and Strength of Railway Rolling Stock, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793 19 08

ELASTIC-FRICTION SIDE BEARER FOR FREIGHT CAR BOGIE

Purpose. One should clarify the issues concerning the wear reduction of details of freight car side bearers, costs reduction for the worn details reconstruction, improvement the dynamic characteristics of railway vehicles and the increase of their movement safety. **Methodology.** Wear-resistant elements of the side bearers are made in the form of removable metal-ceramic plates, entrenched on friction planes. **Findings.** During operation due to pollution, wear of friction surfaces and other causes the power characteristics of side bearer may significantly vary, which adversely affects the dynamic qualities of bogies, and as a result the train traffic safety. Therefore, the solution proposed by the authors concerning the operation improvement of elastic frictional side bearers by means of their modernization is an urgent one. **Originality.** The design of the bogie side bearer of freight car was improved. Friction wedge was set on the spring; its inclined surface interacts with a support inclined platform of a plate through the plate with the durable elements in the form of metal-ceramic inserts. **Practical value.** The use of wear-resistant elements in the form of interchangeable metal-ceramic inserts will reduce the wear of connection joints of bogie and a freight car frame, improve its dynamic qualities. It will also decrease the costs for restoration of worn side bearers by friction.

Keywords: bogies of a freight car; elastic-friction side bearers; dynamic qualities; wear

REFERENCES

1. Andriyevskiy S.M. Bokovoy iznos relsov na krivyykh [Horizontal wear of rails on curves]. *Trudy VNIIZhTa* [Proc. of VNIIZhT], 1961, issue 207, pp.1-126 p.
2. Biryukov I. Vagon i malenkaya teleshka [Car and a small bogie]. *Gudok – Whistle*, 2003, April 23.
3. Boroday S.M. *Remont teleshkek tipa TsNII-KhZ* [Repair of bogies, type TsNII-KhZ]. Moscow, Transport Publ., 1966. 30 p.
4. Lukina V.V. *Vagony. Obshchiy kurs* [Cars. General course]. Moscow, Marshrut Publ., 2000. 424 p.
5. Verigo M.F., Kogan A.Ya. *Vzaimodeystviye puti i podvizhnogo sostava* [Interaction between track and rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1986. 559 p.
6. Verigo M.F. Vertikalnyye sily, deystvuyushchiye na put pri prokhozhenii podvizhnogo sostava [Vertical forces that act on the track during the rolling stock passing]. *Trudy TsNII MPS* [Proc. of TsNII MPS], 1955, issue 97, pp. 25-288.
7. Verigo M.F., Gracheva L.O., Anisimov P.S. Modernizatsiya ressnogo podveshivaniya teleshkek tipa MT-50 [Modernization of bogies spring suspension, type MT-50]. *Trudy VNIIZhTa* [Proc. of VNIIZhT], 1968, issue 372, pp. 1-112.
8. Romen Yu.S., Bogdanov V.M., Dobrynin L. K., Kosov V.S. Vliyaniye tekhnicheskogo sostoyaniya uzlov opiraniya gruzovykh vagonov na soprotivleniye povorotu teleshki [Effect of technical condition of freight cars support nodes on rotation bogie resistance]. *Vestnik VNIIZhTa – VNIIZhT Bulletin*, 2000, no. 3, pp. 9-12.
9. Voloshchenko G.I. Kak snizit iznos koles. Opyt Yugo-Vostochnoy dorogi [How to reduce the wheel wear. Southeast road experience]. *Lokomotiv – Locomotive*, 2003, no. 1, p. 33.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

10. *Instruktsiya po remontu i obsluzhivaniyu buks s podshipnikami skolzheniya* [Repair and maintenance instruction of the boxes with plain friction bearings]. Moscow, Transport Publ., 1977. 31 p.
11. Kosov V.S. Vliyaniye lubrikatsii relsov na dinamicheskiye kachestva i iznos grebney koles pri dvizhenii lokomotiva v krivyykh [Rails lubrication effect on dynamic qualities and wheel flange wear during locomotives movement in curves]. *Sbornik nauchnykh trudov Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta «Voprosy transportnogo mashinostroyeniya»* [Proc. of Bryansk State Technical University «Transport Engineering Issues»]. Bryansk, Izd-vo BGTU Publ., 2000, pp. 31-39.
12. Meshkov V.S., Praskov V.V., Kravchuk V.V. Tekhniko-ekonomicheskiye aspekty lubrikatsii koles i relsov [Technical and economic aspects of wheels and rails lubrication]. *Lokomotiv – Locomotive*, 2004, no. 12, pp. 24-26.
13. Kharris U. Dzh., Zakharov S. M., Landgren Dzh., Turne X., Ebersen V. *Obobshcheniye peredovogo opyta tyazhelovesnogo dvizheniya: voprosy vzaimodeystviya kolea i relsa* [Best practices generalization of heavy traffic: issues of wheel and rail interaction]. Moscow, Intekst Publ., 2002. 408 p.
14. Verigo M.F., Gracheva L.O., Alekseyev M.V., Anisimov P.S. Otsenka dinamicheskikh (khodovykh) kachestv i vozdeystviya na put shestiosnykh poluvagonov gruzopodъемnostyu 95 t [Evaluation of dynamic (riding) qualities and effect on the rail of six-axle gondola cars, capacity 95 tons]. *Trudy VNIIZhTa. Vyp. 268: Voprosy vzaimodeystviya puti i podvizhnogo sostava* [Proc. of VNIIZhT. Issue 268: Interaction between track and rolling stock], 1963, pp. 5-125.
15. Miamlin S.V., Bosov A.A., Panasenko V.Ya., Klymenko I.V. *Kovzun vizka zaliznychnoho vahona* [Side bearer of rail cars bogie]. Patent UA, no. u 2007 13481, 2007.
16. S.V. Myamlin, Bosov A.A., Panasenko V.Ya. Puti sovershenstvovaniya konstruktсии telezhki gruzovogo vagona [Improvement ways of the freight car bogie design]. *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 29, pp. 27-32.
17. Ushkalov V.F., Lashko A.D., Mokriy T. F. Modernizatsiya telezhek gruzovykh vagonov kak variant obnoveniya khodovykh chastey podvizhnogo sostava [Modernization of freight car bogies as an upgrade option of running parts of the rolling stock]. *Vestnik VNIIZhTa – VNIIZhT Bulletin*, 2013, no. 5, pp. 8-15.
18. Shur Ye. Kto oni, nastoyashchiye teni [Who are they, the real shadows?]. *Gudok – Whistle*, 2003, April 17.
19. Yang C., Li F., Huang Y., Wang K., He B. Comparative study on wheel-rail dynamic interactions of side-frame cross-bracing bogie and sub-frame radial bogie. *Journal of Modern Transportation*, 2013, vol. 21, issue 1, pp. 1-8.
20. Orlova A., Moelle D., Scheffel H. Rutting mode of 3-piece bogies during curving. Proc. of the 8th Mini Conf. on Vehicle System Dynamics «Identification and Anomalies (11.11-13.11. 2002)». Budapest, VSDIA' 2002, pp. 85-92.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. Л. Горобцом (Украина); д.т.н., проф. О. А. Бейгулом (Украина)

Поступила в редколлегию 28.03.2014

Принята к печати 12.05.2014

УДК 629.46/.47:519.876.5:004

В. В. МЯМЛИН^{1*}

^{1*}Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 371 51 10, эл. почта minimax1992@gmail.com, ORCID 0000-0002-8008-9097

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУРНЫХ ВАРИАНТОВ ГИБКИХ ПОТОКОВ ДЛЯ РЕМОНТА ВАГОНОВ ПРИ ПОМОЩИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Цель. В работе необходимо усовершенствовать методы организации ремонта вагонов за счет поиска рациональных структур гибких потоков для ремонта вагонов. **Методика.** Использовалось имитационное моделирование для анализа функционирования вагоноремонтных потоков. Исходными данными для генерирования случайных величин продолжительности ремонта вагонов выступали статистические данные, собранные на действующих вагоноремонтных предприятиях. **Результаты.** Полученные результаты свидетельствуют о том, что при одном и том же количестве модулей более эффективным является гибкий ремонтный поток. Гибкий поток позволяет увеличить пропускную способность, повысить съём вагонов с одного модуля и сократить продолжительность простоя вагонов в ремонте. **Научная новизна.** Были выявлены закономерности, позволяющие установить связи между различными структурными вариантами гибкого потока и их эксплуатационными показателями. Получены конкретные данные, позволяющие по-новому взглянуть на организацию вагоноремонтного производства. **Практическая значимость.** Данные результаты могут быть использованы при проектировании новых перспективных предприятий для ремонта вагонов, а также при реконструкции или расширении существующих предприятий с целью перевода их на гибкий поток. Рекомендуются при проектировании и строительстве новых вагоноремонтных предприятий обязательно учитывать полученные результаты и стараться внедрить их в производство.

Ключевые слова: ремонт вагонов; гибкий поток; имитационное моделирование; анализ вагоноремонтных структур; проектирование вагоноремонтных предприятий

Введение

Данная статья продолжает тему, затронутую в работах [1–12, 17–24]. Нахождение правильных принципов организации ремонта вагонов, позволяющих сочетать высокопроизводительный поточный метод с вероятностной природой ремонтного производства, уже давно является актуальной задачей, стоящей перед учеными и проектировщиками, занимающимися разработкой вагоноремонтных предприятий. Вместе с тем, во времена Советского Союза произошло чрезмерное увлечение жесткими поточными линиями для ремонта вагонов и, поэтому, сегодня приходится пожинать плоды такого непродуманного подхода – практически все вагонные депо ремонтируют вагоны при помощи низкопроизводительного стационарного метода. Эффективный поток организовать никак не получается – здания депо спроектированы таким образом, что радикально изменить структуру потока не представляется возможным. Поэтому сейчас нужны современные вагоноремонтные

предприятия с поточными производствами, функционирующими по совсем иным принципам.

Цель

Цель работы – поиск рациональных структур гибких потоков для ремонта вагонов. Под рациональной будем понимать такую структуру, при которой достигается наибольший съём вагонов с одного ремонтного модуля. Учитывая, что гибкие потоки для ремонта вагонов в настоящее время присутствуют только в теоретических разработках, очень важно знать, как поведут они себя в период эксплуатации, после того, как будут построены и начнут функционировать. Поэтому очень важно еще на стадии проектирования уже знать, каких технико-экономических показателей можно ожидать от их работы, и насколько эти показатели будут отличаться от показателей работы традиционных поточных линий для ремонта вагонов, используемых в настоящее время. Для этой цели был задействован имитационный эксперимент.

Методика

Для исследования потоков ремонта вагонов были использованы алгоритмы и методы расчета, представленные в работах [13–16, 25–26]. На основании этих алгоритмов была разработана специальная имитационная программа. При разработке которой использовалась среда приложения Microsoft Visual Studio 2010, а сам текст программы написан на алгоритмическом языке Visual Basic.

В результате имитационного моделирования на компьютере работы потока вычислялись следующие показатели: пропускная способность технологического потока, средний такт потока, среднеквадратическое отклонение такта, среднее время простоя вагонов в ремонте, среднеквадратическое отклонение времени простоя в ремонте, коэффициенты использования позиций, коэффициенты загрузки позиций, а также другие показатели, необходимые для более глубокого понимания процессов, происходящих во время функционирования потока.

Для имитационного моделирования работы конкретного потока необходимо сначала определиться с его структурой. Будем условно считать, что «длина» потока определяется количеством ремонтных позиций (фаз), а его «ширина» – количеством модулей (каналов) на позиции.

Как показали исследования, проведенные на различных уже действующих предприятиях, количество ремонтных позиций находится в диапазоне от 4 до 12. Следует помнить, что с уменьшением количества позиций, объемы работ, выполняемые на позициях, приходится укрупнять. Увеличение числа позиций неизбежно приводит к дополнительным перемещениям объектов ремонта. Количество позиций зависит от принятого технологического процесса ремонта, состава технологического оборудования и комплексов выполняемых работ. На наш взгляд целесообразно иметь на потоке от 5 до 7 позиций. В идеальном случае, конечно, весь технологический процесс желательно распределить между специализированными позициями в равных долях. Но, учитывая специфику вагоноремонтного производства, да еще его вероятностный характер, на практике это осуществить невозможно. Ведь нет никакой гарантии, что продолжительности разборочных, сборочных, правильных, газорезательных,

электросварочных, слесарных, тормозных, окрасочных работ на каждом вагоне будут равны.

В качестве исходного варианта была принята самая простая структура потока, состоящая из шести позиций с одним ремонтным модулем на каждой позиции. По сути дела, это даже не гибкий поток, а – полужесткий. Все вагоны, ремонтируемые на таком потоке, имеют один и тот же путь движения. Структурная гибкость такого потока равна единице. Поток, состоящий из одного модуля на каждой позиции, не является поликанальным и не позволяет осуществлять «обгоны» между ремонтируемыми вагонами.

В качестве ремонтируемых вагонов, был принят самый многочисленный тип грузовых вагонов – полувагон.

В качестве интервала времени моделирования был взят годовой фонд рабочего времени предприятия $F_{\Pi} = 7\,810$ ч ($355 \times 11 \times 2$).

Вся сложность функционирования потока состоит в том, что продолжительность ремонта вагонов на каждой позиции является случайной величиной, зависящей от большого количества различных факторов. В качестве исходных данных для расчета случайной величины времени выполнения ремонтных работ на каждой позиции были использованы статистические данные, собранные в вагонсборочном участке одного из передовых действующих вагоноремонтных предприятиях. На основании этой статистики программа определенным образом генерирует случайное время выполнения работ по каждому вагону для каждой позиции. Затем определяется возможность перемещения вагона на один из модулей следующей позиции. Математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение времени выполнения работ на позициях представлены в табл. 1.

Для того, чтобы проследить тенденцию изменения показателей работы потока с изменением его структуры и выявить зависимости между ними, был использован метод «расширения узких мест». Суть этого метода состоит в добавлении еще одного модуля к той позиции, которая имеет наибольшую загрузку и, таким образом, «тормозит» движение потока.

После добавления очередного модуля к одной из позиций, имеющей наибольший коэффициент загрузки, осуществлялось повторное моделирование работы потока. Затем снова из-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

менялась структура потока путем добавления еще одного модуля уже к другому «узкому месту» и так далее. После добавления дополнительного модуля к позиции, производительность ее увеличивается, и пропускная способность ее возрастает. Если возрастает пропускная способность бывшего «узкого места», то, естественно, возрастает и пропускная способность всего потока. Однако она возрастает до тех пор, пока снова не появится «узкое место», которое также будет сдерживать движение потока.

Таблица 1

Параметры случайных величин времени выполнения работ на позициях

Table 1

Random variables parameters of works runtime on the positions

Позиция	Математическое ожидание, мин	Среднеквадратическое отклонение, мин
Первая	268,9	128,8
Вторая	68,2	50,9
Третья	275,3	118,0
Четвертая	79,4	138,1
Пятая	63,8	65,8
Шестая	120,3	4,9

При обычном расчете потока количество модулей на позициях должно задаваться сразу, исходя из равенства пропускных способностей позиций. В общем случае количество модулей на позиции должно быть пропорционально времени выполнения ремонтных работ на этой позиции.

В нашем же случае, приняв по одному модулю на каждой позиции и используя метод «расширения узких мест», мы хотели наглядно продемонстрировать, как изменяются эксплуатационные показатели потока с изменением его структуры. Из рис. 1 и табл. 2–3 хорошо видно, что с увеличением количества модулей на потоке на одну единицу обязательно увеличивается и его пропускная способность. Но увеличение пропускной способности еще не говорит о том, что улучшаются и все остальные показатели.

Результаты

Результаты моделирования различных структурных вариантов гибкого потока представлены в табл. 2.

На рис. 1 представлен график зависимости между количеством ремонтных модулей на потоке и его пропускной способностью.

На рис. 2 представлен график зависимости между количеством ремонтных модулей на потоке и его структурной гибкостью.



Рис. 1. Зависимость между количеством ремонтных модулей на потоке и его пропускной способностью

Fig. 1. Dependency between the amount of repair modules on the flow and its working capacity

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Таблица 2

Результаты моделирования различных структурных вариантов гибкого потока

Table 2

The simulation results of different structural variants of the flexible flow

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Количество модулей, R	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Пропускная способность, N	1 398	1 686	2 325	2 604	2 682	2 876	3 694	4 099	4 286	4 674	4 965	5 926	6 249	6 377	6 975	7 357	7 518	8 741	9 172
№ сдерживаю- щей позиции	3	1	3	1	6	4	3	1	3	2	5	3	1	6	3	1	4	3	1
Структурная гибкость, ψ	1	2	4	6	9	18	36	48	60	80	160	320	384	480	720	840	1 008	1 512	2 268
Съем вагонов с 1 модуля, θ	233	241	291	290	268	261	308	315	306	312	310	349	347	336	349	350	342	380	382
Простой в ремонте, T , ч	20,6	18,0	22,6	23,5	23,1	23,8	19,7	19,5	19,6	21,9	23,5	19,7	19,8	22,12	19,1	19,0	20,5	18,2	18,8

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Таблица 3

Зависимость пропускной способности потока от количества модулей

Table 3

Dependency of flow working capacity on the number of modules

№/ п/п	Количество модулей на потоке	Пропускная способность потока	Рост пропускной способности потока по сравнению с предыдущим вариантом		Рост пропускной способности потока по сравнению с базовым вариантом	
			Вагоны	%	Вагоны	%
1	6	1 398	–	–	–	–
2	7	1 686	288	20,60	288	20,60
3	8	2 325	639	37,9	927	66,30
4	9	2 604	279	12,0	1 206	86,26
5	10	2 682	78	2,99	1 284	91,84
6	11	2 876	194	7,23	1 478	105,72
7	12	3 694	818	28,44	2 296	164,23
8	13	4 099	405	10,96	2 701	193,20
9	14	4 286	187	4,56	2 888	206,58
10	15	4 674	388	9,05	3 276	234,33
11	16	4 965	291	6,22	3 567	255,15
12	17	5 926	961	19,35	4 528	323,89
13	18	6 249	323	5,45	4 851	346,99
14	19	6 377	128	2,04	4 979	356,15
15	20	6 975	598	9,37	5 577	398,92

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Окончание табл. 3
End of Table 3

№/ п/п	Количество модулей на потоке	Пропускная способность потока	Рост пропускной способности потока по сравнению с предыдущим вариантом		Рост пропускной способности потока по сравнению с базовым вариантом	
			Вагоны	%	Вагоны	%
16	21	7 357	382	5,47	5 959	426,25
17	22	7 518	161	2,18	6 120	437,76
18	23	8 741	1 223	16,26	7 343	525,25
19	24	9 172	431	4,93	7 774	556,08

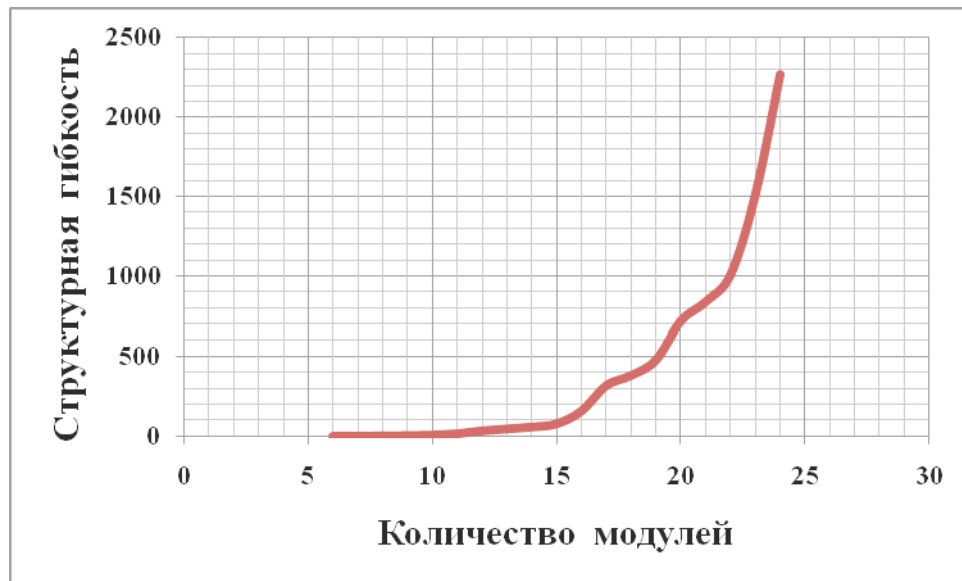


Рис. 2. Зависимость между количеством модулей на потоке и его структурной гибкостью

Fig. 2. Dependency between the number of modules on the flow and structural flexibility

Результаты моделирования различных структурных вариантов технологических потоков для ремонта вагонов свидетельствуют о том, что с увеличением количества модулей пропускная способность потока возрастает. Вместе с тем, она возрастает по-разному: в одних случаях – на незначительную величину, в других – весьма существенно. Все зависит от того, какую роль играет данный модуль в этом структурном варианте.

Наиболее комплексным показателем, характеризующим эффективность работы потока в целом, является съём вагонов с одного ремонтного модуля. Как можно видеть из табл. 2, с увеличением количества модулей этот показатель имеет тенденцию к увеличению.

Попытаемся сравнить между собой структурные варианты разных типов потоков. Для точности эксперимента будем сопоставлять показатели работы только тех вариантов разных типов потоков, которые состоят из одинакового количества модулей. Варианты традиционных потоков будем рассматривать, как простую совокупность отдельных полужестких потоков, независимых друг от друга. В качестве базового варианта потока примем шестипозиционный поток. Поэтому будем сравнивать варианты разных потоков, состоящих из количества модулей кратных шести.

Так как шестимодульный поток имеет пропускную способность, равную 1 398 вагонов в год, то двенадцатимодульный поток (две нитки по

шесть модулей) будет иметь пропускную способность 2 796 вагонов в год ($1\,398 \times 2$) и так далее.

В табл. 4 представлены результаты моделирования сравниваемых вариантов структур потоков разных типов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при одном и том же количестве модулей более эффективным является гибкий ремонтный поток.

Следует отметить, что на позитивные возможности гибких потоков обратили внимание и американские специалисты [27].

Таким образом, путем правильного распределения трудоемкостей работ между позициями и выбора необходимого количества модулей на позициях, можно добиться высоких технико-экономических показателей работы потока. При этом пропускные способности позиций должны быть примерно одинаковыми. Пропускная способность всего потока будет зависеть от пропускной способности самых загруженных позиций.

Выбор конкретного пути перемещения вагона между модулями позиций зависит от многих случайных факторов. В случае если при заданной структуре потока $\psi > N$, то у каждого конкретного вагона появляется теоретическая возможность иметь свой индивидуальный путь перемещения, не совпадающий с путями перемещения остальных вагонов.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

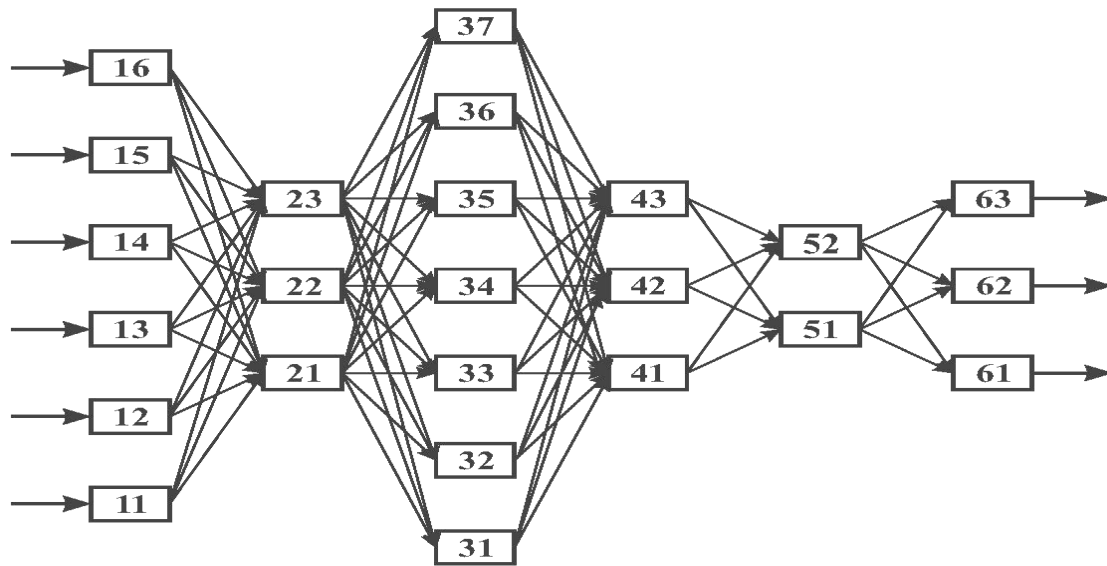


Рис. 3. Вариант структуры гибкого потока, состоящий из 24 ремонтных модулей

Fig. 3. Structure variant of flexible flow consisting of 24 repair modules

Таблица 4

Пропускная способность потоков разных типов

Table 4

Working capacity of flows of different types

Традиционный поток		Гибкий поток		Рост пропускной способности	
Количество модулей	Пропускная способность	Количество модулей	Пропускная способность	Вагон	%
6	1398	6	–	–	–
12	2 796	12	3 694	898	32,1
18	4 194	18	6 249	2 055	49,0
24	5 592	24	9 172	3 580	64,0
30	6 990	30	11 496	4 506	64,5
36	8 388	36	14 191	5 803	69,5

На рис. 3 представлен вариант структуры гибкого потока, состоящий из 24 ремонтных модулей.

На основании данных, полученных в результате моделирования, можно сделать вывод, что преимущества гибких потоков для ремонта вагонов начинают проявляться уже на начальных стадиях наращивания дополнительных мо-

дулей на позициях. Но наиболее ярко преимущества гибких потоков проявляются при значительном количестве модулей. Поэтому для эффективного их функционирования нужен определенный «простор», чтобы было где «развернуться». Целесообразное значение программы ремонта должно находиться в диапазоне от 6 000 до 9 000 вагонов в год.

Научная новизна и практическая значимость

Впервые с помощью имитационного моделирования были исследованы процессы функционирования различных структурных вариантов потоков для ремонта вагонов. Были выявлены закономерности, позволяющие установить связи между различными вариантами структур гибкого потока и их эксплуатационными показателями.

Исследования показали, что в результате усложнения структуры потока в ней появляются новые возможности, благоприятно влияющие на протекание технологического процесса функционирования потока и позволяющие «сглаживать» вероятностную природу ремонтного производства. В результате чего возрастает пропускная способность потока и сокращается простой вагонов в ремонте.

К новым возможностям относятся, например, такие возможности, как «обгоны» между

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

вагонами, выбор варианта пути перемещения. Традиционные поточные линии такими возможностями не обладают, что делает их очень уязвимыми к различным случайным факторам, оказывающим большое влияние на ход протекания технологического процесса ремонта вагонов, что, в конечном счете, отражается на их технико-экономических показателях.

Данные результаты могут быть использованы при проектировании новых перспективных предприятий для ремонта вагонов, а также при реконструкции или расширении существующих предприятий, с целью перевода их на гибкий поток.

Выводы

1. Полученные результаты свидетельствуют о том, что принятые в настоящее время «классические» поточные линии для ремонта вагонов являются далеко не лучшим решением, так как не учитывают вероятностную природу ремонтного производства.

2. Более весомых технико-экономических показателей можно достичь за счет использования гибких потоков для ремонта вагонов, обладающих значительной свободой в перемещении, что делает их менее уязвимыми от действия случайных факторов, присущих вагоноремонтному производству.

3. Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение возможности ремонта в составе единого гибкого потока вагонов разных типов, а также выполнения разных видов ремонта.

4. Необходимо собрать статистическую базу данных о трудоемкостях ремонта вагонов других типов, которая могла бы послужить информационной основой для исходных данных, используемых при имитационном моделировании гибких вагоноремонтных потоков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Автоматизированные системы обработки информации и гибкие технологии на ремонтных предприятиях / М. М. Болотин, В. Г. Воротников, Т. В. Второва, И. В. Козловский // Автоматизация и соврем. технологии. – 1992. – № 8. – С. 21–23.
2. Бараш, Ю. С. Поточные линии гибкого маневрирования / Ю. С. Бараш, В. И. Сенько, А. Ф. Люлько // Ж.-д. трансп. – 1987. – № 2. – С. 64–65.
3. Болотин, М. М. Моделирующие алгоритмы и автоматизация расчетов / М. М. Болотин, В. Г. Воротников // Мир трансп. – 2008. – № 3. – С. 100–109.
4. Болотин, М. М. Новая технология ремонта вагонов / М. М. Болотин, В. Г. Воротников // Ж.-д. трансп. – 1991. – № 9. – С. 29–33.
5. Вагонное хозяйство / под ред. П. А. Устича. – М. : Маршрут, 2003. – 560 с.
6. Васецкий, В. В. Оптимизация управления потоками заявок на ремонт в условиях многостадийного вагоноремонтного производства / В. В. Васецкий, С. А. Олейникова, В. М. Питонин // Информац. технологии моделирования и упр. – 2006. – № 7 (32). – С. 882–890.
7. Воротников, В. Г. Модульный конвейер / В. Г. Воротников, Р. Мартынов // Гудок. – 2010. – 1 июля.
8. Воротников, В. Г. Основные принципы моделирования процессов функционирования гибких производственных систем вагонных депо / В. Г. Воротников, А. А. Денисенко // Безопасность движения поездов (01.11-02.11.2007) : материалы 8-ой науч.-практ. конф. – Москва, 2007. – С. VI–3.
9. Воротников, В. Г. Перспективные направления повышения производственного потенциала вагонных депо / В. Г. Воротников // Безопасность движения поездов (01.11-02.11.2007) : материалы 8-ой науч.-практ. конф. – Москва, 2007. – С. VI–3 – VI–4.
10. Губенко, В. К. Основные определения и показатели гибкого ремонтного процесса цистерн / В. К. Губенко, В. П. Литвиненко, Г. Г. Псарас ; Ждан. металлург. ин-т. – Жданов, 1986. – 19 с. – Деп. В УкрНИИТИ 22.09.1986, № 2229-Ук86.
11. Котуранов, В. Н. Пути усиления вагоноремонтной базы / В. Н. Котуранов, М. М. Болотин, С. Н. Муравьев // Ж.-д. трансп. – 1994. – № 11. – С. 54–56.
12. Миронов, А. Ю. Сокращать простои вагонов в ремонте / А. Ю. Миронов // Ж.-д. транспорт. – 2007. – № 8. – С. 22–23.
13. Мямлин, В. В. Анализ основных параметров асинхронного гибкого потока ремонта вагонов и методы их расчета / В. В. Мямлин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 26. – С. 28–33.
14. Мямлин, В. В. Гибкие потоки для ремонта вагонов и особенности имитационного моделирования их работы / В. В. Мямлин // Трансп. Росс. Федерации. – 2013. – № 3 (46). – С. 57–60.
15. Мямлин, В. В. Компонентные решения организационно-технологических структур перспективных вагоноремонтных депо с асинхронными гибкими потоками ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 31. – С. 55–62.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

16. Мямлин, В. В. Структуры гибких вагоноремонтных участков и их влияние на количество возможных вариантов пути перемещения вагонов между позициями потока / В. В. Мямлин // Вестн. Рост. гос. ун-та путей сообщ. – 2013. – № 4 (52). – С. 77–86.
17. Образование параметров и оснащение гибких поточных линий по ремонту вагонов / В. Г. Воротников и др. // Автоматизация и соврем. технологии. – 1993. – № 3. – С. 3–5.
18. Сенько, В. И. Новая технология ремонта грузовых вагонов / В. И. Сенько, И. Л. Чернин // Акт. проблемы развития ж.-д. трансп. (24.09–25.09.1996) : тез. докл. II Межд. науч.-практ. конф. – М. : МГУПС, 1996. – С. 113.
19. Сенько, В. И. Развитию деповской базы – научный поход / В. И. Сенько // Ж.-д. трансп. – 1990. – № 6. – С. 41–42.
20. Скиба, И. Ф. Комплексно-механизированные поточные линии в вагоноремонтном производстве / И. Ф. Скиба, В. А. Ежиков. – М. : Транспорт, 1982. – 136 с.
21. Старых, С. А. Повышение эффективности ремонта грузовых вагонов / С. А. Старых // Ж.-д. трансп. – 2007. – № 8. – С. 24–27.
22. Структура и параметры гибкой организации вагоноремонтного процесса / А. Е. Дударев, В. П. Свиных, В. Г. Анофриев, Л. П. Безовская // Вопросы улучшения ходовых частей и обслуживания вагонов. – Днепропетровск : ДИИТ, 1987. – Вып. 255/10. – С. 65–69.
23. Технологія ремонту рухомого складу. Ч. 1 : навч. посіб. / В. О. Шамагін, М. Ф. Ареф'єв, В. Н. Пасько, В. Л. Михайлюков. – К. : Дельта, 2008. – 479 с.
24. Тухарели, О. Г. Ремонту вагонов – индустриальную базу / О. Г. Тухарели, Р. Г. Морчиладзе // Ж.-д. трансп. – 1985. – № 1. – С. 42–44.
25. Myamlin, V. V. Asynchronous flexible stream of wagon repair and modeling of its functioning process as aggregated system / V. V. Myamlin // Transbaltica 2009 (22.04–23.04.2009) : Proc. of the 6-th Intern. Sci. Conf. / Vilnius Gediminas Techn. Univ., Lithuania. – Vilnius : Technika, 2009. – P. 173–178.
26. Myamlin, V. Searching of the ways of definition of the rational configuration of divisions of the car-repair facilities on the basis of the flexible stream on the design stage / V. Myamlin // TEKA. Commiss. of Motorization and Energetics in Agriculture. – 2013. – Vol. 13, № 4. – С. 167–173
27. Pat. 6769162 US, МПК⁷, В 23 Р 6/00. Railcar maintenance process / J. Barich David, Barich D. M., Donahue T. P. ; assignee General Electric Company. – № 09/725656 ; filed 29.11.2000 ; Date of Pat. 03.08.2004.

В. В. МЯМЛІН^{1*}

^{1*}Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 371 51 10, ел. пошта minimax1992@gmail.com, ORCID 0000-0002-8008-9097

ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ РІЗНИХ СТРУКТУРНИХ ВАРІАНТІВ ГНУЧКИХ ПОТОКІВ ДЛЯ РЕМОНТУ ВАГОНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Мета. У роботі необхідно удосконалити методи організації ремонту вагонів за рахунок пошуку раціональних структур гнучких потоків для ремонту вагонів. **Методика.** Використовувалось імітаційне моделювання для аналізу функціонування вагоноремонтних потоків. Вихідними даними для генерування випадкових величин тривалості ремонту вагонів виступали статистичні дані, зібрані на діючих вагоноремонтних підприємствах. **Результати.** Отримані результати свідчать про те, що при одній і тій же кількості модулів більш ефективним є гнучкий ремонтний потік. Гнучкий потік дозволяє збільшити пропускну здатність, підвищити знімання вагонів з одного модуля та скоротити тривалість простою вагонів у ремонті. **Наукова новизна.** Були виявлені закономірності, що дозволяють встановити зв'язки між різними структурними варіантами гнучкого потоку та їх експлуатаційними показниками. Отримано конкретні дані, що дозволяють по-новому поглянути на організацію вагоноремонтного виробництва. **Практична значимість.** Отримані результати можуть бути використані при проектуванні нових перспективних підприємств для ремонту вагонів, а також при реконструкції або розширенні існуючих підприємств із метою переведення їх на гнучкий потік. Рекомендується при проектуванні та будівництві нових вагоноремонтних підприємств обов'язково враховувати отримані результати й намагатися впровадити їх у виробництво.

Ключові слова: ремонт вагонів; гнучкий потік; імітаційне моделювання; аналіз вагоноремонтних структур; проектування вагоноремонтних підприємств

V. V. MYAMLIN^{1*}

^{1*}Dep. «Car and Car Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 371 51 10, e-mail minimax1992@gmail.com, ORCID 0000-0002-8008-9097

OPERATION STUDY OF DIFFERENT STRUCTURAL OPTIONS OF FLEXIBLE FLOWS FOR CAR REPAIR USING SIMULATION MODELING

Purpose. The article is aimed to improve the methods of car repair organization using the search of rational structures of flexible flows. **Methodology.** For operation analyses of the car repair flows the simulation modeling was used. The initial data for random value generation of cars repair duration are the statistical data. They were collected at the existing car repair enterprises. **Findings.** Obtained results show that at the same amount of modules the flexible repair flow is more efficient. Flexible flow increases the working capacity, improves the removal of cars from one module and reduces car detention time in repair. **Originality.** There were identified the mechanisms, which allow establishing links between the different structural variants of flexible flow and their operational performance. Concrete data that give a fresh look to the organization of car repair production were obtained. **Practical value.** These results can be used in designing the new perspective enterprises for car repair and also under reconstruction or expansion of existing enterprises in order to transfer them to the flexible flow. It is recommended to incorporate the obtained results and try to put them into production during designing and construction of new car enterprises.

Keywords: car repair; flexible flow; simulation modeling; analysis of car repair structures; design of car repair enterprises

REFERENCES

1. Bolotin M.M., Vorotnikov V.G., Vtorova T.V., Kozlovskiy I.V. Avtomatizirovannye sistemy obrabotki informatsii i gibkiye tekhnologii na remontnykh predpriyatiyakh [Automated data processing systems and flexible technologies at the repair bases]. *Avtomatizatsiya i sovremennyye tekhnologii – Automation and high technologies*, 1992, no. 8, pp. 21-23.
2. Barash Yu.S., Senko V.I., Lyulko A.F. Potochnyye linii gibkogo manevrirovaniya [Production lines of flexible maneuvering]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 1987, no. 2, pp. 64-65.
3. Bolotin M.M., Vorotnikov V.G. Modeliruyushchiye algoritmy i avtomatizatsiya raschetov [Modeling algorithms and automation of calculations]. *Mir transporta – Transport World*, 2008, no. 3, pp. 100-109.
4. Bolotin M.M., Vorotnikov V.G. Novaya tekhnologiya remonta vagonov [The new technology of car repair]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 1991, no. 9, pp. 29-33.
5. Ustich P.A. *Vagonnoye khozyaystvo* [Car facilities]. Moscow, Marshrut Publ., 2003. 560 p.
6. Vasetskiy V.V., Oleynikova S.A., Pitolin V.M. Optimizatsiya upravleniya potokami zayavok na remont v usloviyakh mnogostadiynogo vagonoremontnogo proizvodstva [Control optimization of arrivals for repair in the conditions of the multistage car-repair production]. *Informatsionnyye tekhnologii modelirovaniya i upravleniya – Information Technology of Modeling and Control*, 2006, no. 7 (32), pp. 882-890.
7. Vorotnikov V.G., Martynov R. *Modulnyy konveyer* [Modular conveyor]. Gudok, 2010, July, 1st.
8. Vorotnikov V.G., Denisenko A.A. Osnovnyye printsipy modelirovaniya protsessov funktsionirovaniya gibkikh proizvodstvennykh sistem vagonnykh depo [The main principles of modeling the functioning of flexible manufacturing systems in car-repair sheds]. *Materialy 8 nauchno-prakticheskoy konferentsii «Bezopasnost dvizheniya poyezdov»* [Proc. of the 8th Int. Sci. and Practical Conf. «Trains movement safety»]. Moscow, pp. VI-3.
9. Vorotnikov V.G. Perspektivnyye napravleniya povysheniya proizvodstvennogo potentsiala vagonnykh depo [Perspective lines of production potential increasing of car-repair sheds]. *Materialy 8 nauchno-prakticheskoy konferentsii «Bezopasnost dvizheniya poyezdov»* [Proc. of the 8th Int. Sci. and Practical Conf. «Trains movement safety»]. Moscow, pp. VI-3–VI-4.
10. Gubenko V.K., Litvinenko V.P., Psaras G.G. *Osnovnye opredeleniya i pokazateli gibkogo remontnogo protsessa tsistern* [Basic definitions and indicators of flexible repair process in tanks]. *Zhdanov*, no. 2229-Uk86., 1986. 19 p.
11. Koturanov V.N., Bolotin M.M., Muravyev S.N. Puti usileniya vagonoremontnoy bazy [Strengthening ways of car repair base]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 1994, no. 11, pp. 54-56.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

12. Mironov A.Yu. Sokrashchat prostoi vagonov v remonte [To reduce cars detention in repair]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 2007, no. 8, pp. 22-23.
13. Myamlin V.V. Analiz osnovnykh parametrov asinkhronnogo gibkogo potoka remonta vagonov i metody ikh rascheta [Main parameters analysis of asynchronous flexible flow of cars repair and the methods of their calculation]. *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. 28-33.
14. Myamlin V.V. Gibkiye potoki dlya remonta vagonov i osobennosti imitatsionnogo modelirovaniya ikh raboty [Flexible flows for cars repair and simulation modeling features of their work]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of Russian Federation*, 2013, no. 3 (46), pp. 57-60.
15. Myamlin V.V. Komponovochnyye resheniya organizatsionno-tekhnologicheskikh struktur perspektivnykh vagonoremontnykh depo s asinkhronnymi gibkimi potokami remonta vagonov [Layout arrangements of organizational and technological structures of perspective car-repair sheds with asynchronous flexible flows of cars repair]. *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 31, pp. 55-62.
16. Myamlin V.V. Struktury gibkikh vagonoremontnykh uchastkov i ikh vliyanie na kolichestvo vozmozhnykh variantov puti peremeshcheniya vagonov mezhdru pozitsiyami potoka [Structures of flexible cars-repair sections and their effect on the number of possible variants of the movement cars way between the positions of a flow]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of Rostov State University of Communication Lines], 2013, issue, no. 4 (52), pp. 77-86.
17. Vorotnikov V.G. Obrazovaniye parametrov i osnashcheniye gibkikh potochnykh liniy po remontu vagonov [Parameters formation and equipment of flexible production lines at cars repair]. *Avtomatizatsiya i sovremennyye tekhnologii – Automation and high technologies*, 1993, no. 3, pp. 3-5.
18. Senko V.I., Chernin I.L. Novaya tekhnologiya remonta gruzovykh vagonov [New technology of freight car repair]. *Tezisy dokladov II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktualnyye problemy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta»* [Proc. of the II Int. Sci. and Practical Conf. «Urgent problems of railway transport development»], Moscow, 1996, pp. 113.
19. Senko V.I. Razvitiyu depovskoy bazy – nauchnyy podkhod [To the development of a depot base – a scientific approach]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 1990, no. 6, pp. 41-42.
20. Skiba I.F., Yezhikov V.A. *Kompleksno-mekhanizirovannyye potochnyye linii v vagonoremontnom proizvodstve* [Integrated and mechanized flow lines in car repair production]. Moscow, Transport Publ., 1982. 136 p.
21. Starykh S.A. Povysheniye effektivnosti remonta gruzovykh vagonov [Improvement of freight cars repair effectiveness]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 2007, no. 8, pp. 24-27.
22. Dudarev A.Ye., Svinukhov V.P., Anofriyev V.G., Bezovskaya L.P. Struktura i parametry gibkoy organizatsii vagonoremontnogo protsessa [Structure and parameters of the flexible organization of car repair process]. *Voprosy uluchsheniya khodovykh chastey i obsluzhivaniya vagonov* [Issues of improvement the running gears and car service]. Dnipropetrovsk, 1987, issue 255/10, pp. 65-69.
23. Shamahin V.O., Arefiev M.F., Pasko V.N., Mykhailiukov V.L. *Tekhnologiya remonu rukhomoho skladu. Ch. 1* [Repair technology of rolling stock. Part 1]. Kyiv, Delta Publ., 2008. 479 p.
24. Tukhareli O.G., Morchiladze R.G. Remontu vagonov – industrialnuyu bazu [Industrial base is for cars repair]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 1985, no. 1, pp. 42-44.
25. Myamlin V.V. Asynchronous flexible stream of wagon repair and modeling of its functioning process as aggregated system. Proc. of the 6-th Int. Sci. Conf. «Transbaltica 2009». Vilnius, 2009, pp. 173-178.
26. Myamlin V. Searching of the ways of definition of the rational configuration of divisions of the car-repair facilities on the basis of the flexible stream on the design stage. TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. *An international quarterly journal on motorization, vehicle operation, energy efficiency and mechanical engineering*, 2013, vol. 13, no. 4, pp. 167-173.
27. Barich David J., Barich D.M., Donahue T. P. Railcar maintenance process. Assignee General Electric Company. Patent US, no. 09/725656.

Стаття рекомендована к публікації д.т.н., проф. В. Л. Горобцом (Україна); д.т.н., проф. О. А. Бейгулом (Україна)

Поступила в редколлегию 18.03.2014

Принята к печати 30.04.2014

UDC 629.463.027.2-028.77

S. V. MYAMLIN¹, O. O. TEN², L. O. NEDUZHA^{3*}

¹*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 (056) 793 19 03, e-mail sergeymyamin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

²CJSC «Promtraktor-Vagon», Ilich St., 1 a, Kanash, Chuvash Republic, Russian Federation, 429332

³*Dep. «Structural Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 03, e-mail nlorhen@i.ua, ORCID 0000-0002-7038-3006

EXPERIMENTAL RESEARCH OF DYNAMIC QUALITIES OF FREIGHT CARS WITH BOGIES OF DIFFERENT DESIGNS

Purpose. With the advent of new designs of freight cars the task of designing the more modern bogies, assessment of their dynamic properties depending on the type and structure of peculiarities, accounting the axle loadings, providing the dynamic and running characteristics, meeting the conditions of impact on the track, stability, and frame forces intensity etc. becomes especially important. In order to launch the new production into manufacture and to assess the dynamic properties using different designs of bogies the running testes were conducted. They allowed one to compare the dynamic performance of the new bogie with the existing models. **Methodology.** The study was conducted using the method of numerical integration and mathematical modeling of dynamic loading of freight cars using the software package «Dynamics of Rail Vehicles» («DYNRAIL»). **Findings.** The results of studies of dynamic characteristics of open cars with new and worn wheels of bogie models 18-9771, 18-9770 and 18-578 in graphical and tabular form are presented. All figures are within the normative values and do not exceed the maximum admissible ones. **Originality.** When designing the bogie for loading 23.5 t/axle almost all available technical solutions to improve the characteristics of the freight car bogies (elastic bearers, cassette bearing in axle boxes, axle box adapter of original design, bilinear central spring suspension, etc.) were used. **Practical value.** As a result of the engineering works on projecting and manufacturing of the improved designs of freight car bogies a new design was received. It is highly competitive with the dynamic qualities of the best ones. Made choice of rational values of elastic-dissipative parameters of the bogie allows one to create standard series of running gears for freight cars for promising operating conditions. The results are of practical importance. They have found reflection in the number of author's publications in special and semi-popular editions.

Keywords: freight cars; bogie bearers; traffic speed; tangent and curved track sections; dynamic performance

Introduction

The main criteria for assessment of dynamic qualities of rail vehicles that determine the operation mode of rolling stock, as we know, are its dynamic indicators. They should take into account current trends of modern freight car building [13, 15, 17] and correspond to the regulatory documents [12, 8]. With the advent of new designs of freight cars the task of designing the more modern bogies, assessment of their dynamic properties depending on the type and structure of peculiarities, accounting the axle loadings, providing the dynamic and running characteristics, meeting the conditions of impact on the track, stability, and frame forces intensity etc. becomes especially important [5, 6]. At the same time the bogie should be universal, interchangeable with the bogies existing in operation according to installation dimensions

and standardized to the maximum level according to the components. It should be not only simple in design, but also in manufacturing (to ensure minimum production costs and technical maintenance of such bogies). Their operation should be cost-effective.

Purpose

In order to launch the new product into manufacture and to assess the dynamic properties using different designs of bogies the running testes were conducted. They allowed one to compare the dynamic performance (coefficient of vertical dynamics of the body frame, coefficient of vertical dynamics of unsprung bogie, the ratio of side frame force to the static axial loading, derailment stability coefficient) of the new bogie with the existing models.

Methodology

In order to verificate the design decisions previously the theoretical studies for determination the dynamic loading of cars with bogies 18-100 (as a standard), Y25, 18-9771 were carried out [7, 9]. The mathematical model and DYNRAIL software developed in Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan were used during the theoretical studies [18, 19]. Simulation was carried out throughout the range of operating speeds of freight cars on tangent and curved track sections by varying the parameters of elastic elements of the bogie spring suspension, elasticity in bearers and axle box. Rail irregularities were set as the numerical implementations, which had the statistical characteristics similar to real track irregularities. Also, it was possible to set the track irregularities in accordance with current regulatory documentation.

Analysis of the results of theoretical studies made it possible to conclude that for all bogie models the dynamic values of quality indicators for open cars differed within the requirements of regulatory documents [2, 8] and did not exceed the maximum permissible values. These indicators are the coefficient of horizontal dynamics of unsprung part of the car C_{dh} and the coefficient of vertical dynamics of the unsprung part of the car C_{dv} , the stability coefficient of the wheel climbing on the rail C_s . The values of C_{dv} and C_{dh} on the straight track section at the design speed of 120 km/h indicated that the bogie model 18-9771 as compared to the models 18-100 and Y25 according to dynamic performance turned out to be better, although it is designed for axle loading 23.5 tnf.

According to results of performed experimental studies the influence of different bogie designs on the basic dynamic indicators of traffic safety of freight cars in the empty and loaded modes. In this case of four-axle open cars coefficient dynamics these indicators are: the vertical dynamics coefficient of the body frame (C_d), the coefficient of vertical dynamics of unsprung bogie frame (C_{du}), the ratio of the side frame force to the static axial loading (H_p/P_o), the derailment stability coefficient (C_s).

Basic material.

In order to launch the new production into manufacture and to assess the dynamic qualities

using the different bogie designs on the speed test ground of OJSC «VNIIZhT» (Belorechenskaya Station, North Caucasian railway, Russian Federation) the running tests were carried out. They allowed comparing the dynamic performance of the new bogie model 18-9771 (Fig. 1, *a*) with bogie models 18-9770 (Fig. 1, *b*) and 18-578 (Fig. 1, *c*).

Both, the cars with new bogies and the cars with the maximum worn ones but allowed to operation were tested. The tests were carried out in the volumes necessary to launch new production into manufacture.

Description of the test objects.

Bogie model 18-9771 is a development of CJSC «Promtractor-Vagon» (Republic of Chuvashia, Canas, Russian Federation) with increased run life 500 thous. km [9, 10, 15, 11]. The bogie has three-element non-rigid frame, protection of friction pairs in pedestal jaw opening and spring opening. Static deflection of the springs of spring group increased to 68 mm reduces the dynamic impact of car on the track (Table 1).

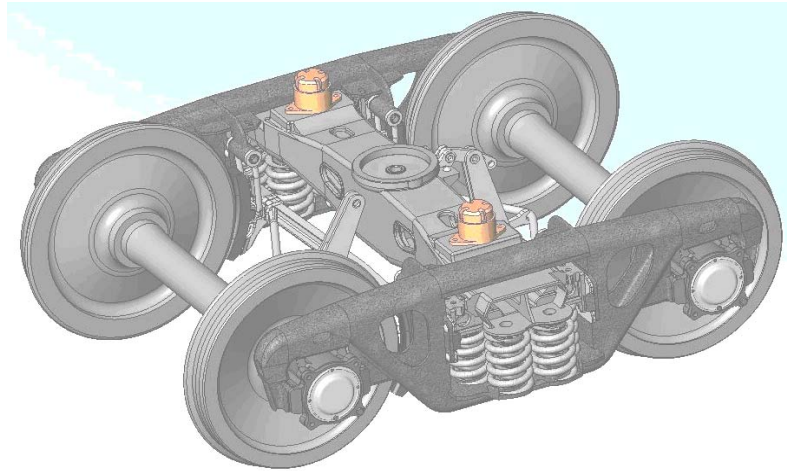
Application of removable wear resistant elements in friction joints should enhance the stability of rolling stock motion and reduce the costs for maintenance and repair of the running gears. A new developed design for two-axle bogie of freight cars has some differences from other producers and lies in the following:

- side frames and bolsters of strengthened design are made in the form of cast steel using the vacuum-film technology;
- the springs of central spring suspension are made using the height determined by the value of calculated static deflection of central spring suspension under the weight of car and maximum permissible load of the car;
- constant contact bearers of elastic type are set clearance-free;
- wear resistant elements of friction wedges are made of polyurethane, in the friction joint are the wedge-plate, center pad, jaw opening.

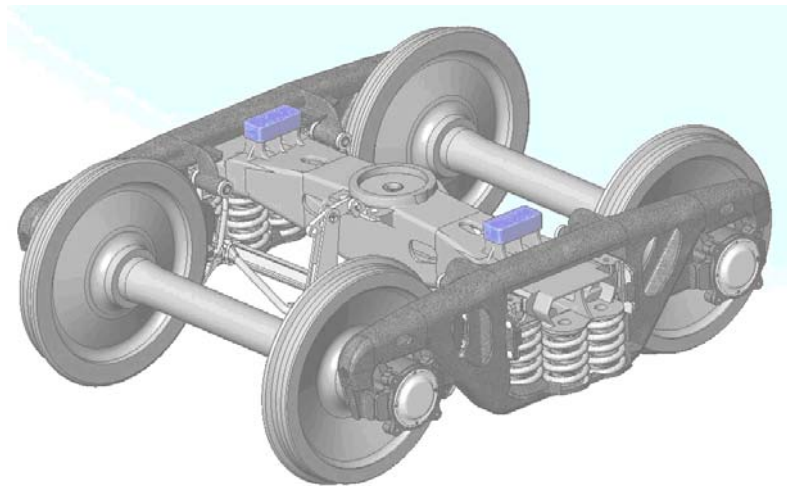
The bogie model 18-9770 is designed for the cars of mainline railways with 1520 mm of rail gage, as well as for the cars of industrial transport [4, 15, 13, 16, 14]. The bogie is an analogue of the serial bogie model 18-100 (Table 1), but with more advanced technology of cast parts manufacturing – side frames, bolsters.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

a



b



c

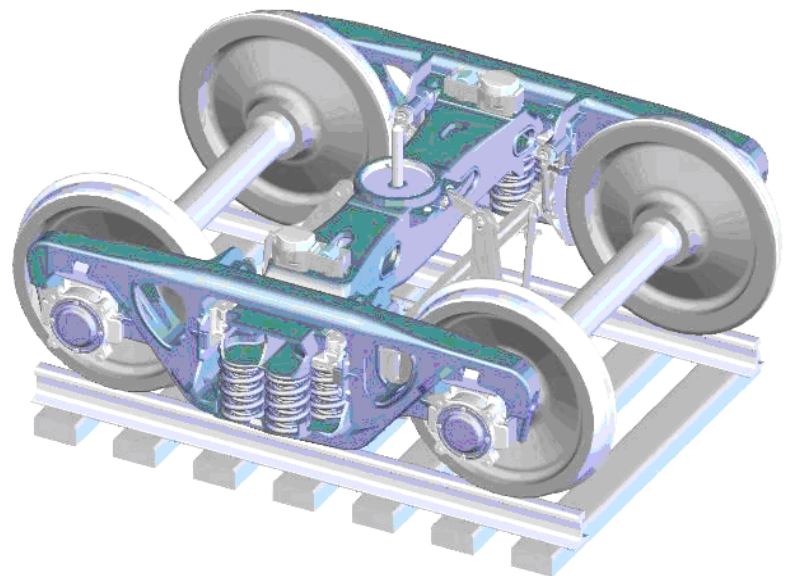


Fig. 1. General view:
a – bogies of the model 18-9771; *b* – bogies of the model 18-9770; *c* – bogies of the model 18-578

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

The bogie 18-578 (Fig. 1, *c*) with the loading 23.5 tnf from the axis on the rails [14] is developed by FSUE «Uralvagonzavod». It has a three-element frame of cast structural parts, in the jaw openings of which there are removable wear resistant plates of polyurethane elastomer with mechanical fastening.

The central spring suspension of the bogie is made traditionally. It consists of the set of springs and friction wedge oscillation dampers [4, 13, 15]. The spring set has a linear vertical power characteristics providing the deflection under the weight of loaded car increased to 68 mm, minimum deflection under the weight of the empty car is 13 mm (Table 1). Elastic friction wedges replace the friction wedges of the bogie 18-100 and completely exclude adhesion of the wedges and bolster wear. The friction plate is the composite one: its main body is 10 mm thickness and its contact body is 6.5 mm thickness. New design of the elements in the oscillation damping system in spring suspension of the bogie 18-578 prolongs their service life. At this the wear protection of the inclined surfaces of bolster is ensured, and the main wear occurs on the surface of a replaceable contact plate. Elastic coupling of the wedges with the bolster eliminates the «metal to metal» contact. The elastic-roller bearers of the constant contact with the specified i.e. set rigidity are applied in the bogie.

Findings

The graphs below show the research results of the dynamic characteristics of cars with bogies of the designs under study:

– vertical dynamics coefficient of unsprung bogie frame C_{du} and the ratio of the side frame force to the static axial loading (H_p/P_o) in the straight track sections (Fig. 2, *a–b*) and the ratio of the side frame force to the static axial loading (H_p/P_o) in the curve with radius 500 m (Fig. 2, *c*) in the empty mode;

– vertical dynamics coefficient of the body frame (C_d), vertical dynamics coefficient of unsprung bogie frame (C_{du}), the ratio of the side frame force to the static axial loading (H_p/P_o) in the straight (Fig. 3, *a–c*) and curved track sections with radius 500 m (Fig. 4, *a–c*) in the loaded mode.

The research results of the dynamic characteristics of open cars with new and worn wheels of the bogie models 18-9771, 18-9770 and 18-578 show that all the indicators are within the normative values and do not exceed the maximum permissible ones [12, 8].

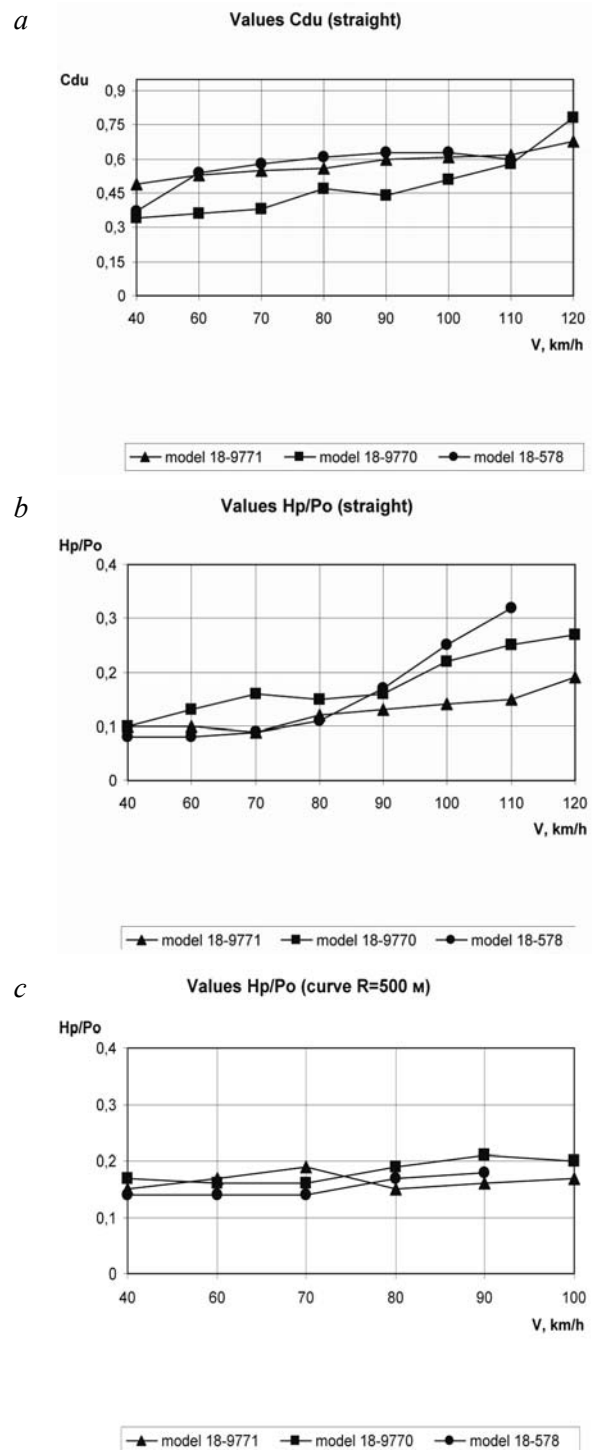


Fig. 2. Dependency graphs of dynamic performance on the values of motion speed in empty mode: *a* – vertical dynamics coefficient of unsprung bogie frame C_{du} (straight); *b* – ratio of the side frame force to the static axial loading H_p/P_o (straight) *c* – ratio of the side frame force to the static axial loading H_p/P_o (curve $R = 500$ m)

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

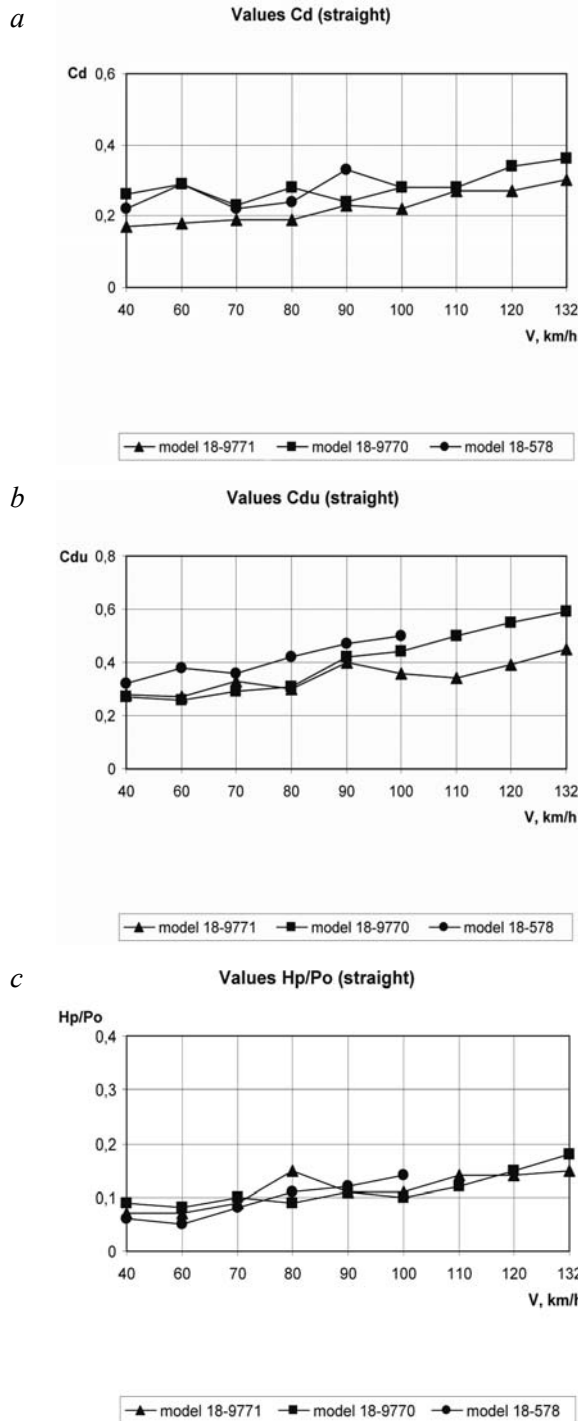


Fig. 3. Dependency graphs of dynamic performance on the values of motion speed in the loaded mode on the straight track sections:
a – vertical dynamics coefficient of the body frame (C_d);
b – vertical dynamics coefficient of unsprung bogie frame (C_{du}); *c* – ratio of the side frame force to the atatic axial loading (H_p/P_o)

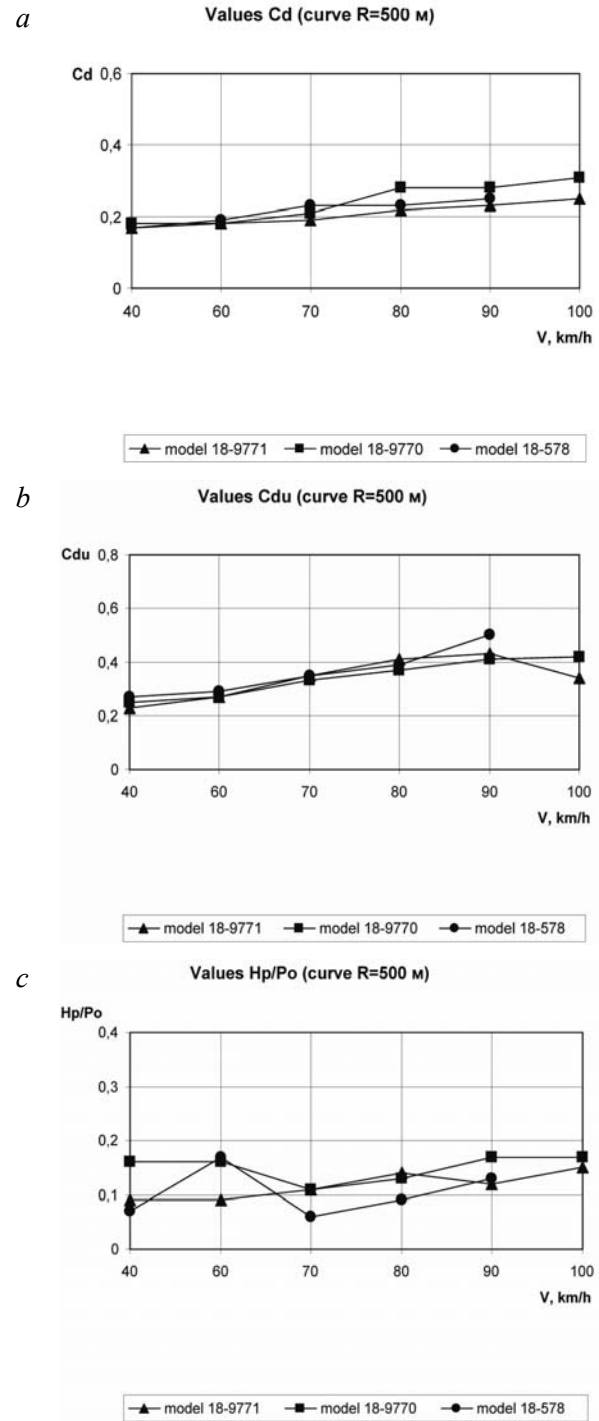


Fig. 4. Graphs of dynamic values dependence on the traffic speed in loaded mode in curved track sections ($R = 500$ м):
a – vertical dynamics coefficient of the body frame (C_d);
b – vertical dynamics coefficient of unsprung bogie frame (C_{du}); *c* – ratio of the side frame force to the atatic axial loading (H_p/P_o)

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Table 1

Technical characteristics of the freight bogies

Indicator	Models of freight bogies		
	18-9771	18-9770	18-578
Bogie weight, kg	4900	4900	4750
Base, m	1.85	1.85	1.85
Permissible speed, km/h	120	120	120
Flexibility of swing suspension, m/MN	0.130	0.125	0.130
Spring set deflection under the static loading, m	0.068	0.049	0.068
Distance from the rail head level to the bearing surface of the centrer plate, m	0.811	0.801	0.811
Type of swing suspension	one stage central		

Table 2

Value of the stability coefficient

Value	18-9771		18-578		18-9770		Permissible values	
	Empty	Loaded	Empty	Loaded	Empty	Loaded	Empty	Loaded
K_{yc} – is the derailment stability coefficient $p = 0.01$	1.87	2.98	1.74	2.48	> 3	> 3	Minimum 1.6	
K_{ycn} – transverse stability coefficient in curves:								
– $V = 100$ km/h, $R = 500$ m	2.19	2.79	1.89	> 3	2.1	2.69	Minimum 1.8	
– $V = 10$ km/h, $R = 350$ m	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	Minimum 1.8	

Table 3

Value of the stability coefficient with $V = 120$ km/h

	Bogie Type		
	Model 18-9771	Model 18-9770	Model 18-578
$P = 0.0001$	2.3	2.15	2.25
$P = 0.001$	2.53	2.3	2.54
$P = 0.01$	2.98	2.48	more than 3

For example, the analysis of the values of the of vertical dynamics coefficient of unsprung bogie frame (C_{du}) (Fig. 4, *a*), the ratio of the side frame force to the atatic axial loading (H_p/P_o) on the straight track section at design speed of 120 km/h (Fig. 4, *b*) and in the curve $R = 500$ m (Fig. 4, *c*) shows that the dynamic performance of the open cars with the new bogie is better than on the bogie models 18-578 and 18-9770. This fact confirms that the constant contact bearers improve the running qualities of the freight cars, reducing the load-

ings transmitted from the rolling stock on the railway track.

For clarity the values of the stability coefficient (C_s) according to the results of dynamic tests are shown in Table 2 and 3.

Thus, the obtained results clearly demonstrate not only the opportunity to improve the structural scheme of the freight car bogies, but also the correctness of engineering solutions to improve the designs of freight car bogies.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Originality and practical value

Severization of requirements to the technical specifications of the freight cars primarily concerns the running gears [1, 2, 5, 6]. Therefore, the efforts of designers and scientists are focused on improving the parameters of freight car bogies [3, 17, 18]. At this the advanced engineering solutions and innovative design developments are used [20, 21].

The development of freight car bogie on CJSC «Promtractor Vagon» can be an example for creation of innovative technology for railway transport.

When designing the bogie for loading 23.5 t/axle almost all available technical solutions to improve the characteristics of the freight car bogies: elastic bearers, cassette bearing in axle boxes, axle box adapter of original design, bilinear central spring suspension, etc. were used.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Вериги, М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериги, А. Я. Коган. – М. : Транспорт, 1986. – 560 с.
2. Вершинский, С. В. Динамика вагона / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, В. Д. Хусидов. – М. : Транспорт, 1991. – 360 с.
3. Динамика грузовых вагонов с учетом поперечного смещения тележек / Н. И. Луханин, С. В. Мямлин, Л. А. Недужая, А. А. Швеиц // 36. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2012. – Вип. 29. – С. 234–241.
4. Ефимов, В. П. Технический уровень тележки 18-578 в сравнении с тележкой 18-100 / В. П. Ефимов // Ж.-д. трансп. – 2006. – № 7. – С. 56–60.
5. Лазарян, В. А. Динамика вагонов / В. А. Лазарян. – М. : Транспорт, 1964. – 256 с.
6. Лазарян, В. А. Динамика транспортных средств / В. А. Лазарян. – К. : Наук. думка, 1985. – 528 с.
7. Мямлин, С. В. Теоретические исследования динамики полувагонов / С. В. Мямлин, Л. А. Недужая, А. А. Тен // 36. наук. пр. ДонІЗТ. – Донецьк, 2010. – Вип. 24. – С. 143–151.
8. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) (с изменениями и дополнениями № 1 (с 01.02.2000 г.) и № 2 (с 01.03.2002 г.)). – М. : ГосНИИВ. – ВНИИЖТ, 1996. – 352 с.
9. Оценка динамических качеств различных конструкций тележек грузовых вагонов / С. В. Мямлин, Л. А. Недужая, Е. А. Письменный, А. И. Яловой // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты. – СПб. : ПГУПС, 2005. – С. 229–235.
10. Пат. 88627 Российская Федерация, МПК B61F 3/02. Тележка двухосная грузового вагона / Тен А. А. ; заявитель и патентообладатель ЗАО «Промтрактор-Вагон». – № 2009128488/22 ; заявл. 22.07.2009 ; опубл. 20.11.2009, Бюл. № 32. – 3 с: ил. 1.
11. Промтрактор-вагон [Electronic resource]. – Access mode: www.promtractor-vagon.ru. – Title from the screen.
12. РД 24.050.37.95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. – Введ. 1995–02–02. – М. : ГосНИИВ, 1995. – 102 с.
13. Ромен, Ю. С. Результаты комплексных испытаний новых типов тележек грузовых вагонов / Ю. С. Ромен, А. В. Завертало, М. С. Тихов // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты. – СПб. : ПГУПС, 2009. – С. 108–116.
14. УралВагонЗавод [Electronic resource]. – Access mode: www.uvz.ru. – Title from the screen.
15. Хабырин, И. А. Совершенствовать ходовую часть грузовых вагонов / И. А. Хабырин, А. М. Орлова, А. В. Додонов // Вагоны и вагон. хоз-во. – 2009. – № 2. – С. 26–29.
16. Шадур, Л. А. Вагоны. Конструкция, теория и расчет / Л. А. Шадур. – М. : Транспорт, 1980. – 440 с.
17. Bubnov, V. M. Dynamic performance of freight cars on bogies model 18-1711 / V. M. Bubnov, S. V. Myamlin, N. V. Mankevych // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 4 (46). – С. 118–126.
18. Determination of Dynamic Performance of Freight Cars Taking into Account Technical Condition of Side Bearers / S. Myamlin, L. Neduzha, O. Ten, A. Shvets // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 1 (43). – 2013. – С. 162–169.
19. Myamlin, S. Mathematical Modeling of a Cargo Locomotive / S. Myamlin, S. Dailidka, L. Neduzha // Proc. of 16th Intern. Conf. «Transport Means». – Kaunas, 2012. – P. 310–312.
20. Research of Friction Indices Influence on the Freight Car Dynamics / S. Myamlin, L. Neduzha, O. Ten, A. Shvets // ТЕКА Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – Vol. 13, № 4. – 2013. – P. 159–166.
21. Spatial Vibration of Cargo Cars in Computer Modelling with the Account of Their Inertia Properties / S. Myamlin, A. Ten, L. Neduzha, A. Shvets // Proc. of 15th Intern. Conf. «Mechanika». – Kaunas, 2010. – P. 325–328.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

С. В. МЯМЛИН¹, А. А. ТЕН², Л. А. НЕДУЖАЯ^{3*}

¹Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 03, эл. почта sergeyamyamlin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

²ЗАО «Промтрактор-Вагон», ул. Ильича, 1 а, Канаш, Чувашская Республика, Российская Федерация, 429332

^{3*}Каф. «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 03, эл. почта nlorhen@i.ua, ORCID 0000-0002-7038-3006

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ С ТЕЛЕЖКАМИ РАЗНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Цель. С появлением новых конструкций грузовых вагонов особую важность приобретает задача, связанная с созданием более современных тележек, оценкой их динамических качеств в зависимости от типа и особенностей конструкции, с учетом осевых нагрузок, обеспечения динамических и ходовых качеств, соответствующих условиям по воздействию на путь, устойчивости, величине рамных сил и др. С целью постановки новой продукции на производство и для оценки динамических качеств с использованием различных конструкций тележек в работе необходимо провести ходовые испытания, которые позволят сравнить динамические показатели новой тележки с существующими моделями. **Методика.** Исследование проводилось методом численного интегрирования и математического моделирования динамической нагруженности грузового вагона с использованием программного комплекса «Dynamics of Rail Vehicles» («DYNRAIL»). **Результаты.** Приведены результаты исследований динамических характеристик полувагонов на новых и изношенных колесах тележек моделей 18-9771, 18-9770 и 18-578 в графической и табличной формах. Все показатели находятся в пределах нормативных значений и не превосходят максимально допустимых. **Научная новизна.** При создании тележки для нагрузок 23,5 т/ось использовались практически все имеющиеся технические решения по совершенствованию характеристик тележек грузовых вагонов: упругие скользуны, кассетные подшипники в буксовых узлах, буксовый адаптер оригинальной конструкции, билинейное центральное рессорное подвешивание и т.д. **Практическая значимость.** В результате выполненных инженерных работ по проектированию и изготовлению усовершенствованных конструкций тележек грузовых вагонов получена новая конструкция, которая не уступает по своим динамическим качествам лучшим аналогам. Выполненный выбор рациональных значений упруго-диссипативных параметров тележки позволяет создать типоразмерный ряд ходовых частей грузовых вагонов для перспективных условий эксплуатации. Полученные результаты имеют практическое значение, что нашло отображение в ряде публикаций авторов в специальных и научно-популярных изданиях.

Ключевые слова: грузовые вагоны; скользуны тележек; скорость движения; прямые и кривые участки пути; динамические показатели

С. В. МЯМЛІН¹, О. О. ТЕН², Л. О. НЕДУЖА^{3*}

¹Каф. «Вагоны та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 03, ел. пошта sergeyamyamlin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

²ЗАТ «Промтрактор-Вагон», вул. Ілліча, 1 а, Чувашська Республіка, Канаш, Російська Федерація, 429332

^{3*}Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 03, ел. пошта nlorhen@i.ua, ORCID 0000-0002-7038-3006

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ЯКОСТЕЙ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ІЗ ВІЗКАМИ РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Мета. З появою нових конструкцій вантажних вагонів особливо важливим є завдання, пов'язане зі створенням більш сучасних візків, оцінкою їх динамічних якостей у залежності від типу та особливостей конструкції, з урахуванням осевих навантажень, забезпечення динамічних і ходових якостей, що відповідають

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

умовам із впливу на колію, стійкості, величині рамних сил та ін. З метою постановки нової продукції на виробництво й для оцінки динамічних якостей із використанням різних конструкцій візків у роботі необхідно провести ходові випробування, які дозволять порівняти динамічні показники нового візка з існуючими моделями. **Методика.** Дослідження проводилось методом чисельного інтегрування та математичного моделювання динамічної завантаженості вантажного вагону з використанням програмного комплексу «Dynamics of Rail Vehicles» («DYNRAIL»). **Результати.** Наведено результати досліджень динамічних характеристик піввагонів на нових і зношених колесах візків моделей 18-9771, 18-9770 та 18-578 у графічній і табличній формах. Всі показники знаходяться в межах нормативних значень і не перевищують максимально допустимих. **Наукова новизна.** При створенні візка для навантажень 23,5 т/вісь використовувалися практично всі наявні технічні рішення з удосконалення характеристик візків вантажних вагонів: пружні ковзуни, касетні підшипники в буксових вузлах, буксовий адаптер оригінальної конструкції, білінійне центральне ресорне підвішування і т.д. **Практична значимість.** За результатами виконаних інженерних робіт із проектування й виготовлення удосконалених конструкцій візків вантажних вагонів отримано нову конструкцію, яка не поступається за своїми динамічними якостями кращим аналогам. Виконаний вибір раціональних значень пружнодисипативних параметрів візків дозволяє створити типорозмірний ряд ходових частин вантажних вагонів для перспективних умов експлуатації. Отримані результати мають практичну значимість, що знайшло відображення в ряді публікацій авторів у спеціальних та науково-популярних виданнях.

Ключові слова: вантажні вагони; ковзуни візків; швидкість руху; прямі та криві ділянки колії; динамічні показники

REFERENCES

1. Verigo M.F., Kogan A.Ya. *Vzaimodeystviye puti i podvizhnogo sostava* [Railway track and rolling stock interaction]. Moscow, Transport Publ., 1986. 560 p.
2. Vershinskiy S.V., Danilov V.N., Khusidov V.D. *Dinamika vagona* [Car dynamics]. Moscow, Transport Publ., 1991. 360 p.
3. Lukhanin N.I., Myamlin S.V., Neduzhaya L.A., Shvets A.A. *Dinamika gruzovykh vagonov s uchetom poperechnogo smeshcheniya telezhok* [Freight cars dynamics taking into account transversal displacement of the bogies]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu* [Proc. of the Donetsk Railway Transport Institute], 2012, issue 29, pp. 234-241.
4. Yefimov V.P. *Tekhnicheskii uroven telezhki 18-578 v sravnenii s telezhkoy 18-100* [The technical level of the bogie 18-578 compared to 18-100 bogie]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 2006, no. 7, pp. 56-60.
5. Lazaryan V.A. *Dinamika vagonov* [Dynamics of cars]. Moscow, Transport Publ., 1964. 256 p.
6. Lazaryan V.A. *Dinamika transportnykh sredstv* [Dynamics of vehicles]. Kyiv, Naukova dumka, 1985. 528 p.
7. Myamlin S.V., Neduzhaya L.A., Ten A.A. *Teoreticheskiye issledovaniya dinamiki poluvagonov* [Theoretical studies of the open car dynamics]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu* [Proc. of the Donetsk Railway Transport Institute], 2010, issue 24, pp. 143-151.
8. *Normy dlya rascheta i proyektirovaniya vagonov zheleznikh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh)* [Standards for calculation and construction of railroads with 1520 mm track cars (non-self-propelled)]. Moscow, GosNIIV-VNIIZhT Publ., 1996. 352 p.
9. Myamlin S.V., Neduzhaya L.A., Pismennyy Ye.A., Yalovoy A.I. *Otsenka dinamicheskikh kachestv raznykh konstruktsey telezhok gruzovykh vagonov* [Evaluation of dynamic qualities of different designs of freight car bogies]. *Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proyekty* [Rolling stock of XXI century: ideas, requirements, projects], Saint Petersburg, 2005, pp. 229-235.
10. Ten A.A. *Telezhka dvukhosnaya gruzovogo vagona* [Two-axle bogie of a freight car]. Pat. RF, no. 2009128488/22. 3 p.
11. *Promtraktorvagon* (Promtractor-Vagon). Available at: www.promtractor-vagon.ru (Accessed 5 February, 2014).
12. *RD 24.050.37.5. Vagony gruzovyye i passazhirskyye. Metody ispytaniy na prochnost i khodovyye kachestva* [RD 24.050.37.95. Freight and passenger cars. Methods of testing for strength and running characteristics]. Moscow, GosNIIV Publ., 1995. 102 p.
13. Romen Yu.S., Zavertalyuk A.V., Tikhov M.S. *Rezultaty kompleksnykh ispytaniy novykh tipov telezhok gruzovykh vagonov* [Results of comprehensive tests of new types of freight car bogies]. *Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proyekty* [Rolling stock of XXI century: ideas, requirements, projects], Saint Petersburg, PGUPS Publ., 2009, pp. 108-116.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

14. *UralVagonZavod* (Ural Vagon Plant). Available at: www.uvz.ru. (Accessed 5 February, 2014).
15. Khabyrin I.A., Orlova A.M., Dodonov A.V. Sovershenstvovat khodovuyu chast gruzovykh vagonov [To improve the running gears of freight cars]. *Vagony i vagonnoye khozyaystvo – Cars and rolling stock*, 2009, issue 2, pp. 26-29.
16. Shadur L.A. *Vagony: Konstruktsiya, teoriya i raschet* [Cars: Construction, theory and calculation]. Moscow, Transport Publ., 1980. 440 p.
17. Bubnov V.M., Myamlin S.V., Mankevych N.V. Dynamic performance of freight cars on bogies model 18-1711. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2013, issue 4 (46), pp. 118-126.
18. Myamlin S., Neduzha L., Ten O., Shvets A. Determination of Dynamic Performance of Freight Cars Taking Into Account Technical Condition of Side Bearers. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2013, issue 1 (43), pp. 162-169.
19. Myamlin, S., Dailidka S., Neduzha L. Mathematical Modeling of a Cargo Locomotive. Proc. of 16th Intern. Conf. «Transport Means». Kaunas, 2012, pp. 310-312.
20. Myamlin S., Neduzha L., Ten O., Shvets A. Research of Friction Indices Influence on the Freight Car Dynamics. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*, vol. 13, no. 4, 2013, pp. 159-166.
21. Myamlin S., Neduzha L., Ten O., Shvets A. Spatial Vibration of Cargo Cars in Computer Modelling with the Account of Their Inertia Properties. Proc. of 15th Intern. Conf. «Mechanika». Kaunas, 2010, pp. 325-328.

Prof. V. L. Horobets, D. Sc. (Tech.); Prof. M. O. Radchenko, D. Sc. (Tech.) recommended this article to be published

Received: Feb. 20, 2014

Accepted: April 14, 2014

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 69:658.7-047.58

А. В. РАДКЕВИЧ^{1*}, І. А. АРУТЮНЯН²

^{1*}Каф. «Будівельне виробництво і геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. + 38 (0562) 47 18 65, ел. пошта bely-a@yandex.ru, ORCID 0000-0001-6325-8517

²Каф. «Промислове і цивільне будівництво», Запорізька державна інженерна академія, пр. Леніна, 226, Запоріжжя, Україна, 69006, тел. +38 (066) 900 78 28, ел. пошта irigara@yandex.ru

ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МАТЕРІАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВНИЦТВА

Мета. В основу дослідження покладено розробку науково-методичних основ до моделювання раціонального управління матеріальними потоками у сфері забезпечення будівництва із урахуванням міжсистемних зв'язків із підприємствами будіндустрії. **Методика.** Аналіз стану функціонування будівельної галузі України за останні роки дозволяє виокремити цілу низку проблем, що негативно впливають на сталий розвиток будівництва як складової системи економіки держави. Тому вкрай необхідним є дослідження існуючих методів організації системи забезпечення будівельних об'єктів необхідними матеріальними ресурсами. У зв'язку з цим у роботі здійснюється обґрунтування використання методу аналізу ієрархій (метод Сааті) для знаходження оптимального рішення задачі закріплення підприємств будіндустрії за будівельними об'єктами. **Результати.** Результати дають можливість керівництву будівельної організації оцінити та вибрати вигідних постачальників – підприємства будіндустрії – провести їх рейтинг, оцінку з урахуванням основних характеристик, таких як: якість, ціна, надійність поставок, спеціалізація, фінансовий статус та інші. **Наукова новизна.** На основі методу Сааті удосконалено методики управління, організації та планування надійної системи забезпечення будівництва необхідними матеріальними ресурсами, які відповідають технологічним умовам виконання будівельно-монтажних робіт. **Практична значимість.** Вклад у рішення багатьох складних організаційних завдань, які супроводжуються проблемами розвитку будівництва, забезпечується за рахунок організації надійної системи закупівлі матеріальних ресурсів.

Ключові слова: організація будівельного виробництва; матеріальні ресурси; система забезпечення; альтернативи; математичні моделі; математичне забезпечення; будівельний комплекс

Вступ

За останні роки обставини ділової активності у сфері будівництва оцінюються більш ніж негативні. Соціально-економічні перетворення стали причиною різкого зростання невизначеності зовнішнього середовища для будівельної галузі.

Структурні зміни, що відбуваються в галузях економіки країни, вимагають ефективного переосмислення (реформування). До них належать: зміна форми власності; зміна галузевої структури виробництва в результаті її пристосу-

вання до нової системи замовлень; роздрібнення підприємств; зміна умов зовнішньоекономічної діяльності у поєднанні із складним інвестиційним кліматом і обмеженими ресурсами [9, 10].

З вище зазначеного виявляється стагнація надійної системи матеріально-технічного забезпечення, що призводить до цілої низки негативних явищ [1, 2, 4]:

– не виконання умов договорів підряду в частині термінів реалізації програм будівельно-монтажних робіт;

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

- зростання вартості будівництва;
- зниження (втрата) авторитету фірми.

Комплекс завдань системи забезпечення будівельних об'єктів необхідними матеріальними ресурсами повинен охоплювати наукове обґрунтування і розробку принципово нових або впровадження раніше розроблених методів, які дозволять прийняти рішення з комплексної багатоцільової оцінки і вибору вдалих варіантів постачальників – підприємств будіндустрії [3, 4, 8].

Мета

Розгляд надійної системи забезпечення та комплектації будівельних об'єктів за рахунок інноваційних організаційних підходів, які впроваджують оптимальні умови безперебійного виконання будівельних процесів на базі рішення завдання оптимального закріплення підприємств будіндустрії за будівельними об'єктами.

Методика

Існуюча система забезпечення об'єктів будівництва має істотні недоліки, серед яких потрібно відзначити недостатній зв'язок із підприємствами-постачальниками, транспортними організаціями та будівельними фірмами. Щоб вдосконалити цей зв'язок, забезпечити ефективно взаємодію в процесі комплектації будівництва матеріалами, виробами необхідна надійна система забезпечення та комплектації. Як будь-яка форма інженерної підготовки виробництва виробничо-технологічна комплектація повинна впроваджувати новий підхід у вигляді формування логістичної системи [5, 6].

Логістична система – сукупність дій учасників ланцюга будівельного комплексу (підприємств-виробників, транспортних, торговельних організацій, будівельних організацій), побудованих так, щоб виконувалися основні завдання з раціонального забезпечення будівельних об'єктів [6].

Логістичні системи дуже різноманітні по охопленню діяльності підприємства. Для деяких логістика це просто вміння працювати з базами даних, для деяких – постачальницька або складська діяльність [7].

Але однією з особливостей логістики в будівництві є спільна діяльність учасників будівельного комплексу (БК) при просуванні матеріалів і виробів від постачальників до замовників.

Одне із завдань логістизації будівництва, а саме: просування матеріального потоку (будівельний матеріал, конструкції, деталі, напівфабрикати) від постачальника на приоб'єктні майданчики будівництва дозволяє вирішити один з методів лінійного програмування – транспортну задачу, але вона має класичний вигляд.

Тому загальну задачу вибору постачальника необхідно вирішувати використовуючи метод аналізу ієрархій, який дозволить класичну задачу представити у вигляді абстрактної моделі.

Одним із методів, який використовується для вирішення задачі багатокритеріального вибору, є метод, розроблений на початку 1970 року американським математиком Томасом Сааті [11,12]. Сааті розробив процедуру підтримки прийняття рішень, яку назвав «Analytic hierarchy process» (АНР). Автори російського видання перевели цю назву як «Метод аналізу ієрархій» (МАІ). Цей метод відноситься до класу критеріальних і займає особливе місце завдяки тому, що він набув широкого поширення і активно застосовується. На основі цього методу розроблені потужні системи підтримки прийняття рішень, наприклад «Expert choice».

Метод аналізу ієрархій, запропонований Т. Сааті, є замкнутою логічною конструкцією, що забезпечує за допомогою простих правил аналіз складних проблем у всій їхній розмаїтості. Метод заснований на парних порівняннях альтернативних варіантів за різними критеріями з використанням дев'ятибальної шкали і наступним ранжируванням набору альтернатив за всіма критеріями і цілям. Взаємини між критеріями враховуються шляхом побудови ієрархії критеріїв і застосуванням парних порівнянь для виявлення важливості критеріїв і підкритеріїв. Застосування МАІ дозволяє включити в ієрархію всі наявні в експерта-аналітика знання і уяву щодо розглянутої проблеми. Метод відрізняється простотою і дає достатньо високу відповідність інтуїтивним уявленням [12].

Останні властивості методу дозволяють розглядати його як базовий метод рішення багатокритеріальних задач у процесі інформаційно-аналітичної підготовки. Метод також може бути швидко реалізовано на програмному рівні для створення фрагментів автоматизованих систем підтримки прийняття рішень [12].

До основних переваг МАІ слід віднести такі:

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

1. Ваги критеріїв та оцінки об'єктів з погляду суб'єктивних критеріїв не назначаються безпосередньо як результат прямого волевиявлення, а на основі попарних порівнянь.

2. Критерії подаються у виді ієрархії. Така структура властива самому поняттю «критерій», тобто критерії з урахуванням їх природи – ієрархічні. Використовуючи лише значення критеріїв, можна спростити ситуацію, здійснюючи, власне, оцінку або для верхніх рівнів дерева критеріїв, або для найнижчих.

МАІ відкритий до подальшої розбудови та вдосконалення, наприклад адаптація методу до використання в умовах невизначеності, конфлікту та зумовленого ними ризику [11].

Запропонований метод полягає в конструюванні моделі, на основі підтримки прийняття рішень за допомогою ієрархічної декомпозиції задачі і рейтингування альтернативних рішень.

Можливості методу:

1. Метод дозволяє виконати аналіз проблеми. При цьому проблема прийняття рішень надається у вигляді ієрархічно впорядкованих:

- головної цілі (головного критерію) рейтингування можливих рішень;
- декілька груп (рівнів) однотипних факторів;
- групи можливих рішень;
- системи зв'язків, що вказують на взаємний вплив факторів і рішень.

2. Метод дозволяє провести збір даних про проблему. Відповідно до результатів ієрархічної декомпозиції модель ситуації прийняття рішень має кластерну структуру. Набір можливих рішень і всі фактори, які впливають на пріоритети рішень, розбивається на відносно невеликі групи – кластери. Розроблена в методі аналізу ієрархій процедура попарних порівнянь дозволяє визначити пріоритети об'єктів, що входять в кожний кластер. Для цього використовується метод власного вектору. Таким чином, складна задача збору даних розбивається на ряд простих.

3. Метод дозволяє оцінити суперечливість даних і мінімізувати її. Для цього в МАІ розроблені процедури погодження. Зокрема, є можливість визначити найбільш суперечливі дані, що дозволяє виявити найменш ясні місця проблеми і організувати більш ретельне вибіркоче вивчення проблеми.

4. Метод дозволяє провести синтез проблеми прийняття рішень. Після того, як виконано аналіз проблеми і зібрано дані за всіма кластерами,

за спеціальним алгоритмом розраховується результативний показник – набір пріоритетів альтернативних рішень. Характеристики цього рейтингу дозволяють здійснити підтримку прийняття рішень. Крім цього, метод дозволяє скласти рейтинги для груп факторів, що дозволяє оцінювати важливість кожного фактору.

5. Метод дозволяє організувати обговорення проблеми, сприяє досягненню консенсусу. Думки, що виникають під час обговорення проблеми прийняття рішень, можуть в цій ситуації розглядати як можливі рішення. Тому МАІ можна застосовувати для визначення важливості обліку думки кожного учасника обговорення.

6. Метод дозволяє оцінити важливість обліку кожного рішення і важливість обліку кожного фактора, які впливають на пріоритети рішень. Величина пріоритету напряму пов'язана з оптимальністю рішення. Тому рішення з низькими пріоритетами відхиляються як несуттєві. Тому якщо при виключенні деякого фактору пріоритети рішень змінюються незначно, такий фактор можна вважати несуттєвим.

7. Метод дозволяє оцінити стійкість рішення, що приймається.

Переваги методу аналізу ієрархій [11]:

- поєднує в собі переваги аналітичних та експертних методів;
- забезпечує реалізацію найбільш ефективного способу оцінки кількісно не вимірювальних, але разом з тим важливих факторів для прийняття рішень;
- не передбачає введення обмежень на транзитивність (метод працює з неузгодженими судженнями і не потребує, щоб вибір споживачів або осіб, що приймають рішення (ОПР), відповідали аксіомам корисності);
- дозволяє звести дослідження складних проблем до достатньо простої процедури проведення послідовно попарних порівнянь;
- не передбачає прямого визначення вагових коефіцієнтів для показників, які використовуються в оцінюванні якості рішення задач;
- простий в реалізації, а також не потребує значних фінансових і часових ресурсів на виконання необхідних розрахунків;
- дозволяє розв'язувати задачі з необмеженою кількістю критеріїв.

Умови використання методу [11]:

1. Кваліфікованість експертів, які беруть участь у створенні структури моделі прийняття

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

рішень, підготовки даних та інтерпретації результатів.

2. Модель повинна мати зворотний зв'язок.

3. Метод найкраще підходить для тих випадків, коли основна частина даних заснована на виборі ОПР.

4. Метод дає більш реалістичні результати під час моделювання повільної зміни ситуації, для прийняття стратегічних рішень.

5. Рейтинг можливих рішень повинен мати низьку чутливість до незначних змін даних або структури моделі.

Алгоритм реалізації MAI в найбільш узагальненому вигляді включає в себе такі етапи [12]:

- 1) формування ієрархії цілей;
- 2) визначення пріоритетів;
- 3) обчислення локальних векторів пріоритетів або факторів зважування;
- 4) перевірка органічності оцінки пріоритетів;
- 5) обчислення пріоритетів цілей і заходів для ієрархії в сукупності.

Певні етапи можуть повторюватися багаторазово, зокрема при неправильному оцінюванні пріоритетів.

Етапи впровадження алгоритму реалізації MAI наведені на рис. 1 у вигляді загальної схеми розв'язування завдання закріплення підприємств будівництва за будівельними об'єктами на логістичних засадах.

Результати

У стандартній постановці завдання задані m пунктів постачання, з яких продукція (матеріальний потік) може транспортуватися в кожен з n пунктів споживання. Продуктивність i -го пункту постачання дорівнює A_i , а споживання j -го пункту – B_j . Значення A_i і B_j – фіксовані в заданому періоді планування. Вартість перевезення одиниці продукції з пункту i до пункту j не залежить від кількості вантажу, що перевозиться, і дорівнює C_{ij} . Класична транспортна задача. Але для покращення (удосконалення) її вирішення для вибору постачальників використовуємо MAI. Для заданого відрізка планування потрібно визначити схему перевезення продукту, за яким загальні транспортні витрати є мінімальними. Візьмемо до уваги, що перевозиться один вид продукції [8].

Грунтуючись на досвіді В. І. Сергієва, який проводить вибір постачальників згідно з набором з п'яти головних критеріїв: 1) якість, куди

відноситься і відповідність специфікаціям, і відповідність споживчим очікуванням, і відсоток браку; 2) надійність постачальника, включаючи чесність, обов'язковість, фінансову стабільність і багато що інше; 3) ціна з урахуванням усіх витрат, пов'язаних з постачанням; 4) якість обслуговування, куди відноситься рівень післяпродажного обслуговування і швидкість реакції на вимоги, що змінюються, і обставини; 5) умови платежу і можливість позапланових постачань. Усі ці критерії можуть мати абсолютно різний сенс для різних ситуацій, і для отримання кількісних оцінок [6, 7].

Завдання з вибору постачальника, враховуючи альтернативи та критерії, буде мати таку модель ієрархії (рис. 2).

Критерії:

1. Спеціалізація (С).
2. Якість (Як).
3. Резервна потужність (РП).
4. Надійність поставок (Н).
5. Статус фінансування (Ф).
6. Ціна (Ц).

На попередньому етапі нами було виділено 6 критеріїв, за допомогою яких можна охарактеризувати постачальників, тим самим комплексно оцінити порівнювану значимість потенційних постачальників.

Ієрархія, яка побудована на першому етапі, є моделлю, що відображає виконаний нами аналіз найбільш важливих елементів і їх взаємодій.

Другим етапом побудови рейтингу постачальників саме й є надання ваги окремим критеріям. Найпоширенішим методом порівняння є метод попарних порівнянь, згідно з яким будується множина матриць попарних порівнянь елементів ієрархічної структури, що містяться на певному рівні ієрархії (окрім інтегрального) з погляду сили їх дії на елемент вищого рівня, який деталізує порівнювані елементи. Значимість при цьому інтерпретується по відношенню до цільових критеріїв як внесок у досягнення головної цілі.

При цьому скористаємося методом парних порівнянь із шкалою оцінювання елементів, запропонованою Т. Сааті [12].

Якщо ваги (інтенсивності) елементів ієрархії невідомі, то попарні порівняння здійснюються на основі суб'єктивних суджень, що чисельно оцінюються за певною шкалою.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

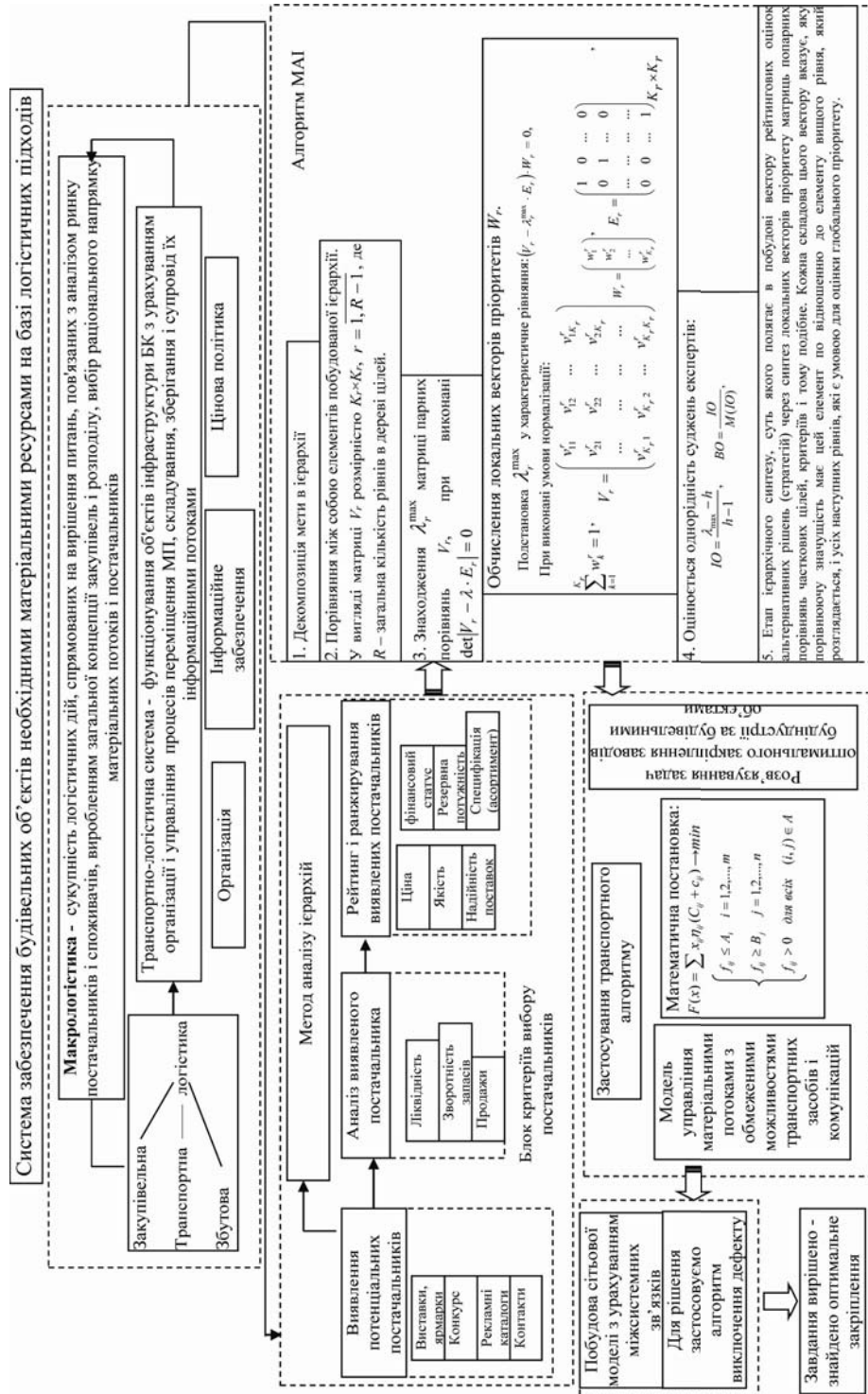


Рис. 1. Загальна схема розв'язання завдання закріплення підприємств будівництва об'єктами на логістичних засадах

Fig. 1. The general scheme of solving the problem of companies consolidation in construction industry for building objects on the logistics principles

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

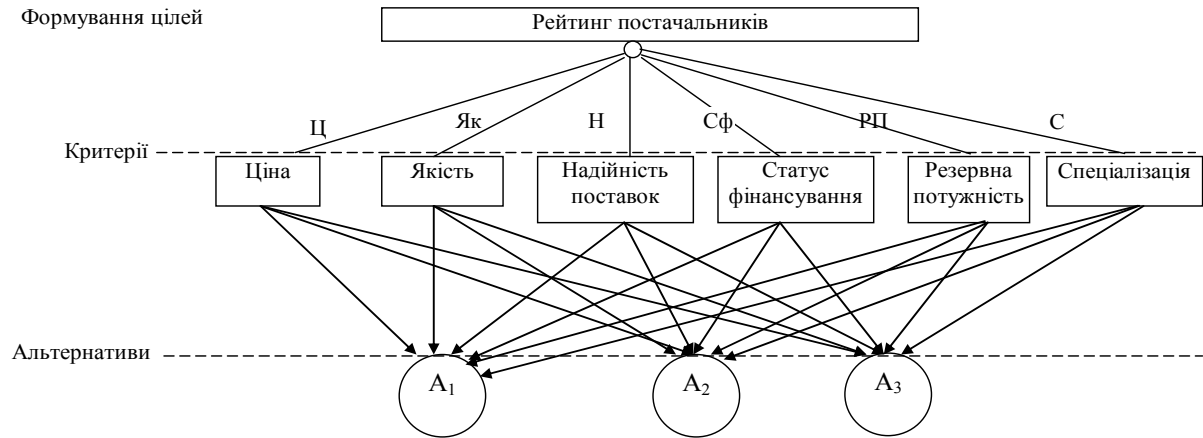


Рис. 2. Дерево цілей для задачі моделювання рейтингу постачальників

Fig. 2. Objectives tree for the problem of suppliers ranking modeling

Необхідною умовою є те, що ОПР надає всім параметрам єдине вимірне за відносною шкалою значення v , яке показує, в скільки разів один параметр більш значимий, ніж інший по відношенню до конкретного елемента наступного вищого рівня ієрархії [11].

Результати порівнянь наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Матриця парних порівнянь значимості критеріїв для задачі вибору постачальників

Table 1

The matrix of pair comparisons of criteria significance for suppliers' selection problem

Порівнювані критерії	Ціна	Якість	Надійність поставок	Статус фінансування	Резервна потужність	Спеціалізація (асортимент)
Ціна	1	3	3	4	7	5
Якість	1/3	1	1	3	3	2
Надійність поставок	1/3	1	1	1/3	1/2	3
Статус фінансування	1/4	1/3	3	1	4	1/3
Резервна потужність	1/7	1/3	2	1/4	1	1/3
Спеціалізація (асортимент)	1/5	1/2	1/3	3	3	1

Знайдемо локальний вектор пріоритетів $W = (w_1, \dots, w_9)$ за умови дотримання рівності $\sum_{i=1}^9 w_i = 1$. Фактично даний вектор виступає системою ваг розмірністю «9». Скористаємося методикою знаходження вектору локальних пріоритетів за формулами (1–4):

1. Знайти максимальне власне число $\lambda_r^{\max}$ матриці парних порівнянь V_r , розв'язавши рівняння:

$$\det|V_r - \lambda E_r| = 0, \quad (1)$$

де E_r – одинична матриця розмірністю $K_r \times K_r$, λ – власне число матриці V_r .

2. Підстановкою $\lambda_r^{\max}$ в характеристичне рівняння:

$$(V_r - \lambda_r^{\max} E_r) W_r = 0, \quad (2)$$

за виконання умови нормалізації:

$$\sum_{k=1}^{K_r} w_k^r = 1, \quad (3)$$

$$\text{де } V_r = \begin{pmatrix} v_{11}^r & v_{12}^r & \dots & v_{1K_r}^r \\ v_{21}^r & v_{22}^r & \dots & v_{2K_r}^r \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{K_r,1}^r & v_{K_r,2}^r & \dots & v_{K_r,K_r}^r \end{pmatrix}, \quad (4)$$

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

$$W_r = \begin{pmatrix} w_1^r \\ w_2^r \\ \dots \\ w_{K_r}^r \end{pmatrix}, E_r = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix}_{K_r \times K_r}$$

обчислити власний вектор W_r , який й взяти за локальний вектор пріоритетів r -го рівня ієрархії.

Оцінимо однорідність суджень індексом однорідності (IU), скориставшись формулою:

$$IU = \frac{\lambda_{\max} - h}{h - 1}, \quad (5)$$

обчислюємо тепер відношення однорідності (BU) відповідно з формулою (6):

$$BU = \frac{IO}{M(IO)}. \quad (6)$$

Знаходження вектору пріоритетів у вигляді табл. 2:

Таблиця 2

Знаходження вектору пріоритетів

Table 2

Finding the vector of priorities

Матриця порівнянь					
1,00	3,00	3,00	4,00	7,00	5,00
0,33	1,00	1,00	3,00	3,00	2,00
0,33	1,00	1,00	0,33	0,50	3,00
0,25	0,33	3,00	1,00	4,00	0,33
0,14	0,33	2,00	0,25	1,00	0,33
0,20	0,50	0,33	3,00	3,00	1,00
проміжний вектор			вектор пріоритетів		
23,00			0,38		
10,33			0,17		
6,17			0,10		
8,91			0,15		
4,06			0,07		
8,03			0,13		
60,50			1		

Знаходимо найбільше власне число матриці парних порівнянь $\lambda_{\max}$ (табл. 3).

Таблиця 3

Найбільше власне число матриці парних порівнянь

Table 3

The largest matrix eigenvalue of pair comparisons

Матриця порівнянь					
1,00	3,00	3,00	4,00	7,00	5,00
0,33	1,00	1,00	3,00	3,00	2,00
0,33	1,00	1,00	0,33	0,50	3,00
0,25	0,33	3,00	1,00	4,00	0,33
0,14	0,33	2,00	0,25	1,00	0,33
0,20	0,50	0,33	3,00	3,00	1,00

вектор пріоритетів	$\lambda_{\max}$
0,38	2,92
0,17	1,31
0,10	0,88
0,15	0,92
0,07	0,46
0,13	0,97
1	7,46

$$\lambda_{\max} = 7,46 \quad IU = \frac{7,46 - 6}{6 - 1} = 0,27$$

$$BU = \frac{0,27}{1,24} = 0,202$$

Відношення узгодженості знаходиться в припустимих межах (в деяких випадках допускається $BU = 20\%$), але не більше, бо відбувається перехід до п'ятого етапу алгоритму.

Виконаємо порівняння постачальників стосовно шести характеристик у вигляді табл. 4–15.

Таблиця 4

Порівняння постачальників стосовно спеціалізації

Table 4

Suppliers' comparison relatively to specialization

Спеціалізація	A1	A2	A3
A1	1	1/2	1/3
A2	2	1	3
A3	3	1/3	1

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Таблиця 5

Розв'язування порівняння постачальників стосовно спеціалізації

Table 5

The solution of suppliers' comparison relatively to specialization

Спеціалізація Матриця порівнянь			вектор пріоритетів	$\lambda_{\max}$	IU	BU
1,00	0,33	0,50	0,15	0,48	0,05	0,08
3,00	1,00	3,00	0,58	1,85		
2,00	0,33	1,00	0,27	0,77		
			1,00	3,10		

Таблиця 6

Порівняння стосовно постачальників якості

Table 6

Suppliers' comparison relatively to quality

Якість	A1	A2	A3
A1	1	1	1
A2	1	1	1
A3	1	1	1

Таблиця 7

Розв'язування порівняння постачальників стосовно якості

Table 7

The solution of suppliers' comparison regarding to quality

Якість Матриця порівнянь			вектор пріоритетів	$\lambda_{\max}$	IU	BU
1	1	1	0,33	1	0	0
1	1	1	0,33	1		
1	1	1	0,33	1		
			1,00	3		

Таблиця 8

Порівняння постачальників стосовно резервної потужності

Table 8

Suppliers' comparison relatively to reserve capacity

Резервна потужність	A1	A2	A3
A1	1	3	5
A2	1/3	1	3
A3	1/5	1/3	1

Таблиця 9

Розв'язування порівняння постачальників стосовно резервної потужності

Table 9

The solution of suppliers' comparisons relatively to reserve capacity

Резервна потужність Матриця порівнянь			вектор пріоритетів	$\lambda_{\max}$	IU	BU
1,00	3,00	5,00	0,61	2,00	0,06	0,10
0,33	1,00	3,00	0,29	0,80		
0,20	0,33	1,00	0,10	0,32		
			1,00	3,12		

Таблиця 10

Порівняння постачальників стосовно надійності постачань

Table 10

Suppliers' comparison relatively to reliability of supply

Надійність постачань	A1	A2	A3
A1	1	1	2
A2	1	1	2
A3	1/2	1/2	1

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Таблиця 11

Розв'язування порівняння постачальників стосовно надійності постачань

Table 11

The solution of suppliers' comparison relatively to reliability of supply

Надійність постачань Матриця порівнянь			вектор пріоритетів	$\lambda_{\max}$	IU	BU
1	1	2	0,4	1,2		
1	1	2	0,4	1,2	0,00	0,00
0,5	0,5	1	0,2	0,6		
			1	3		

Таблиця 12

Порівняння постачальників стосовно статусу фінансування

Table 12

Suppliers' comparison relatively to financing status

Статус фінансування	A1	A2	A3
A1	1	1	2
A2	1	1	2
A3	1/2	1/2	1

Таблиця 13

Розв'язування порівняння постачальників стосовно статусу фінансування

Table 13

The solution of suppliers' comparison relatively to financing status

Статус фінансування Матриця порівнянь			вектор пріоритетів	$\lambda_{\max}$	IU	BU
1,00	1,00	3,00	0,46	1,34		
1,00	1,00	2,00	0,37	1,17	0,01	0,01
0,33	0,50	1,00	0,17	0,51		
			1,00	3,02		

Для отримання ранжирування постачальників, помножимо матрицю таблиці 16 справа на транспонований вектор-рядок вагів характеристик. Це процедура «зважування» кожного з отриманих вище з шести власних векторів пріоритетом

відповідної характеристики. Потім складемо. В результаті маємо.

Таблиця 14

Порівняння постачальників стосовно ціни

Table 14

Suppliers' comparison relatively to price

Ціна	A1	A2	A3
A1	1	3	7
A2	1/3	1	4
A3	1/7	1/4	1

Таблиця 15

Розв'язування порівняння постачальників стосовно ціни

Table 15

The solution of suppliers' comparison relatively to price

Ціна Матриця порівнянь			вектор пріоритетів	$\lambda_{\max}$	IU	BU
1,00	3,00	7,00	0,62	2,07		
0,33	1,00	5,00	0,30	0,82	0,07	0,12
0,14	0,20	1,00	0,08	0,24		
			1,00	3,14		

Таблиця 16

Зважування кожного з отриманих вище з шести власних векторів пріоритетом відповідної характеристики

Table 16

Weighing each of six eigenvectors by priority of corresponding characteristic

Постачальники	Спеціалізація	Якість	Резервна потужність	Надійність поставок	Статус фінансування	Ціна
A1	0,33	0,33	0,44	0,41	0,29	0,43
A2	0,33	0,33	0,25	0,32	0,29	0,33
A3	0,33	0,33	0,31	0,27	0,43	0,24

Згодом з виконаних обчислень отримуємо загальну оцінку кожного постачальника $A1 = 0,36$; $A2 = 0,32$; $A3 = 0,31$.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

$$\begin{bmatrix} 0,33 & 0,33 & 0,44 & 0,41 & 0,29 & 0,43 \\ 0,33 & 0,33 & 0,25 & 0,32 & 0,29 & 0,33 \\ 0,33 & 0,33 & 0,31 & 0,27 & 0,43 & 0,24 \end{bmatrix} \times$$

$$\times \begin{bmatrix} 0,38 \\ 0,17 \\ 0,10 \\ 0,15 \\ 0,07 \\ 0,13 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,36 \\ 0,32 \\ 0,31 \end{bmatrix}$$

Таблиця 17

Пошук оптимального варіанта розміщення замовлення

Table 17

Finding the optimal variant of order placement

Варіанти постачальників і їх потужності	Споживачі і їх попит			
	B_1	B_2	B_3	B_4
	2 700	2 500	6 500	3 300
A_1 8 200	$(58 + 850) \times 0,36$	$(65 + 850) \times 0,36$	$(63 + 850) \times 0,36$	$(54 + 850) \times 0,36$
A_2 7 800	$(60 + 960) \times 0,32$	$(55 + 960) \times 0,32$	$(56 + 960) \times 0,32$	$(59 + 960) \times 0,32$
A_3 9 000	$(78 + 1 050) \times 0,31$	$(68 + 1 050) \times 0,31$	$(70 + 1 050) \times 0,31$	$(66 + 1 050) \times 0,31$
25 000 > 15 000				

Таблиця 18

Вихідні дані

Table 18

Date output

№ пор.	Поч. вузол	Кінц. вузол	Верх. зд.	Ниж. зд.	Вартість	Потік
1	1	2	8 200	0	0	0
2	1	3	7 800	0	0	0
3	1	4	9 000	0	0	0
4	2	5	9 999	0	327	0
5	2	6	9 999	0	330	0

Закінчення табл. 18

End of Table 18

№ пор.	Поч. вузол	Кінц. вузол	Верх. зд.	Ниж. зд.	Вартість	Потік
6	2	7	9 999	0	327	0
7	2	8	9 999	0	325	0
8	3	5	9 999	0	326	0
9	3	6	9 999	0	325	0
10	3	7	9 999	0	325	0
11	3	8	9 999	0	326	0
12	4	5	9 999	0	350	0
13	4	6	9 999	0	346	0
14	4	7	9 999	0	347	0
15	4	8	9 999	0	346	0
16	5	9	2 700	0	0	0
17	6	9	2 500	0	0	0
18	7	9	6 500	0	0	0
19	8	9	3 300	0	0	0
20	9	1	25 000	15 000	0	0

Після рейтингування постачальників застосовуємо класичну транспортну задачу (рис. 17), яка доведе рішення загальної задачі із закріплення об'єктів будівництва за заводами будіндустрії. Але рішення класичної задачі виконується за допомогою алгоритму виключення дефекту, який є основою програми «ПОТОК» (табл. 18, 19).

Таблиця 19

Результати розрахунків

Table 19

Calculations results

№ пор.	Поч. вузол	Кінц. вузол	Верх. зд.	Ниж. зд.	Вартість	Потік
1	1	2	8 200	0	0	7 200
2	1	3	7 800	0	0	7 800
3	1	4	9 000	0	0	0
4	2	5	9 999	0	327	2 700
5	2	6	9 999	0	330	0
6	2	7	9 999	0	327	1 200
7	2	8	9 999	0	325	3 300
8	3	5	9 999	0	326	0
9	3	6	9 999	0	325	2 500

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Закінчення табл. 19

End of Table 19

№ пор.	Поч. вузол	Кінц. вузол	Верх. зд.	Ниж. зд.	Вартість	Потік
10	3	7	9 999	0	325	5 300
11	3	8	9 999	0	326	0
12	4	5	9 999	0	350	0
13	4	6	9 999	0	346	0
14	4	7	9 999	0	347	0
15	4	8	9 999	0	346	0
16	5	9	2 700	0	0	2 700
17	6	9	2 500	0	0	2 500
18	7	9	6 500	0	0	6 500
19	8	9	3 300	0	0	3 300
20	9	1	25 000	15 000	0	15 000

Цільова функція: 4 882 800

Отримані результати відкритої транспортної задачі в програмі «ЛЮТІК v1.1» достовірніші і відповідають логіці рішення поставленої задачі. Це свідчить про те, що програма має низку обмежень і критерії більш розширеного спектра.

Наукова новизна та практична значимість

В роботі розглянуто можливість удосконалення методики організації, планування та управління надійної системи забезпечення будівельних об'єктів необхідними матеріальними ресурсами, які відповідають технологічним умовам виконання будівельно-монтажних робіт.

Сформульовано теоретичні і методологічні основи управління матеріальними потоками в системах забезпечення будівельних об'єктів.

Наведена модель організації системи забезпечення матеріальними ресурсами дозволяє безпечно, вчасно забезпечувати будівельні об'єкти і виконувати розрахунки з постачальниками.

Висновки

У ході аналізу виконаних досліджень було виявлено, що для завдання покращення організації системи постачання і забезпечення будівельного виробництва відповідають методи МАІ (метод Сааті), сітьового моделювання та

алгоритм виключення дефекту (АВД). На їх основі можливо відобразити в єдиній моделі і взаємозв'язку весь комплекс варіантів виконання постачань, провести їх інформаційний опис, відповідно до встановлених критеріїв, здійснити пошук найбільш ефективного варіанта вибору постачальника. Особливість МАІ та сітьових методів полягає в тому, що вони ефективно застосовуються не тільки в процесі розробки системи забезпечення, але і в ході її виконання супровідного матеріального потоку, її постачання.

Застосування теорії систем до процесу управління дозволяє вивчати організацію як єдність складових її частин (цілей, структури, завдань, технології, ресурсів), що поєднуються із зовнішнім середовищем (макросередовищем).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамов, Л. И. Организация и планирование строительного производства. Управление строительной организацией / Л. И. Абрамов, Э. А. Мищенко. – М. : Стройиздат, 1999. – 400 с.
2. Ефименко, А. З. Управление запасами сырьевых материалов и их оптимизация на предприятиях стройиндустрии / А. З. Ефименко, А. Н. Рыбко, Н. Н. Дергачев // Экономика стр-ва. – 2005. – № 10. – С. 38–45.
3. Завадскас, Э. К. Комплексная оценка и выбор ресурсосберегающих решений в строительстве / Э. К. Завадскас. – Вильнюс : Мокслас, 1987. – 212 с.
4. Кирнос, В. М. Организация строительства / В. М. Кирнос, В. Ф. Залуниин, Л. Н. Дадиверина. – Д. : Пороги, 2005. – 309 с.
5. Логистическая организация капитального строительства / под ред. В. Н. Стаханова. – Ростов н/Д. : РГСУ, 1998. – 256 с.
6. Неруш, Ю. М. Логистика / Ю. М. Неруш. – М. : ТК Велби, Проспект, 2006. – 520 с.
7. Организация та проектування логістичних систем: підруч. / за ред. М. П. Денисенка, П. Р. Лековця, Л. І. Михайлової. – К. : Центр учбової л-ри, 2010. – 336 с.
8. Павлов, И. Д. Модели управления проектами : учеб. пособие / И. Д. Павлов, А. В. Радкевич. – Запорожье : ГУ «ЗИГМУ», 2004. – 320 с.
9. Пшинько А. Н. Переход на модель высокоэффективной национальной экономики – реальный путь решения экономических проблем в государстве / А. Н. Пшинько, В. В. Мямлин, С. В. Мямлин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 41. – С. 294–303.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

10. Пшинько, А. Н. Повышение уровня системности экономики – основной путь выхода из кризиса / А. Н. Пшинько, В. В. Мямлин, С. В. Мямлин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 36. – С. 275–283.
11. Саати, Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Л. Саати ; пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. – М. : «Радио и связь», 1993. – 278 с.
12. Саати, Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / Т. Л. Саати. – М. : Издательство ЛКИ, 2008. – 360 с.
13. Jonsons, J. C. Contemporary Logistics / J. C. Jonsons, D. F. Wood. – New York : MacMillan, 2007. – 325 p.
14. Küpper, H. Planungsverfahren und Planungsinvestitionen als Instrumente des Controlling / H. Küpper, B. Winckler, S. Zhang. – Die Betriebswirtschaft. – 1990. – № 50. – С. 435–458.
15. Moller, C. Paradigms in Logistics / C. Moller, J. Johansen. – Department of Production. – Denmark : University of Aalborg, 2005. – 324 p.

А. В. РАДКЕВИЧ^{1*}, И. А. АРУТЮНЯН²

^{1*}Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепрпетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, 2, Днепрпетровск, Украина, 49010, тел. +38 (0562) 47 18 65, эл. почта bely-a@yandex.ru, ORCID 0000-0001-6325-8517

²Каф. «Промышленное и гражданское строительство», Запорожская государственная инженерная академия, пр. Ленина, 226, Запорожье, Украина, 69006, тел. +38 (066) 900 78 28, эл. почта iriara@yandex.ru

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МАТЕРИАЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Цель. В основу исследования положена разработка научно-методических основ к моделированию рационального управления материальными потоками в сфере обеспечения строительства с учетом межсистемных связей с предприятиями стройиндустрии. **Методика.** Анализ состояния функционирования строительной отрасли Украины за последние годы позволяет выделить целый ряд проблем, которые негативно влияют на устойчивое развитие строительства как составной системы экономики государства. Поэтому крайне необходимым является исследование существующих методов организации системы обеспечения строительных объектов необходимыми материальными ресурсами. В связи с этим в работе осуществляется обоснование использования метода анализа иерархий (метод Саати) для нахождения оптимального решения задачи закрепления предприятий стройиндустрии за строительными объектами. **Результаты.** Результаты дают возможность руководству строительной организации оценить и выбрать выгодных поставщиков – предприятия стройиндустрии – провести их рейтинг, оценку с учетом основных характеристик, таких как: качество, цена, надежность поставок, специализация, финансовый статус и другие. **Научная новизна.** На основе метода Саати усовершенствованы методики управления, организации и планирования надежной системы обеспечения строительства необходимыми материальными ресурсами, которые отвечают технологическим условиям выполнения строительно-монтажных работ. **Практическая значимость.** Вклад в решения многих сложных организационных задач, которые сопровождаются проблемами развития строительства, обеспечивается за счет организации надежной системы закупки материальных ресурсов.

Ключевые слова: организация строительного производства; материальные ресурсы; система обеспечения; альтернативы; математические модели; математическое обеспечение; строительный комплекс

A. V. RADKEVICH^{1*}, I. A. ARUTYUNYAN²

^{1*}Dep. «Building Production and Geodesy», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St. 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38(0562) 47 18 65, e mail bely-a@yandex.ru, ORCID 0000-0001-6325-8517

²Dep. «Industrial and Civil Building», Zaporizhzhya State Engineering Academy, Lenin Sq., 226, 69006, Zaporizhzhya, Ukraine, tel. +38 (066) 900 78 28, e-mail of iriara@yandex.ru

SYSTEM ORGANIZATION OF MATERIAL PROVIDING OF BUILDING

Purpose. Development of scientific-methodical bases to the design of rational management of material streams in the field of building providing taking into account intersystem connections with the enterprises of building industry. **Methodology.** The analysis of last few years of functioning of building industry in Ukraine allows distinguishing a number of problems that negatively influence the steady development of building, as the component of the state economics system. Therefore the research of existent organization methods of the system of building objects providing with material resources is extremely necessary. In connection with this the article justifies the use of method of hierarchies analysis (Saati method) for finding the optimal task solution of fixing the enterprises of building industry after building objects. **Findings.** Results give an opportunity to guidance of building organization to estimate and choose advantageous suppliers - enterprises of building industry, to conduct their rating, estimation taking into account basic descriptions, such as: quality, price, reliability of deliveries, specialization, financial status etc. **Originality.** On the basis of Saati method the methodologies of organization are improved, planning and managements of the reliable system of providing of building necessary material resources that meet the technological requirements of implementation of building and installation works. **Practical value.** Contribution to the decisions of many intricate organizational problems that are accompanied by the problems of development of building, provided due to organization of the reliable system of purchase of material resources.

Keywords: organization of building production; material resources; system of providing; alternatives; mathematical models; mathematical providing; building complex.

REFERENCES

1. Abramov L.I., Minayenkova E.A. *Organizatsiya i planirovaniye stroitel'nogo proizvodstva. Upravleniye stroitel'noy organizatsiey* [Organization and planning of building production. Management of building organization]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1999, 400 p.
2. Yefimenko A.Z., Rybko A.N., Dergachev N.N. *Upravleniye zapasami syryevykh materialov i ikh optimizatsiya na predpriyatiyakh stroyindustrii* [Management of reserve of raw materials and their optimization on enterprises of construction industry]. *Ekonomika stroitelstva – Construction economics*, 2005, no. 10, pp. 38-45.
3. Zavadskas E.K. *Kompleksnaya otsenka i vybor resursosberegayushchikh resheniy v stroitelstve* [Complex assessment and choice of resource-saving solutions in building]. Vilnius, Moksas Publ., 1987, 212 p.
4. Kirnos V.M., Zalunin V.F., Dadiverina L.N. *Organizatsiya stroitelstva* [Organization of construction]. Dnepropetrovsk, Porohy Publ., 2005, 309 p.
5. Stahanov V.N. *Logisticheskaya organizatsiya kapital'nogo stroitelstva* [Logistic organization of major construction work]. Rostov na Donu, RGSU Publ., 1998. 256 p.
6. Neruch U.M. *Logistika* [Logistics]. TK Velbi, Prospekt Publ., 2006. 520 p.
7. Denisenko M.P., Levkovets P.R., Mykhailova L.I. *Orhanizatsiia ta proektuvannia lohistychnykh system* [Organization and design of logistic systems]. Kyiv, Tsentru uchbovoi literatury Publ., 2010. 336 p.
8. Pavlov I.D., Radkevich A.V. *Modeli upravleniya proyektami* [Control model of projects]. Zaporozhye, GU «ZIGMU» Publ., 2004. 320 p.
9. Pshinko A.N., Myamlin V.V., Myamlin S.V. *Perekhod na model vysokoeffektivnoy natsionalnoy ekonomiki – realnyy put resheniya ekonomicheskikh problem v gosudarstve* [Transition to the model of high-efficiency national economics as the real method of solving economic problems in the country]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni arademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 41, pp. 294-303.
10. Pshinko A.N., Myamlin V.V., Myamlin S.V. *Povysheniye urovnya sistemnosti ekonomiki – osnovnoy put vykhoda iz krizisa* [Enhancement of economics system level as the basic way out of the crisis]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni arademika V. Lazariana* [Bulletin

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

- of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 36, pp. 275-283.
11. Saati T.L. *Prinyatiye resheniy. Metod analiza iyerarkhiy* [Making decision. Method of hierarchies' analysis]. Moscow, «Radio i svyaz» Publ., 1993. 278 p.
 12. Saati T.L. *Prinyatiye resheniy pri zavisimostyakh i obratnykh svyazyakh: Analiticheskiye seti* [Making decision at dependences and feed-backs: the Analytical networks]. Moscow, Izdatelstvo LKI Publ., 2008. 360 p.
 13. Jonsons J.C., Wood D.F. Contemporary Logistics. New York, MacMillan Publ., 2007. 325 p.
 14. Küpper H., Winckler B., Zhang S. Planungsverfahren und Planungsinvestitionen als Instrumente des Controlling, *Die Betriebswirtschaft*, 1990, no. 50, pp. 435-458.
 15. Moller C., Johanser J. Paradigms in Logistics. Denmark, University of Aalborg Publ., 2005. 324 p.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. М. І. Нетесою (Україна); д.т.н., доц. О. А. Чубом (Україна)

Надійшла до редколегії 05.03.2014

Прийнята до друку 23.04.2014

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

УДК 347.77.028.3(477)

Н. В. МАРЧЕНКО^{1*}

^{1*} Науково-технічна бібліотека, ПАТ «АзовЕлектроСталь», пл. Машинобудівників, 1, Маріуполь, Україна, 87535,
тел. +38 (0629) 51 84 42, ел. пошта nata-marchenko@mail.ua, ORCID 0000-0002-9217-4176

МЕХАНІЗМ ЦИВІЛЬНО-ПРАВОВОГО ЗАХИСТУ ПРАВ ПАТЕНТОВЛАСНИКА НА ОСНОВІ ФОРМУЛИ ВИНАХОДУ

Мета. Аналіз статистичних даних винахідницької активності України показує, що найбільша кількість заявок подається співробітниками ВНЗ і науково-дослідних інститутів – майже 60 % усіх винаходів. Практика оформлення винаходів доводить, що для дослідників, особливо студентів, найбільш важкою частиною заявки та авторських документів є формула. Мета дослідження – узагальнення та надання основних принципів якісного складання формули винаходу, що забезпечить подальший правовий захист патенту. **Методика.** Моніторинг та аналіз світового документального інформаційного потоку з механізму цивільно-правового захисту прав патентовласника на основі формули винаходу дозволяє порівняти світові системи побудови формул та узагальнити деякі ключові моменти із даного питання. Проведено аналіз прикладів щодо правильного написання формули винаходу та її тлумачення при розгляді судових справ із інтелектуальної власності. **Результати.** Описано окремі властивості формули винаходу – лаконічність, широта, повнота та визначеність, відповідність вимогам єдності та новизні винаходу. На основі проведеного дослідження встановлено, що між українською та американською формулами винаходу є глибока відмінність. Виокремлено ряд найпоширеніших помилок та недоліків при написання формули. Підкреслено необхідність відновлення різних форм навчання винахідництву у ВНЗ України, бо саме на цій базі можна підготувати ряд спеціалістів, спроможних здійснювати комерціалізацію результатів інтелектуальної власності в продуктивні результати. **Наукова новизна.** Досліджено та узагальнено ряд питань і методик, які можуть бути застосовані судами при тлумаченні формули винаходу в процесах розгляду справ із інтелектуальної власності. Особливо це стосується визначення правильного написання формули винаходу. **Практична значимість.** Дана робота може бути використана при написанні формули винаходу. Це дасть можливість патентовласникам і винахідникам запобігти помилок при складанні формули. Результати проведеного дослідження можуть бути застосовані в процесах цивільно-правового захисту при розгляді справ із інтелектуальної власності. Матеріал, викладений у статті, також може використовуватись при читанні дисциплін із інтелектуальної власності у вищих навчальних закладах.

Ключові слова: формула винаходу; новизна винаходу; обмежувальна частина; відмінна частина; експерт; патентовласник; університетська наука; науково-технічні бібліотеки

Вступ

Наукові відкриття та винаходи в усі часи існування людства, від появи колеса до сучасних інженерно-технічних новацій, – це праця винахідників, яка є основою постійного розвитку науки [1, 6].

Показником активності науково-дослідницької діяльності наукового закладу або окремих

науковців є кількість поданих заявок про видачу патентів на винаходи та корисні моделі.

Аналіз статистичних даних винахідницької активності України показує, що майже 90 % від загальної кількості національних заявок, поданих юридичними особами, надходить від заявників стосовно галузей «Наука» та «Освіта» [13, с.15]. При цьому майже 60 % усіх винахо-

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

дів надається науково-дослідними інститутами та вищими навчальними закладами [11]. Це, безумовно, свідчить про постійний розвиток у ВНЗ науково-дослідницької діяльності, в тому числі студентської науки. Наприклад, результатом винахідницької діяльності науковців Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна в 2012 р. стало подання до ДП «Український інститут промислової власності» 59 заявок на корисні моделі й винаходи та одержання 53 охоронних документів України (із них патентів: 9 – на винаходи, 44 – на корисні моделі). Також до Державного департаменту інтелектуальної власності України подано 17 заявок на авторські свідоцтва та отримано 21 свідоцтво на реєстрацію авторського права на твір.

Студенти беруть участь у виконанні більшості НДР, які фінансуються у закладах вищої освіти за рахунок держбюджету України; за їх участю відбувається й винахідницька діяльність. Так, студенти 4-х ВНЗ України (Національного аерокосмічного університету, Харківського національного університету радіоелектроніки, Дніпропетровського національного університету та НТУУ «Київський політехнічний інститут») закінчують розробку міні-супутника, за допомогою якого можна відображати земну поверхню та зондувати верхні шари атмосфери (<http://old.dipsm.org.ua/all/46447>).

У той же час багато інноваційних проєктів світу було створено молодими винахідниками-студентами без безпосередньої участі держави. Наприклад, Білл Гейтс у студентські роки розробив і втілював у практику операційні системи для персональних комп'ютерів (ПК); Стів Возняк та Стів Джобс стали конструкторами одного з перших ПК у світі (Apple) та засновниками надзвичайно популярної американської компанії «Apple Inc.»; Марк Цукенберг, будучи студентом Гарварду, став засновником он-лайн сервісу – соціальної мережі «Фейсбук» (<http://uk.wikipedia.org/wiki/Facebook>).

Таких прикладів можна навести багато, оскільки університет – це місце, через яке проходять тисячі креативних студентів зі своїми творчими мріями, новими ідеями, які часто успішно комерціалізуються й виводяться на національні та світові ринки. В той же час, світова практика підтверджує необхідність захисту авторських прав студентів в рамках їх участі в проєктах університетської науки [15, 17].

Сучасний розвиток світової університетської науки, в тому числі і в Україні, пов'язаний із переміщенням взаємодії у площину цифрових наукових комунікацій. Дані процеси характеризуються поширенням міжнародного руху Відкритого доступу (Open Access) до результатів наукових досліджень, створенням цифрових архівів наукової творчості вчених, появою електронних видавництв, активізацією наукової й винахідницької діяльності. Безумовно, це потребує як удосконалення процесів у сфері охорони інтелектуальної власності в державі взагалі, так й інформаційної підтримки винахідництва та розвитку консультативної діяльності в межах окремих ВНЗ і наукових установ. Все більшу активність у вирішенні цих питань займають науково-технічні бібліотеки [3]. Саме вони в умовах економічної кризи беруть на себе відповідальність за поширення результатів наукових досліджень вчених інституції у глобальному інформаційному просторі, надання доступу до наукової інформації власним вченим і дослідникам світу та забезпечують консультаційні послуги експертів із питань інтелектуальної власності.

Так, наприклад, Директорія журналів відкритого доступу (DOAJ) надає відкритий доступ до 10 журналів (на 01.03.2014 р.) зі всього світу за напрямом «Інтелектуальна власність» (Intellectual Property). Серед них – «Journal of Intellectual Property, Information Technology and E-Commerce Law», «Journal of Intellectual Property Rights», «International Journal of Digital Library Services», «Revista GEINTEC: Gestão, Inovação e Tecnologias», «Journal of Librarianship and Scholarly Communication», «Northwestern Journal of Technology and Intellectual Property», «European Journal of Law and Technology» та ін.

Прикладом іншої цифрової ініціативи наукових комунікацій, що підтримується університетськими бібліотеками, є супроводження інституційних та міжнародних тематичних репозитаріїв (цифрових архівів наукової творчості). Це репозитарії Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна (<http://eadnurt.diit.edu.ua:82>), Національного юридичного університету ім. Я. Мудрого (<http://dspace.nulau.edu.ua:8088>), Одеського національного університету ім. І. Мечникова (<http://dspace.onu.edu.ua:8080>), Приазовського державного технічного університету (<http://eir.pstu.edu/>),

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

Університету ім. Ерика Джонсона в Північній Дакоті (США, http://ericejohnson.com/projects/intellectual_property_repository/) і багатьох інших ВНЗ.

Крім того, науковцям і винахідникам науково-технічні бібліотеки установ і ВНЗ пропонують он-лайн каталоги до власних фондів (у т.ч. до охоронних документів), відкриті доступи до цифрових колекцій численних електронних бібліотек. Це, наприклад, світова Open Access Library (www.oalib.com), котра містить більше двох мільйонів наукових статей.

Таким чином, світове наукове товариство та винахідники мають достатньо інформації щодо розвитку науково-технічної творчості, а бібліотеки сприяють поширенню знань і забезпечують реалізацію прав громадян на відкритий доступ до інформації. Саме на сторінках наукових періодичних видань і матеріалів конференцій, що складають цифрові колекції бібліотек наукових установ і ВНЗ, серед інших питань, науковці й дослідники всього світу мають можливість опосередковано обговорювати теоретичні та практичні аспекти інтелектуальної власності, проблеми захисту прав патентовласників тощо.

Це питання є надзвичайно важливим, бо патент на винахід є одночасно і науково-технічним текстом, і юридичним документом, що забезпечує юридичний захист прав на описаний винахід [9].

Щоб бути конкурентоспроможними на ринку, винахідники застосовують усі засоби, в тому числі – сумнівні. Тому потрібно забезпечити не тільки правомірний захист прав патентовласника. Необхідно не допустити на ринок тих конкурентів, котрі пропонують схожий продукт, але цей продукт виходить за межі охорони патенту, визначеного формулою винаходу. І це є порушенням патентного права або зловживання патентом. Зловживання патентом розглядається за кордоном як незаконна монополія.

Незважаючи на достатньо широку можливість отримання теоретичної інформації, практика оформлення винаходів показує, що найбільш важкою частиною заявки та авторських документів є формула винаходу. Формула винаходу – це частина опису до патенту, котра визначає об'єм правової охорони, що надається патентом його власнику [9]. Труднощі при складанні формули зазнають і винахідники (особливо студентська молодь), і представники

структур, котрі допомагають їм при підготовці заявочних матеріалів, і експерти, що оформлюють авторські або патентні документи. Незнання прийомів виявлення винаходів спричиняє потік легко відхилених заявок, в яких не розкриті з достатньою повнотою ні новизна, ні корисність пропозиції. А це, у свою чергу, призводить до зайвого завантаження експертів.

Захист прав патентовласника на основі формули винаходу досліджували такі вчені, як Гаврилов Є. П., Дементьєв В. М., Єфімов Е. Н., Жуков В. І., Зенін І. А., Капиця Ю. М., Маміофі І. Є., Мірошник Є. Н., Мухамедшина І. С., Підшибіхіна Л. І., Супотницький М. В. та ін. Проте слід зауважити, що їхні наукові розробки здебільшого здійснювалися на основі законодавства сімдесятих-вісімдесятих років ХХ ст.

Мета

На основі вище згаданого метою нашого дослідження є узагальнення та надання основних принципів якісного складання формули винаходу, що забезпечить подальший правовий захист патенту.

Методика

Моніторинг та аналіз світового документального інформаційного потоку щодо механізму цивільно-правового захисту прав патентовласника на основі формули винаходу дозволяє узагальнити деякі ключові моменти з цього питання. Єдиним критерієм при визначенні обсягу виключного права винахідника на винахід та, відповідно, обсягу охорони прав патентовласника є формула винаходу. Саме за допомогою формули винаходу встановлюється факт використання або невикористання винаходу шляхом зіставлення ознак об'єкта, який запроваджується (виробляється, використовується, реалізується) на практиці, із сукупністю ознак, наведених у формулі винаходу.

Формула винаходу також є найважливішим критерієм для встановлення факту незаконного використання винаходу, засобом розрізнення об'єкта винаходу від інших об'єктів або свідченням про тотожність порівнюваних об'єктів. Для того, щоб встановити, чи підпадає спірний об'єкт під визначений у формулі, необхідно перевірити наявність у ньому сукупності всіх ознак, зазначених у формулі, незалежно від то-

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

го, чи є вони родовими або відмінними (індивідуальними).

На сьогодні у міжнародній патентній практиці склалися три системи побудови формул на винахід: європейська (німецька), американська та британська. Особливості кожної системи проявляються: 1) у принципі побудови окремого пункта формули; 2) у принципі побудови багатовантажної формули одного винаходу [9].

Незалежно від того, за якою системою побудована формула, вона повинна виражати сутність винаходу й бути повністю заснована на описі.

При розгляді у суді справ, пов'язаних із порушенням прав із патенту, потрібно, у першу чергу, проаналізувати опис винаходу та додані до нього креслення, у другу, – з'ясувати загальний винахідницький задум.

Розглянемо цю тезу на прикладі патентної системи США, яка у цьому питанні пішла набагато далі інших країн. Американські суди прийшли до висновку, що патентовласник не може «розширювати» значення ознак формули, навіть трохи виходячи за рамки їх значення, установлених в Патентному відомстві США при отриманні патенту [4].

Патент на винахід інколи оскаржується в США (навіть при бездоганній новизні винаходу). При цьому може виявитися, наприклад, недійсним патент, в якому авторами винаходу є особи, що фактично не беруть участь в його створенні. Патентовласника можуть звинуватити в порушенні антитрестового законодавства усього лише за необережне введення певних обмежень в інструкцію по використанню запатентованої продукції, тощо [10]. Тому для надійного правового захисту промислової власності в США іноземні заявники потребують серйозного вивчення не лише американського патентного права, що динамічно розвивається, але й відповідної судової практики, яка істотно відрізняється від аналогічних процедур інших країн.

Юридична система США включає 94 окружних суди, які є судами першої інстанції федеральної судової системи. Їм представлена первинна юрисдикція відносно всіх справ, що стосуються прав інтелектуальної власності. Ці суди організовані в 12 регіональних об'єднаннях, кожне з яких має в своєму розпорядженні свій апеляційний суд [4, 10].

Останнім часом в Україні багато дискутують про необхідність створення спеціалізова-

ного патентного судового органу, як це прийнято в інших країнах. Так, у Російській Федерації з 3 липня 2013 р. набула чинності Постанова Пленуму Вищого Арбітражного Суду РФ [4].

Потрібно відзначити, що спір у сфері інтелектуальної власності є одним із найбільш складних. І суддя, який розглядає справу у сфері інтелектуальної власності, поряд із правовими питаннями, змушений досліджувати також і технічні аспекти. Наприклад, чи використані всі ознаки, які включені до незалежних пунктів формули винаходу. Для кваліфікованого роз'яснення питання на допомогу суддям приходять експерти.

У випадку порушення права патентовласника, останній має повне право (замість компенсування збитків) вимагати від правопорушника виплати компенсації за порушення права. Розмір компенсації визначається судом залежно від характеру правопорушення та інших обставин справи.

У випадках, коли використовується продукція йде на імпорт і в ній виражено результат інтелектуальної власності, то вона вважається контрафактною та за рішенням суду підлягає вилученню з обороту й знищенню без будь-якої компенсації.

Але з іншого боку, патентовласник ризикує витратити сили й кошти на процес, із якого він може вийти з обезціненим, недійсним патентом і без засобів протидії конкурентам. Вірогідність такого результату не слід недооцінювати. Одна справа – будувати теорію здійснення патентних прав або відхилення звинувачень із опорою на існуючу судову практику, та зовсім інша – переконувати присяжних, не маючих уяви ні про розгляд технології, ні про відповідні судові прецеденти. Тому сторони часто вимушені йти на компроміс і заключати ліцензійний договір. У зв'язку з цим корисно ознайомитись із досудовими й судовими аспектами стратегії відстоювання патентних прав.

У патентній системі США не видаються додаткові патенти, залежні від попередніх. Проте в практиці фактична залежність існує та має велике значення. Патентовласник попереднього патенту має право пред'явити позов про порушення його виняткових патентних прав у разі здійснення без його ліцензії об'єкта винаходу. Залежність цього об'єкта по другому патенту від об'єкта по першому патенту визначається шляхом зіставлення патентних формул.

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

Якщо всі ознаки, перераховані в патентній формулі першого об'єкта, фігурують у фактично здійсненому другому об'єкті, то виготовлення, вживання, продаж цього другого об'єкта, навіть за наявності на нього патенту, визнається порушенням прав першого патентовласника та призводить до відповідних санкцій [8, 16, 18, 19].

У цьому випадку доля патентовласника залежить від того, наскільки вірно у нього написана формула та опис винаходу. Тільки тоді патентовласник може бути впевненим у тому, що його ніхто не зможе притягнути до судової відповідальності, але якщо це трапиться, то він зможе відстояти свій патент.

Формула винаходу має велике значення як патентний документ. Знання та володіння формулою є головною вимогою судових експертів.

Правове значення формули:

а) формула визначає об'єм або межі прав винахідника чи патентовласника;

б) формула є засобом розпізнання винаходу в його практичному застосуванні.

Звернувши увагу на судову практику багатьох країн, побачимо, що формулу винаходу розглядають як єдиний критерій для визначення прав винахідника або патентовласника. Опис винаходу має зовсім незначне правове значення, оскільки опис пояснює формулу. Але зовсім не звертати увагу на опис винаходу не можна. Якщо в описі будуть охарактеризовані ознаки в більш розширеній характеристиці, ніж у формулі, то суд може розглядати патент більш об'ємніше, чим це видно у формулі винаходу. Опис винаходу має бути складеним настільки точно, повно та ясно, щоб на його підставі можна було здійснити винахід. Тобто, досить навести технічне рішення у такому вигляді, щоб по даних матеріалах можна було довести винахід до логічного кінця силами фахівців без допомоги самого винахідника – фактично звичайними засобами проектування без подальшого винахідництва [11].

Виходячи з цього, суд може визначити, що межі дій патенту співставляються залежно від змісту опису та результату судової експертизи новизни винаходу. Як ми вже знаємо, новизну визначає формула винаходу.

Формула винаходу повинна бути написана чітко та ясно. Історичні джерела підтверджують, що в Російській імперії ще за часів царя

Олександра II формули винаходу писалися за німецькою (європейською) системою. Далі ця практика поширилася на всі соціалістичні країни. За німецькою системою креслення помічалися фігурами, й значних змін із описом не відбувалося. В деякій частині він складався у вільній формі. Головне, щоб були висвітлені ті розділи, які вказані в інструкції до складання формули винаходу й заявки винаходу. «Інструкція по государственной научно-технической экспертизе изобретений (ЭЗ-2-74)» (рос.) від 13 грудня 1973 р. набула чинності з січня 1974 р. [2]. У наш час вона вже не діє ні в Росії, ні в Україні. А вимоги (в зв'язку з міжнародною угодою та вимогами ВОІС) до заявки на винаходи, корисну модель знижені. Сьогодні патент отримати набагато простіше, ніж раніше.

Формула винаходу повинна мати такі властивості, як: лаконічність, широта, повнота та визначеність, а також відповідати вимогам єдності та новизни винаходу.

Лаконічність – це визначення предмета без зайвих слів.

Властивості широти формули заключаються в тому, що вона визначає права винахідника в широких межах і великому об'ємі. Для досягнення широти предмета винахід повинен бути охарактеризований загальними ознаками.

Повнота формули – це включення всіх суттєвих ознак (не тільки загальних, але й часткових).

Визначення формули заключається в тому, що записані ознаки, які характеризують винахід, не допускають довільних тлумачень і чітко визначають межі авторських прав винахідника та патентовласника.

Єдність винаходу відповідає вимогам, відповідно до яких один документ (заявка, авторське свідоцтво, патент), а значить – і формула винаходу, відносяться тільки до одного винаходу.

Істотною вважається така новизна, яка в об'єкті винаходу зумовлює здобуття нового технічного, біологічного, хімічного або подібного результату, від якого залежить корисність або переваги винаходу. Економічний ефект не входить до перелічених нових результатів, тому що отримання економічного ефекту не може служити критерієм істотності новизни [5, 11].

Другою ознакою є позитивний ефект.

Під позитивним ефектом тут розуміється практична користь для народного господарства,

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

або для суспільства, яка створюється при вживанні винаходу. Це, наприклад: зростання продуктивності праці, підвищення якості роботи, здешевлення продуктів виробництва, поліпшення умов праці. Можна сказати, що під позитивним ефектом розуміється корисність винаходу.

Науковим співробітникам та іншим фахівцям, що займаються дослідницькою діяльністю (але до цього не мали практики патентування винаходів), необхідно також пам'ятати про чітке висвітлення в заявці істотності новизни й корисності винаходу. При цьому потрібно виявляти новий технічний ефект і пов'язані з ним переваги винаходу порівняно з прототипом.

Новизна винаходу визначається на день подачі заявки на здобуття патенту. При цьому враховується не лише те, що застосовувалося до цього дня у виробництві, але й те, що було опубліковано у пресі, або було запатентовано в даній країні (хоча й не опубліковано), або стало відомим невизначеному колу осіб із інших джерел.

Охоронними являються пристрій, спосіб, речовина та інші об'єкти. Тобто ті об'єкти, в яких змішані які-небудь системи, якісь організаційні моменти. Таким чином, патент можна отримати не тільки на пристрій, спосіб, речовину, але й на інші об'єкти.

Якщо взяти законодавство України, то, на відміну від Німеччини або Японії, в Україні патент видається на всі об'єкти інтелектуальної власності. У той же час в Німеччині та Японії корисною моделлю вважається тільки пристрій (так само в наш час і в Росії). Тобто, якщо існує корисна модель на пристрій, то ми не можемо її захистити в Росії, ми можемо запатентувати тільки пристрій.

При розгляді формули винаходу в США стає зрозумілим існування такої системи складання: кожний пункт є правовим, але різниця в тому, що в кожному наступному пункті повинна бути відмінна ознака. При складанні опису не допускається надмірно широка формула винаходу. Так, лише з цієї причини в 1993 році була відхилена заявка на спосіб здобуття піп-тида з клітин тютюнової рослини шляхом генної інженерії. Суд вказав на відсутність в описі відомих на дату подачі заявки обмежень у використанні методу, що патентувався [8, 16, 18, 19]. Будь-яка патентна формула, у тому числі

й гібридна, буде відхилена, якщо залежні пункти не будуть пов'язані з головною загальною ознакою новизни та призначення. Наприклад, пристрій для електрозварювання буде відхилено, якщо він буде новим, але застосованим для зварки, наприклад, мідних листів, а не лише алюмінієвих. Також буде відхилений і виключений з формули дріт для зварювальної голівки, якщо з'ясується, що вона придатна не лише для зварки алюмінієвих листів або не лише для вживання в зварювальному пристрої, вказаному в гібридній формулі.

Слід взяти до уваги й той факт, що обмеження кількості пунктів формули винаходу не встановлено. Критерієм є складність винаходу, а також міра та кількість новизни, що отримали своє віддзеркалення в розробленості заявником можливих форм виконання об'єкта винаходу. Проте навіть під час розроблення форм й обґрунтування внаслідок цієї великої кількості пунктів вимог у формулі, експерт може запропонувати зробити вибір кращих із них, щоб зменшити їхню кількість. У таких випадках краще переписати патентну формулу та направити більш узагальнені пункти в порядку внесення до формули поправок.

Патентна формула може бути відхилена експертом, якщо із способу виключена будь-яка операція, необхідна для досягнення поставленої винаходом мети. Якщо експерт прийняв таку патентну формулу, то суд може в процесі подальших позовів оголосити патент недійсним.

Все це свідчить, що головним із елементів в комбінованій патентній формулі США є правильне перерахування всіх елементів для досягнення цілей винаходу, і вказівка їх взаємодії. Проте на практиці не вважається за необхідне перераховувати у формулі очевидні без пояснень елементи, наприклад, джерело енергії, особливо, якщо врахувати працездатність машини від будь-якого приводу [8].

Кожен пункт формули патенту повинен розглядатися як самостійний винахід. Проте, коли прийнятий родовий широкий пункт, то не дуже жорстко дотримується вимога, щоб інші додаткові, допоміжні пункти однієї і тієї ж формули були патентно-різними. Тому у ряді випадків можуть бути прийняті пункти формули, що відрізняються один від одного вже відомими ознаками, тобто не заключають винаходу в зіставленні з іншими пунктами формули.

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

У той же час пункти заявочної формули на спосіб і на пристрій для здійснення способу, які по викладу близькі між собою, часто відхиляються по мотивах відсутності патентоспроможної відмінності, хоча вони й викладені в одній заявці.

Вступ заявочної патентної формули по вимогах не має бути довгим та повинний спрямовувати експерта до тієї області техніки, до якої відніс свій винахід сам заявник. Це, проте, не означає, що експертиза не може шукати аналогії й прототипи в будь-яких інших класах та областях техніки. У деяких документах вказується, що вступна фраза взагалі не розглядається: ні як обмеження, ні як частина заявленої у формулі сукупності.

Значення вступної фрази при розгляді заявки полягає лише в можливості встановлення факту – чи в тій області розглядається винахід – для більш легкого встановлення відмінності винаходу від попереднього значення. Мале значення або взагалі жодного значення не надається вступним рядкам формули й при розгляді суперечок щодо зіткнення прав патентовласників [8].

Деякі відмінності також має форма винаходу і в Великобританії. Це, наприклад, дещо вільніша манера викладу. Але кожна характеристика формули, по суті – перша характеристика, – викладається без виділення новизни. Таким чином, британську формулу можна віднести до європейської, за винятком виділення новизни.

Українська форма винаходу (за європейською/германською системою) сьогодні така ж, якою була в 1960 р. В Україні захищаються такі об'єкти як: пристрій, спосіб, речовина.

1. *Ознаки пристрою.* Найбільш поширений різновид об'єктів винаходів – пристрій. Його характеризують такі ознаки:

а) вузли й деталі, з яких він складається. Ця група ознак найбільш важлива, оскільки без них неможливо уявити собі пристрою. Чим більше в об'єкті принципово нових вузлів і деталей, тим більше передумов для виявлення новизни;

б) взаємозв'язок вузлів і деталей пристрою. Ці ознаки дозволяють отримати уявлення про конструктивну схему пристрою, оскільки перерахування вузлів і деталей – це лише набір тих елементів, із яких може складатися об'єкт запропонованого винаходу. Зв'язки між елементами можуть бути відомими, можуть бути но-

вими. Новизна взаємозв'язків вузлів і деталей за наявності позитивного ефекту сприяє успішному захисту предмету винаходу;

в) особливості конструктивного виконання вузлів і деталей. Наявність вузлів і деталей із їх взаємозв'язком ще не повністю розкриває пристрій. Можна зустріти пристрої з однаковими вузлами. Але їх не завжди можна назвати ідентичними, оскільки одні й ті ж вузли можуть мати свої спеціальні конструктивні особливості;

г) геометричні форми вузла або деталі. Незвичність геометричної форми, пов'язана з позитивним ефектом, може бути захищена авторським свідоцтвом або патентом. Тому, загострюючи увагу на незвичайних формах вузлів і деталей об'єкта, легко захистити винахід;

д) матеріали, з яких виконані вузли й деталі. Така ознака теж не часто зустрічається в патентній практиці. Проте в деяких випадках без нього не можна охарактеризувати пристрій.

2. *Ознаки способу.* На відміну від пристрою спосіб, як правило, є технологічним процесом, що характеризує такі ознаки:

а) операції, з яких складається технологічний процес. Дійсно, вказати операції – означає викласти основні стадії процесу, що дозволяє скласти найзагальніше уявлення про цикли основних операцій (від початкової до кінцевої);

б) послідовність операцій. Послідовність часто визначає функціональність процесу, бо зміна її може призвести до того, що процес неможливо буде здійснити;

в) режим проведення операцій. Ця група ознак має особливе значення в області хімії, де взаємодія продуктів і напрям реакції цілком залежать від режимів процесу – температури, тиску, концентрації, часу і тому подібне;

г) матеріали й речовини, що беруть участь у процесі;

д) пристосування для проведення окремих операцій. Посилання на пристрій при цьому доповнює операції та уточнює спосіб в цілому;

3. *Ознаки речовини.* Для характеристики такого різновиду об'єктів, як речовина, використовують дві групи ознак:

а) компоненти, з яких складається речовина;

б) співвідношення компонентів [14, с. 4–9].

Правила складання формули стосуються не лише принципів розподілу ознак за декількома пунктами, але й у середині пункту. Кожен пункт формули викладається однією пропози-

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

цією, без розділових крапок і крапок із комами. Лише у тих виняткових випадках, коли ознак характеристики дуже багато та їх важко викласти вираженням без крапок і крапок із комами, допускається порушення вказаного правила. Виклад характеристики без розділових крапок і крапок із комами прийнятий в більшості країн, особливо в європейських [12].

Перший пункт винаходу, за правилами, складається з 2-х частин:

- 1) обмежувальна;
- 2) відмітна.

Ці дві характеристики (як обмежувальна, так і відмітна) в правовому відношенні є обов'язковими. Наприклад, якщо із виготовленого предмета забрати якусь деталь, котра була записана в формулі, то цей предмет не буде підпадати під правові дії патенту. Тому ознаки винаходу, включені в обмежувальну частину формули, повинні бути загальними з прототипом.

Друга частина формули – «відмітна» – характеризує ту новизну, котра названа загальною. Вона надає характеристику ознак, які визначають собою прогресивність задачі й висоти винаходу. Тому кожний пункт формули винаходу потрібно скласти так, щоб при його уточненні експертом значення було зрозумілим тільки з формулювання даного пункту. Дійсно, оскільки вони викладені в одній загальній характеристиці, то й охороняються лише в цьому поєднанні. Якщо з предмета, використаного в промисловості, виключити будь-яку деталь, згадану у формулі до або після відмінності, то цей предмет вже не підпадати під правову дію авторського свідоцтва або патенту. При цьому тлумачення (яке інколи зустрічається) про те, що правове значення має лише відмітна частина формули, де викладені нові ознаки, – є неправильним.

Також потрібно, щоб формула та опис винаходу мали одне значення і ніякого розходження між ними не було. Як, наприклад, у випадку, коли в описі вказано обмеження конкретною ознакою, а в формулі такого обмеження немає, крім того опис винаходу не надає якогось особливого значення цій ознаці. В такому випадку несумісність можна усунути: або розширити опис винаходу, або обмежити формулу винаходу.

Вважається грубою помилкою (яка, у той же час, нерідко допускається), що в обмежувальній частині формули наголошуються ознаки прото-

типу, що не є повною мірою ознаками формульованого винаходу. Наприклад, включаються такі елементи прототипу, які й були виключені з нього завдяки новим, відмітним особливостям предмету винаходу або прямо замінені новими особливостями. Якщо такі виключені або замінені особливості прототипу будуть записані в обмежувальну частину формули, то така формула просто не відповідатиме предмету винаходу та не охоронятиме цей предмет.

Предмет винаходу має бути визначений загальними характеристиками настільки, щоб формулювання охоплювало всі можливі окремі випадки виконання або вживання цього винаходу.

Для здобуття спільності предмету винаходу не слід включати у формулу такі його приватні ознаки, які б надмірно обмежували авторські права. Приватні ознаки обмежують авторські права незалежно від того, в якій частині характеристики (відмітній чи обмежувальній) ці ознаки записані.

Наприклад: «Насос відцентрового типу, що відрізняється тим, що нагнітаючий патрубок його має еліптичний поперечний переріз» і «Насос, що відрізняється тим, що нагнітаючий патрубок його має в поперечному перерізі витягнуту форму» [12].

Порівнюючи текст обох формул бачимо, що предмет, а отже, й авторські права по першій формулі обмежуються порівняно з другою формулою двічі: в обмежувальній частині – насосами лише відцентрового типу та у відмітній – патрубками лише еліптичного перерізу. Друга формула не обмежує типу насоса, отже, може відноситися до насосів будь-якого типу, в тому числі й до тих, що із відцентровим перерізом патрубка. Про патрубок «еліптичного» перерізу можна вказати в другому, додатковому пункті.

Таким чином, друга формула має більшу міру спільності, захищає авторські права ширше, ніж перша. Так само в перший пункт формули не слід включати точні параметри розмірів конструкції, точні співвідношення вживаних компонентів, точні технічні характеристики процесу тощо.

Не слід також записувати у формулу вказівки про виконання тієї чи іншої деталі з певного матеріалу, якщо вона може бути зроблена з іншого матеріалу.

Формула має бути складена так, щоб вона не виходила за межі цього винаходу та не охоплювала неправомірно вже відоме. Крім того,

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

не можна узагальнювати ознаки винаходу настільки, щоб формула втратила визначеність. Для збереження визначеності документа об'єкта, що охороняється, формула не повинна допускати довільних припущень і пропозицій. Вона повинна характеризувати не постановку завдання, не мету, не ідею, а вирішення поставленої задачі у вигляді конструкції, схеми технологічного процесу і т.д.

«Вібратор з дебалансами, що обертаються загальним приводним валом, що відрізняється тим, що приводний вал розвантажений від згинальних моментів», або «Верстат для нанесення різблених орнаментів на дереві механічним шляхом, що відрізняється тим, що виконання різблення на верстаті виконується без копіра» [12].

Недостатні характеристики, недомовленості та тому подібне є причиною недостатньої визначеності формулювання, а отже знижують контрольні якості формули, наприклад: «Пристрій для окислювального очищення стічних вод, виконаний у вигляді зигзагоподібного каналу, відрізняється тим, що, з метою інтенсифікації процесу окиснення, він забезпечений ротором». Із цієї формули не можна визначити, що за ротор, де він встановлений та яка його технологічна або інша роль [12].

Наведені приклади характеризуються лаконічністю формули, але ця лаконічність виявилася надмірною – шкодить визначеності. Таким чином, хоча визначеність формули є вимогою, протилежною до вимоги спільності, обидві зазначені вимоги мають бути задоволені при складанні формули.

Недостатня визначеність формули може бути результатом недоліків, допущених у назві винаходу, оскільки назва характеризує собою найбільш загальні ознаки винаходу.

Оскільки винахід в авторських або патентних документах виражається «формулою винаходу», то дотримання вимоги єдності або порушення його у вказаних документах визначається, головним чином, формулою.

Питання «єдності» стосується лише тих винаходів, які характеризуються декількома новими особливостями (відмінними ознаками). Таких винаходів більшість. Це питання може відноситися як до формули в одному єдиному пункті або до основного (першого) пункту багатопозиційної формули, так і до подальших пунктів багатопозиційної формули.

У формулі, яка складається з декількох пунктів, у першому пункті повинні бути зазначені ті ознаки об'єкта, котрі мають між собою обов'язковий зв'язок, без яких винахід не може існувати.

Отже додаткові ознаки винаходу, зазначені в другому пункті формули, конкретизують відмінні ознаки, відмічені в першому (чи в попередньому) пункті або доповнюють їх. Практика доводить, що при дотриманні єдності в більшості випадків так саме й буває, тобто додаткові ознаки є безпосередньо пов'язаними з основними, відмінними ознаками, проте можливі й такі випадки, коли розвиваються довідмітні ознаки, але при цьому єдність не порушується. Це відбувається у випадках, коли розвиток довідмітних ознак не може бути виконаний без відмітних ознак або має істотне значення лише за наявності відмітних ознак, тобто лише в цьому винаході.

Деякі патентні працівники помилково вважають задоволеною вимогу єдності в тому випадку, коли другий або інші пункти розвивають яку-небудь ознаку головного пункту, у тому числі й довідмітну. І це незалежно від тих умов, які викладені вище, оскільки цей розвиток відноситься б до прототипу та не мав би обов'язкового зв'язку з цим винаходом.

Принцип єдності винаходу не допускає включення в один авторський або патентний документ додаткових ознак, що мають самостійне значення.

Природно, якщо ознаки, що мають самостійне значення, є істотними, то вони можуть і мають бути предметом окремої самостійної заявки, окремого самостійного авторського свідоцтва або патенту. Це, безумовно, відповідає інтересам самого винахідника. Цей факт пов'язаний із тим, що окремий самостійний документ захищає права винахідника не лише у зв'язку з іншими ознаками, складаючими фізично інший винахід, який захищається першим документом.

Дотриманням «єдності» винаходу досягається велика визначеність у захисті прав винахідника і патентовласника та виключення зайвих суперечок між зацікавленими сторонами. Природно, якщо патентовласник отримує охорону лише сукупного їх вживання, то він і повинен нести витрати у вигляді патентних мит за декілька патентів [7, 12].

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

Результати

На основі виконаного автором дослідження встановлено, що між українською та американською формулами є глибока відмінність. У першій частині формули, прийнятої в Україні, перераховуються всі відомі істотні взаємопов'язані ознаки об'єкта, що характеризується, а в другій її частині – нові елементи об'єкта. У той же час, побудова контенту американської формули є такою: в першій її частині вказані лише ті відомі ознаки об'єкта (назва, призначення, родові ознаки), які дозволяють віднести цей об'єкт до відповідного підрозділу Класифікатора США; а в другій частині формули наведена повна характеристика об'єкта з перерахуванням всіх ознак (елементів) – відомих і нових, сукупність яких забезпечує відтворення об'єкта винаходу.

Автором окреслено типові помилки, які роблять експерти. Одна з них пов'язана із випадком, коли назва входить першою ознакою в формулу винаходу. Тобто, якщо назва включає в себе поставлену мету винаходу, то при включенні як відмітні ознаки, наприклад, фрази «з метою автоматизації», відбувається непорозуміння як з боку винахідника, так і з боку експерта.

Для ілюстрації цього випадку візьмемо оформлення документів на автоматизований захватний пристрій. Якщо поставлена мета – автоматизувати, то всі відмітні ознаки повинні бути у відмітній частині, а до назви ні в якому разі не можна включати фразу «з метою автоматизації». У випадку включення цієї фрази в назву – отримуємо те, що автоматизована система вже існує, отже в нашому винаході новизни вже не буде. Відмінності в назві не повинно бути; назва повинна являти собою родове поняття.

У ході проведення дослідження встановлено, що існує низка недоліків у написанні формули винаходу. Це, наприклад, стосується того, що:

1) ознаки повинні бути вказані в зв'язку один із одним (у взаємозв'язку). Ознаки повинні бути не тільки в обмежувальній частині, але й у відмітній.

2) У наш час мета винаходу не вказується (як було раніше), а в описі пишеться поставлена задача. Це пов'язано з тим, що написання мети винаходу – це поняття загальне, а найголовнішим фактором є поставлена задача.

Наукова новизна та практична значимість

Автором досліджено та узагальнено ряд питань і методик, які можуть бути застосовані судами при тлумаченні формули винаходу в процесах розгляду справ із інтелектуальної власності в Україні. Особливо це стосується визначення правильного написання формули винаходу.

Ця робота може бути використана при написанні формули винаходу, яка призначена для визначення об'єму правової охорони, що надається патентом його власнику. Це дасть можливість патентовласникам і винахідникам уникнути помилок при складанні формули.

Висновки

В Україні на сьогодні відсутня як інноваційна політика щодо винахідницької діяльності, так і умови для впровадження нових розробок. Країна знаходиться в стані економічної кризи, а це безпосередньо впливає на розвиток науково-технічного потенціалу та визначення достойного місця України в сучасному світі. Для того, щоб підняти престиж винахідництва в Україні, необхідна цілеспрямована державна політика. Вважаємо, що серед окремих заходів цієї політики можуть бути такі. По-перше, вирішення питання на законодавчому рівні щодо розробки й прийняття Закону України «Про підтримку винахідництва в Україні». По-друге, активізація мас-медійної політики щодо підняття престижу винахідництва в державі (висвітлювання в засобах масової інформації, телебаченні, мережі Інтернет, проведення виставок і конкурсів на місцевих, регіональних і державному рівнях). По-третє, відродження різних форм навчання винахідництву. Саме ця проблема на сьогодні для вищих навчальних закладів є актуальною. В багатьох ВНЗ та навчально-дослідних інститутах існує чимало цікавих інноваційних розробок і винаходів, які при впровадженні можуть принести державі відчутну користь. У закладах вищої освіти України існують потужні наукові та інженерні школи, спрямовані на інноваційний розвиток окремих регіонів та країни в цілому. На цій базі можна підготувати спеціалістів, здатних займатися комерціалізацією результатів інтелектуальної власності в продуктивні результати. А посприяло б цьому введення у ВНЗ курсу «Методологія винахідницької творчості».

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Березанська, В. Винахідник нашого часу, хто він? / В. Березанська // Інтелект. власність. – 2010. – № 8. – С. 4–6.
- Инструкция по государственной научно-технической экспертизе изобретений (ЭЗ-2-74) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://docs.cntd.ru/document/9011789>. – Назва з екрана.
- Колесникова, Т. А. Интеграция украинской отраслевой научной периодики в мировое научно-информационное пространство: проблемы и решения / Т. А. Колесникова // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 6. – С. 7–22.
- МакДональд, Б. А. Судопроизводство по вопросам интеллектуальной собственности в федеральных и административных судах США с учетом новаций патентного законодательства [Електронний ресурс] / Б. А. МакДональд // Журн. суда по интелект. правам. – 2013. – № 1 (окт.). – С. 16–25. – Режим доступу: http://ipc.arbitr.ru/files/pdf/sip_jurnal1.pdf. – Назва з екрана.
- Моїсєєнко, Т. Є. Ресурсне забезпечення інноваційної діяльності підприємств / Т. Є. Моїсєєнко, С. В. Войтко. – К. : Альфа реклама, 2014. – 159 с.
- Мямлин, С. В. Прогресс транспорта – залог развития национальной экономики / С. В. Мямлин // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 1. – С. 7–12.
- Право інтелектуальної власності : Академ. курс / О. А. Підригора, О. Б. Бутнік-Сіверський, В. С. Дроб'язко та ін. – К. : Концерн «Видавничий Дім «Ін Юре», 2004. – 672 с.
- Румянцев, Г. Я. Патентная формула США / Г. Я. Румянцев. – М. : Центр. науч.-исследоват. ин-т патент. информ. и технико-эконом. исслед., 1967. – 89 с.
- Супотницький, М. В. Формула изобретения / М. В. Супотницький // Ведомости Науч. центра экспертизы средств медиц. применения. – 2013. – № 1. – С. 41–44. – Режим доступу: <http://supotnitskiy.ru/stat/stat114.htm>. – Назва з екрана.
- Тематический выпуск по материалам отечественной и зарубежной литературы. Особенности правовой охраны интеллектуальной собственности в США. – М., 2001. – 83 с.
- Украина – в двадцатке лидеров научно-технического прогресса [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.day.kiev.ua/.../ukraina-v-dvadcatke-liderov-nauchno-tehnicheskog. – Назва з екрана.
- Чихачев, Н. А. Формула изобретения в советской и зарубежной патентной практике / Н. А. Чихачев. – М. : ЦНИИПИ, 1967. – 84 с.
- Шенкаренко, М. І. Патентна статистика як індикатор інноваційної активності в галузях економіки / М. І. Шенкаренко // Інтелект. власність в Україні. – 2013. – № 6. – С. 14–18.
- Шепелев, Н. П. Методика выявления изобретений / Н. П. Шепелев, И. И. Кичкин. – М. : ЦНИИПИ, 1969. – 32 с.
- Collins, Lisamarie A. Copyrightable Works in the Undergraduate Student Context: An Examination of the Issues [Електронний ресурс] / Lisamarie A. Collins // Marquette Intellectual Property Law Review. – 2013. – Vol. 17. – Iss. 2. – Art. 5. – Режим доступу: <http://scholarship.law.marquette.edu/plr/vol17/iss2/5>. – Назва з екрана.
- Danleavy, K. J. A comparative review of patenting of biotechnological inventions in the US and Europe / K. J. Danleavy, M. M. Vinnola // The J. of World Intellectual property. – 2000. – Vol. 3, №1. – P. 65–76.
- McCutcheon, Carmen J. Fairplay or Greed: Mandating University Responsibility Toward Student Inventors [Електронний ресурс] / Carmen J. McCutcheon. – Режим доступу: <http://scholarship.law.duke.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1095&context=dltr>. – Назва з екрана.
- Peterman, C. J. Reforming the system: the American inventors protection act of 1999PW / C. J. Peterman. – 1999/2000. – № 118. – P. 14–15.
- PTO chief hails bill as «Most important development since 1952/WIPR». – 2000. – Vol. 14. – № 1. – P. 19–20.

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

Н. В. МАРЧЕНКО^{1*}

^{1*}Научно-техническая библиотека, ЧАО «АзовЭлектроСталь», пл. Машиностроителей, 1, Мариуполь, Украина, 87535, тел. +38 (0629) 51 84 42, эл. почта nata-marchenko@mail.ua, ORCID 0000-0002-9217-4176

МЕХАНИЗМ ГРАЖДАНСКО-ПРАВОВОЙ ЗАЩИТЫ ПРАВ ПАТЕНТОВАДЕЛЬЦА НА ОСНОВАНИИ ФОРМУЛЫ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Цель. Анализ статистических данных изобретательской активности Украины показывает, что наибольшее количество заявок подается сотрудниками вузов и научно-исследовательских институтов – почти 60 % всех изобретений. Практика оформления изобретений доказывает, что для исследователей, особенно студентов, наиболее трудной частью заявки и авторских документов является формула. Цель исследования – обобщение и предоставление общих принципов качественного составления формулы изобретения, обеспечивающей дальнейшую правовую защиту патента. **Методика.** Мониторинг и анализ мирового документального информационного потока по механизму гражданско-правовой защиты прав патентообладателя на основе формулы изобретения позволяет сравнить мировые системы построения формул и обобщить некоторые ключевые моменты по данному вопросу. Проведен анализ примеров правильного написания формулы изобретения и ее толкования при рассмотрении судебных дел по интеллектуальной собственности. **Результаты.** Описаны отдельные свойства формулы изобретения – лаконичность, широта, полнота и определенность, соответствие требованиям единства и новизны изобретения. На основе проведенного исследования установлено, что между украинской и американской формулами изобретения существует глубокое отличие. Выделен ряд распространенных ошибок и недостатков при написании формулы. Подчеркнута необходимость восстановления различных форм обучения изобретательству в вузах Украины, поскольку именно на этой базе можно подготовить ряд специалистов, способных осуществлять коммерциализацию результатов интеллектуальной собственности в продуктивные результаты. **Научная новизна.** Исследован и обобщен ряд вопросов и методик, которые могут быть применены судами при толковании формулы изобретения в процессах рассмотрения дел по интеллектуальной собственности. Особенно это касается определения правильного написания формулы изобретения. **Практическая значимость.** Данная работа может быть использована при написании формулы изобретения. Это даст возможность патентообладателям и изобретателям избежать ошибок при составлении формулы. Результаты проведенного исследования могут быть применены в процессах гражданско-правовой защиты при рассмотрении дел по интеллектуальной собственности. Материал, изложенный в статье, также может использоваться при чтении дисциплин по интеллектуальной собственности в высших учебных заведениях.

Ключевые слова: формула изобретения; новизна изобретения; ограничительная часть; отличительная часть; эксперт; патентообладатель; университетская наука; научно-технические библиотеки

N. V. MARCHENKO^{1*}

^{1*}Scientific and Technical Library, PJSC «AzovElektroStal», Mashynobudivnykiv Sq., 1, Mariupol, Ukraine, 87524, tel. +38 (0629) 51 84 42, e-mail nata-marchenko@mail.ua, ORCID 0000-0002-9217-4176

CIVIL PROTECTION MECHANISM OF THE ASSIGNEE RIGHTS BASED ON THE PATENT CLAIM

Purpose. Statistical analysis of inventive activity in Ukraine shows that the largest number of applications is submitted by employees of universities and research institutions – almost 60% of all inventions. Practice of inventions execution proves that for researchers, especially for students, the most difficult part of the application and author documents is the claim. The purpose of research is a synthesis and supplying the general principles of quality drafting the patent claim, providing further legal protection of the patent. **Methodology.** Monitoring and analysis of the world documentary informational flow through the civil protection mechanism of the assignee rights on the basis of the patent claim allows us to compare the world systems of formulas development and summarize some key moments concerning the point in question. The example analysis of the correct patent claim drafting and its interpretation in court cases on intellectual property was made. **Findings.** The specific properties of the patent claim were

© Н. В. Марченко, 2014

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

described. They are conciseness, latitude, completeness and certainty, compliance with unity requirements and novelty of the invention. On the basis of the research it is established that there is a great difference between Ukrainian and American patent claims. A number of common mistakes and shortcomings during the claim drafting were identified. The need to restore the various forms of the invention training in universities of Ukraine was emphasized, since on this basis one should train a number of specialists who are able to carry out the commercialization of intellectual property results into productive findings. **Originality.** A number of issues and techniques was investigated and summarized. They can be applied by the courts in interpreting of the patent claim in the processing of intellectual property cases. Especially it concerns determining the correct drafting of the patent claim. **Practical value.** This work may be used during the drafting of patent claim. It will give the possibility for assignees and inventors to avoid the errors when drafting the claim. The results of the conducted research can be applied in the processes of civil protection in cases of intellectual property. The material presented in this article can also be used at lectures on the intellectual property disciplines in the universities.

Keywords: patent claim; invention novelty; restrictive part; characteristic feature; expert; assignee; university science; scientific and technical libraries

REFERENCES

1. Berezanska V. Vynakhidnyk nashoho chasu, khto vin? [The inventor of our time, who is he?]. *Intelektualna vlasnist*, 2010, no. 8, pp. 4-6.
2. *Instruktsiya po gosudarstvennoy nauchno-tekhnicheskoy ekspertize izobreteniy (EZ-2-74)* [Instructions on state scientific and technical examination of inventions (EZ-2-74)]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/9011789> (Accessed 11 March 2014).
3. Kolesnikova T.A. Integratsiya ukrainskoy otraslevoy nauchnoy periodiki v mirovoye nauchno-informatsionnoye prostranstvo: problemy i resheniya [Integration of Ukrainian specialized and scientific periodicals in to the world scientific information space: problems and solutions]. *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, pp. 7-22.
4. MacDonald B.A. Sudoproizvodstvo po voprosam intellektualnoy sobstvennosti v federalnykh i administrativnykh sudakh SSHa s uchetom novatsiy patentnogo zakonodatelstva [Proceedings on intellectual property issues in federal and administrative courts of USA taking into account novelties of the patent legislation]. *Zhurnal suda po intellektualnym pravam – Court Journal for Intellectual Property Rights*, 2013, no. 1 (Okt.), pp. 16-25. Available at: http://ipc.arbitr.ru/files/pdf/sip_jurnal1.pdf. (Accessed 11 March 2014).
5. Moiseienko T.Ye., Voitko S.V. *Resursne zabezpechennia innovatsiinoi diialnosti pidpriemstv* [Resource support of innovation activities of enterprises]. Kyiv, Alfa reklama Publ., 2014. 159 p.
6. Myamlin S.V. Progress transporta – zalog razvitiya natsionalnoy ekonomiki [Transport progress is a key of national economics development]. *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, pp. 7-12.
7. Pidoryhora O.A., Butnik-Siverskyi O.B., Drobizko V.S. *Pravo intelektualnoi vlasnosti* [Intellectual Property Right]. Kyiv, Kontsern «Vydavnychiy Dim «In Yure» Publ., 2004. 672 p.
8. Rumyantsev G.Ya. *Patentnaya formula SSHa* [USA patent claim]. Moscow, TsNII patentnoy informatsii i tekhniko-ekonomicheskikh issledovaniy Publ., 1967. 89 p.
9. Supotnitskiy M.V. Formula izobreteniya [Patent claim]. *Vedomosti Nauchnogo tsentra ekspertizy sredstv meditsinskogo primeneniya – Bulletin of the Expertise Scientific Center of Medical Products*, 2013, no. 1, pp. 41-44. Available at: <http://supotnitskiy.ru/stat/stat14.htm> (Accessed 11 March 2014).
10. *Tematicheskyy vypusk po materialam otechestvennoy i zarubezhnoy literatury. Osobennosti pravovoy okhrany intellektualnoy sobstvennosti v SSHa* [Thematic issue on materials of domestic and foreign literature. Features of the legal protection of intellectual property in the United States]. Moscow, 2001. 83 p.
11. *Ukraina – v dvadtsatke liderov nauchno-tekhnicheskogo progressa* [Ukraine is in the twenty leaders of the scientific and technical progress]. Available at: www.day.kiev.ua/.../ukraina-v-dvadcatke-liderov-nauchno-tekhnicheskog (Accessed 11 March 2014).
12. Chikhachev N.A. *Formula izobreteniya v sovetskoy i zarubezhnoy patentnoy praktike* [Patent claim in the Soviet and foreign patent practice.]. Moscow, TsNIPI Publ., 1967. 84 p.
13. Shenkarenko M. Patentna statystyka yak indyktor innovatsiinoi aktyvnosti v haluziakh ekonomiky [Patent statistics as an indicator of innovation activity in the fields of economics]. *Intelektualna vlasnist v Ukraini – Intellectual property in Ukraine*, 2013, no. 6, pp. 14-18.

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

14. Shepelev N.P., Kichkin I.I. *Metodika vyyavleniya izobreteniy* [Procedure of inventions identification]. Moscow, TsNIIPI Publ., 1969. 32 p.
15. Collins Lisamarie A. Copyrightable Works in the Undergraduate Student Context: An Examination of the Issues. *Marquette Intellectual Property Law Review*, 2013, vol. 17, issue 2, Art. 5. Available at: <http://scholarship.law.marquette.edu/iplr/vol17/iss2/5> (Accessed 11 March 2014).
16. Danleavy K.J., Vinnola M.M. A comparative review of patenting of biotechnological inventions in the US and Europe. *The Journal of World Intellectual property*, 2000, vol. 3, no. 1, pp. 65-76.
17. McCutcheon Carmen J. Fairplay or Greed: Mandating University Responsibility Toward Student Inventors. Available at: <http://scholarship.law.duke.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1095&context=dltr> (Accessed 11 March 2014).
18. Peterman C.J. Reforming the system: the American inventors protection act of 1999PW, 1999/2000, no. 118. P. 14-15.
19. PTO chief hails bill as «Most important development since 1952//WIPR», 2000, vol. 14, no. 1, pp. 19-20.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. С. В. Мямліним (Україна); директором-генеральним конструктором В. М. Бубновим ВАТ «ГСКБВ ім. В. М. Бубнова» (Україна)

Надійшла до редколегії 13.03.2014

Прийнята до друку 30.04.2014

ЗМІСТ

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

А. М. БЕЗНАРИТНИЙ, В. І. ГАВРИЛЮК, І. О. РОМАНЦЕВ, В. І. ЩЕКА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ЗВОРОТНОЇ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ З ПРИСТРОЯМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ, ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ ТА БЛОКУВАННЯ	7
--	---

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Л. В. МАРЦЕНЮК ОРГАНІЗАЦІЯ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ В УМОВАХ РЕФОРМУВАННЯ	15
---	----

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

М. І. МУЗИКІН, Г. І. НЕСТЕРЕНКО ВПЛИВ «ВІКОН» НА ПРОПУСКНУ СПРОМОЖНІСТЬ ЗАЛІЗНИЧНОГО НАПРЯМКУ	24
---	----

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

О. Ю. БАЛІЙЧУК, Л. В. ДУБИНЕЦЬ, О. М. ДУХНОВСЬКИЙ, О. О. МАРЕНИЧ, О. Л. МАРЕНИЧ ВПЛИВ ЯКОСТІ ЖИВЛЯЧОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА НАГРІВАННЯ ДОПОМІЖНИХ МАШИН ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ ЗМІННОГО СТРУМУ	34
---	----

Ю. С. БОНДАРЕНКО ПЕРЕДУМОВИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ В СТРУКТУРІ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	42
--	----

А. В. НІКІТЕНКО, М. О. КОСТІН ІМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНИЙ І КОРЕЛЯЦІЙНО-СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗИ СТРУМУ РЕКУПЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	51
--	----

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

І. О. ВАКУЛЕНКО, О. М. ПЕРКОВ, М. КНАПІНСЬКИЙ, Д. М. БОЛОТОВА ОЦІНКА НЕОБЕРНЕНОЇ УШКОДЖУВАНOSTІ ПРИ ВТОМІ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ	65
--	----

Н. Є. КАЛІНІНА, С. І. МАМЧУР, К. О. МУСІНА, М. В. ГРЕКОВА, Т. К. ЛОПАТКІНА ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВОК ІЗ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ АК6	75
---	----

О. Є. КАПУСТЯН, О. В. ОВЧИННИКОВ, І. О. ВАКУЛЕНКО ОТРИМАННЯ ЗВАРНИХ ВИРОБІВ ЗІ СПЕЧЕНИХ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ	84
---	----

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

А. А. БОСОВ, П. О. ЛОЗА ПОХІДНА ФУНКЦІЇ МНОЖИНИ ЗА МІРОЮ ТА ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ (ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ЗАДАЧ)	92
--	----

А. В. ГАЙДАКА МОДЕЛІ КІНЕМАТИКИ ТА ДИНАМІКИ ЦИЛІНДРИЧНИХ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ	100
---	-----

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

Ю. К. ГОРЯЧЕВ, А. С. КУРОП'ЯТНИК, М. Р. ІЗМАЙЛОВ ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗЕРВІВ ЕНЕРГІЇ ПРИВОДІВ ПІДВІСНИХ КАНАТНИХ ДОРІГ ІЗ УРАХУВАННЯМ ДІАГРАМ ОКРУЖНИХ ЗУСИЛЬ	109
---	-----

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Г. ВАЙЧУНАС, С. В. МЯМЛІН, А. А. БОСОВ, В. Я. ПАНАСЕНКО, І. В. КЛИМЕНКО, Є. Ф. ФЕДОРОВ ПРУЖНО-ФРИКЦІЙНИЙ КОВЗУН ДЛЯ ВІЗКА ВАНТАЖНОГО ВАГОНА	117
---	-----

В. В. МЯМЛІН ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ РІЗНИХ СТРУКТУРНИХ ВАРІАНТІВ ГНУЧКИХ ПОТОКІВ ДЛЯ РЕМОНТУ ВАГОНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	124
---	-----

С. В. МЯМЛІН, О. О. ТЕН, Л. О. НЕДУЖА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ЯКОСТЕЙ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ІЗ ВІЗКАМИ РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЙ	136
--	-----

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

А. В. РАДКЕВИЧ, І. А. АРУТЮНЯН ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МАТЕРІАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВНИЦТВА.....	146
--	-----

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

Н. В. МАРЧЕНКО МЕХАНІЗМ ЦИВІЛЬНО-ПРАВОВОГО ЗАХИСТУ ПРАВ ПАТЕНТОВЛАСНИКА НА ОСНОВІ ФОРМУЛИ ВИНАХОДУ	160
---	-----

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

А. М. БЕЗНАРЫТНЫЙ, В. И. ГАВРИЛЮК, И. О. РОМАНЦЕВ, В. И. ЩЕКА ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ОБРАТНОЙ ТЯГОВОЙ СЕТИ С УСТРОЙСТВАМИ СИГНАЛИЗАЦИИ, ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ И БЛОКИРОВКИ.....	7
---	---

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Л. В. МАРЦЕНЮК ОРГАНИЗАЦИЯ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК В УКРАИНЕ В УСЛОВИЯХ РЕФОРМИРОВАНИЯ.....	15
--	----

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА

М. И. МУЗЫКИН, Г. И. НЕСТЕРЕНКО ВЛИЯНИЕ «ОКОН» НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО НАПРАВЛЕНИЯ.....	24
--	----

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

А. Ю. БАЛИЙЧУК, Л. В. ДУБИНЕЦ, А. Н. ДУХНОВСКИЙ, О. А. МАРЕНИЧ, О. Л. МАРЕНИЧ ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ПИТАЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НАГРЕВАНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАШИН ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....	34
---	----

Ю. С. БОНДАРЕНКО ПРЕДПОСЫЛКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В СТРУКТУРЕ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	42
--	----

А. В. НИКИТЕНКО, Н. А. КОСТИН ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ И КОРРЕЛЯЦИОННО-СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗЫ ТОКА РЕКУПЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	51
--	----

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

И. О. ВАКУЛЕНКО, О. Н. ПЕРКОВ, М. КНАПИНСКИ, М. БОЛОТОВА ОЦЕНКА НЕОБРАТИМОЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ПРИ УСТАЛОСТИ УГЛЕРОДНОЙ СТАЛИ.....	65
--	----

Н. Е. КАЛИНИНА, С. И. МАМЧУР, Е. А. МУСИНА, М. В. ГРЕКОВА, Т. К. ЛОПАТКИНА ВЫБОР МАТЕРИАЛА И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК6.....	75
---	----

А. Е. КАПУСТЯН, А. В. ОВЧИННИКОВ, И. А. ВАКУЛЕНКО ПОЛУЧЕНИЕ СВАРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СПЕЧЕННЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ.....	84
---	----

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТА И ЭКОНОМИКИ

А. А. БОСОВ, П. А. ЛОЗА ПРОИЗВОДНАЯ ФУНКЦИИ МНОЖЕСТВА ПО МЕРЕ И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ (ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ЗАДАЧ).....	92
---	----

А. В. ГАЙДАКА МОДЕЛИ КИНЕМАТИКИ И ДИНАМИКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РОЛИКОПОДШИПНИКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА.....	100
---	-----

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ВИДЫ ТРАНСПОРТА

Ю. К. ГОРЯЧЕВ, А. С. КУРОПЯТНИК, М. Р. ИЗМАЙЛОВ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗЕРВОВ ЭНЕРГИИ ПРИВОДОВ ПОДВЕСНЫХ КАНАТНЫХ ДОРОГ С УЧЕТОМ ДИАГРАММ ОКРУЖНЫХ УСИЛИЙ.....	109
---	-----

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ТЯГА ПОЕЗДОВ

Г. ВАЙЧУНАС, С. В. МЯМЛИН, А. А. БОСОВ, В. Я. ПАНАСЕНКО, И. В. КЛИМЕНКО, Е. Ф. ФЕДОРОВ УПРУГО-ФРИКЦИОННЫЙ СКОЛЬЗУН ДЛЯ ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА.....	117
--	-----

В. В. МЯМЛИН ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУРНЫХ ВАРИАНТОВ ГИБКИХ ПОТОКОВ ДЛЯ РЕМОНТА ВАГОНОВ ПРИ ПОМОЩИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	124
--	-----

С. В. МЯМЛИН, А. А. ТЕН, Л. А. НЕДУЖАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ С ТЕЛЕЖКАМИ РАЗНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	136
---	-----

ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

А. В. РАДКЕВИЧ, И. А. АРУТЮНЯН ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МАТЕРИАЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА	146
--	-----

РАЗВИТИЕ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

Н. В. МАРЧЕНКО МЕХАНИЗМ ГРАЖДАНСКО-ПРАВОВОЙ ЗАЩИТЫ ПРАВ ПАТЕНТОВЛАДЕЛЬЦА НА ОСНОВАНИИ ФОРМУЛЫ ИЗОБРЕТЕНИЯ	160
--	-----

CONTENTS

TRANSPORT AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

A. M. BEZNARITNYI, V. I. GAVRILYUK, I. O. ROMANTSIEV, V. I. SHCHYEKA

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY RESEARCH OF RETURN TRACTION NETWORK WITH SIGNALING DEVICES, CENTRALIZATION AND BLOCKING7

ECONOMICS AND MANAGEMENT

L. V. MARTSENYUK

ORGANIZATION OF FREIGHT TRANSPORTATION IN UKRAINE IN THE REFORMATION CONDITIONS 15

OPERATION AND REPAIR OF TRANSPORT MEANS

M. I. MUZYKIN, G. I. NESTERENKO

INFLUENCE OF MAINTENANCE WINDOWS ON THE WORKING CAPACITY OF RAILWAY ROUTE24

ELECTRIC TRANSPORT

O. YU. BALICHUK, L. V. DUBYNETS, O. M. DUKHNOVSKIY, O. O. MARENYCH, O. L. MARENYCH

INFLUENCE OF FEEDING ELECTRIC ENERGY QUALITY ON HEATING OF THE AUXILIARY MACHINES OF AC ELECTRIC ROLLING STOCK34

YU. S. BONDARENKO

BACKGROUNDS OF EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ELECTROMAGNETIC

COMPATIBILITY OF TRACTION ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVES

IN THE STRUCTURE OF DC TRACTION POWER SUPPLY SYSTEM42

A. V. NIKITENKO, M. O. KOSTIN

STATISTIC, PROBABILISTIC, CORRELATION AND SPECTRAL ANALYSES OF REGENERATIVE

BRAKING CURRENT OF DC ELECTRIC ROLLING STOCK.....51

MATERIAL SCIENCE

I. O. VAKULENKO, O. N. PERKOV, M. KNAPINSKI, D. M. BOLOTOVA

ESTIMATION OF IRREVERSIBLE DAMAGEABILITY AT FATIGUE OF CARBON STEEL65

N. YE. KALININA, S. I. MAMCHUR, K. O. MUSINA, M. V. HREKOVA, T. K. LOPATKINA

THE MATERIAL CHOICE AND BLANKS OPERATION TECHNOLOGY OF AK6 ALUMINIUM ALLOY75

A. YE. KAPUSTYAN, A. V. OVCHINNIKOV, I. A. VAKULENKO

PRODUCTION OF WELDMENTS FROM SINTERED TITANIUM ALLOYS84

TRANSPORT AND ECONOMIC TASKS MODELING

A. A. BOSOV, P. A. LOZA

DERIVATIVE OF SET MEASURE FUNCTIONS AND ITS APPLICATION (THEORETICAL BASES

OF INVESTMENT OBJECTIVES).....92

A. V. GAYDAMAKA

KINEMATICS AND DYNAMICS MODELS OF CYLINDRICAL ROLLER BEARING

OF RAILWAY TRANSPORT100

NON-TRADITIONAL TRANSPORT MODES

YU. K. GORYACHEV, A. S. KUROPYATNIK, M. R. IZMAYLOV

POSSIBILITY RESEARCH OF THE USE OF ENERGY RESERVE OF AERIAL ROPEWAY DRIVES

TAKING INTO ACCOUNT THE TWISTING FORCES DIAGRAMS 109

ROLLING STOCK AND TRAIN TRACTION

G. VAICIUNAS, S. V. MYAMLIN, A. A. BOSOV, V. YA. PANASENKO, I. V. KLIMENKO, YE. F. FEDOROV

ELASTIC-FRICTION SIDE BEARER FOR FREIGHT CAR BOGIE117

V. V. MYAMLIN

OPERATION STUDY OF DIFFERENT STRUCTURAL OPTIONS OF FLEXIBLE FLOWS FOR CAR

REPAIR USING SIMULATION MODELING124

S. V. MYAMLIN, O. O. TEN, L. O. NEDUZHA EXPERIMENTAL RESEARCH OF DYNAMIC QUALITIES OF FREIGHT CARS WITH BOGIES OF DIFFERENT DESIGNS.....	136
---	-----

TRANSPORT CONSTRUCTION

A. V. RADKEVICH, I. A. ARUTYUNYAN SYSTEM ORGANIZATION OF MATERIAL PROVIDING OF BUILDING.....	146
--	-----

HIGH SCHOOL DEVELOPMENT

N. V. MARCHENKO CIVIL PROTECTION MECHANISM OF THE ASSIGNEE RIGHTS BASED ON THE PATENT CLAIM	160
---	-----

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, пристатейних списків літератури в романському алфавіті тощо.

Рекомендуємо скористатися правилами до оформлення статей журналу: <http://library.diit.edu.ua/HTMLs/scientists/Vumogu/Vumogu.pdf>.

Для здачі статті до друку автору/авторам необхідно:

1. Для електронної інформації сформувані 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.,
(056) 373 15 71 Миргородська А. І.**



Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна веде підготовку докторантів та аспірантів за рахунок коштів Державного бюджету України – за державним замовленням – за такими спеціальностями:

ДОКТОРАНТУРА

№	Спеціальність	Шифр
1	Теоретичні основи інформатики та кібернетики	01.05.01
2	Управління проектами і програмами	05.13.22
3	Залізнична колія	05.22.06
4	Рухомий склад залізниць і тяга поїздів	05.22.07
5	Електротранспорт	05.22.09
6	Експлуатація та ремонт засобів транспорту	05.22.20
7	Будівельні конструкції, будівлі та споруди	05.23.01
8	Будівельні матеріали та вироби	05.23.05

На підставі угод, що укладаються з докторантом і керівником вищого навчального закладу, до докторантури приймаються громадяни України, кандидати наук, що мають наукові досягнення в обраній галузі.

Строк навчання 3 роки.

Вступники до докторантури подають:

- заяву на ім'я ректора,
- копію першої сторінки паспорта,
- особистий листок з обліку кадрів з фотокарткою, який засвідчено відділом кадрів за місцем основної роботи,
- витяг з трудової книжки,
- довідку з бухгалтерії про заробітну платню,
- засвідчену копію диплома про закінчення вищого навчального закладу із зазначенням одержаної кваліфікації спеціаліста,
- копію диплома кандидата наук,
- копію атестата доцента, с.н.с. за їх наявності,
- розгорнутий план докторської дисертації,
- список опублікованих наукових праць та винаходів,
- медичну довідку про стан здоров'я за формою № 286-у,
- ідентифікаційний код,
- одну фотокартку розміром 3х4.

АСПІРАНТУРА

№	Спеціальність	Шифр
1	Фізика твердого тіла	01.04.07
2	Теоретичні основи інформатики та кібернетики	01.05.01
3	Математичне моделювання та обчислювальні методи	01.05.02
4	Неорганічна хімія	02.00.01
5	Управління проектами і програмами	05.13.22
6	Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика	05.14.06
7	Залізнична колія	05.22.06
8	Рухомий склад залізниць і тяга поїздів	05.22.07
9	Електротранспорт	05.22.09
10	Експлуатація та ремонт засобів транспорту	05.22.20
11	Основи і фундаменти	05.23.02
12	Будівельні конструкції, будівлі та споруди	05.23.01
13	Будівельні матеріали та вироби	05.23.05
14	Технологія та організація промислового та цивільного будівництва	05.23.08
15	Економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності)	08.00.04
16	Історія філософії	09.00.05
17	Екологічна безпека	21.06.01

На підставі угод, що укладаються з аспірантом і керівником вищого навчального закладу, до аспірантури приймаються громадяни України, які мають вищу освіту і кваліфікацію спеціаліста.

Строк навчання в аспірантурі з відривом від виробництва – 3 роки, без відриву від виробництва – 4 роки.

Особи, допущені до вступних іспитів у аспірантуру, складають три іспити за програмою вищого навчального закладу:

- спеціальну дисципліну,
- філософію,
- іноземну мову.

За консультаціями звертатися на відповідні кафедри університету.

Особи, що вступають до аспірантури, подають:

- заяву на ім'я ректора,
- письмовий висновок передбачуваного наукового керівника про можливість навчання в аспірантурі,
- рекомендацію вченої ради вищого навчального закладу до вступу в аспірантуру (для випускників поточного року),
- копію першої сторінки паспорта,
- особистий листок з обліку кадрів з фотокарткою, який засвідчено відділом кадрів за місцем основної роботи,
- витяг з трудової книжки,
- довідку про заробітну платню,
- засвідчену копію диплома про закінчення вищого навчального закладу,
- посвідчення про складання кандидатських іспитів (за їх наявності),
- список опублікованих наукових праць та винаходів або реферат з обраної наукової спеціальності з рецензією передбачуваного наукового керівника,
- медичну довідку про стан здоров'я за формою № 286-у,
- ідентифікаційний код,
- одну фотокартку розміром 3×4.

Прийом документів до докторантури та аспірантури з 01.09 по 30.09 щорічно.

Вступні іспити до аспірантури з 10.10 по 30.10 щорічно.

Початок занять з 01.12 щорічно.

За інформацією звертатися:

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту,
вул. Лазаряна, 2,
м. Дніпропетровськ,
Україна,
49010.

Тел. : (056) 373-15-44 – ректор, проф. Пшінько Олександр Миколайович, приймальня;
(056) 373-15-29 – проректор з наукової роботи, проф. Мямлін Сергій Віталійович;
(056) 373-15-63 – завідувача аспірантурою та докторантурою Лахнова Ірина Анатоліївна, кімн. 320).

Інформація про спеціалізовані вчені ради університету

В університеті працює три спеціалізовані вчені ради із захисту докторських та кандидатських дисертацій за спеціальностями:

- Д 08.820.01 – залізнична колія (05.22.06) та електротранспорт (05.22.09); 05.22.12 – промисловий транспорт.
- Д08.820.02 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів (05.22.07) і експлуатація та ремонт засобів транспорту (05.22.20); транспортні системи (05.22.01);
- К08.820.03 – економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності).

Для н о т а т о к

Наукове видання

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

№ 3 (51) 2014

(українською, російською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск – Т. О. Колесникова

Комп'ютерне верстання – Ю. С. Марков

Літературна обробка – О. М. Врублевська

Формат 60×84¹/₈. Ум. друк. арк. 21,39. Тираж 300 пр. Зам. № 730.

**Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

Адреса редакції, видавця:

вул. Лазаряна, 2, кім. 267, м. Дніпропетровськ, 49010, Україна

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diiit.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)**

№ 3 (51) 2014

(на украинском, русском и английском языках)

Ответственный за выпуск – Т. А. Колесникова

Компьютерная верстка – Ю. С. Марков

Литературная обработка – О. М. Врублевская

Формат 60×84¹/₈. Ус. печат. лист. 21,39. Тираж 300 экз. Зак. № 730.

**Издательство Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна**

Адрес редакции, издателя:

ул. Лазаряна, 2, ком. 267, г. Днепропетровск, 49010, Украина

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diiit.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. VISNIK DNIPROPETROVS'KOGO NACIIONAL'NOGO
UNIVERSITETU ZALIZNICHNOGO TRANSPORTU**

**(SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS. BULLETIN OF DNIPROPETROVSK NATIONAL
UNIVERSITY OF RAILWAY TRANSPORT NAMED AFTER ACADEMICIAN V. LAZARYAN)**

No. 3 (51) 2014

(in Ukrainian, Russian and English languages)

Responsible for issue – Т. О. Kolesnykova

Computer makeup – Yu. S. Markov

Redaction – О. М. Vrublevska

Format 60×84¹/₈. Conventional printed sheet 21,39. Circulation 300. Order no. 730.

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

Address of editor and editorial office

Lazaryan St., 2, r. 267, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diiit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Address of small offset printing office

Lazaryan St., 2, r. 1201, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

Тел.: +38 (056) 47-19-66, *Fax:* +38 (056) 47-19-83



СУЧАСНІ ЗАКЛАДИ ОСВІТИ - 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. Каїт

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



9 772307 348000