



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



НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

2(56)

.. 2015 ..

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

Науковий журнал

№ 2 (56) 2015

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. Машини та механізми
Промисловий транспорт
Рухомий склад залізниць і тяга поїздів
Транспортне будівництво
Розвиток вищої школи

Дніпропетровськ

2015

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):

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., Власова Т. І., Волкова В. Є., Габринєць В. О., Гаврилук В. І., Гетьман Г. К., Главацький К. Ц., Гненний О. М., Головкова Л. С., Гончаров К. В., Горобець В. Л., Доценко О. М., Дудкіна В. В., Ейтутіс Г. Д., Жуковицький І. В., Заблудовський В. О., Казакевич М. І., Капіца М. І., 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., Полішко Т. В., Радкевич А. В., Радченко М. О., Ракша С. 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. (Інститут залізничного транспорту, Варшава, Республіка Польща); Вайчунас Г. (Вільнюський технічний університет ім. Гедімінаса, Литва); Васяк І. (Інститут електроенергетики Лодзинської політехніки, Республіка Польща); Гусєв Б. В. (Московський державний університет шляхів сполучення, Російська Федерація); Долежел І. (Університет Західної Богемії, Чеська Республіка); Зіммер К. (Інститут Електротехніки Варшавської політехніки, Республіка Польща); Куанишев Б. М. (Казахська академія транспорту і комунікацій, Республіка Казахстан); Лінгайтис В. Л. (Вільнюський технічний університет ім. Гедімінаса, Литва); Манашкін Л. А. («ALGAE ENERGY SOLUTION, LLC», США); Сладковські А. (Сілезька політехніка, Республіка Польща); Стржеелецькі Р. (Гданська морська академія, Республіка Польща); Тітова Т. С. (Петербурзький державний університет шляхів сполучення Імператора Олександра І, Російська Федерація); Худзікевич А. (Варшавський політехнічний університет, Республіка Польща); Шелонг Адам (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 наказом Міністерства освіти і науки України 29.12.2014 р. № 1528 (технічні 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 30.03.2015 р., протокол № 8

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

Видання публікується з 1936 р.:

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

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

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

(НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА)

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

Научный журнал

№ 2 (56) 2015

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. Машины и механизмы
Промышленный транспорт
Подвижной состав железных дорог и тяга поездов
Транспортное строительство
Развитие высшей школы

Днепропетровск

2015

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):

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., Власова Т. И., Волкова В. Е., Габринец В. А., Гаврилюк В. И., Гетьман Г. К., Главацкий К. Ц., Гненний О. Н., Головова Л. С., Гончаров К. В., Горобец В. Л., Доценко Е. Н., Дудкина В. В., Жуковичский И. В., Заблудовский В. А., Казакевич М. И., Капица М. И., Копытко 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., Полишко Т. В., Радкевич А. В., Радченко Н. А., Ракша С. В., Скалзуб В. В., Снежко Л. А., Урсуляк Л. В., Штапенко Э. Ф., Эйтулис Г. Д., Яришкина Л. А.

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Анисимов П. С. (Московский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация); Бялонь А. (Институт железнодорожного транспорта, Варшава, Республика Польша); Вайчунас Г. (Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литва); Васяк И. (Институт электроэнергетики Лодзинской политехники, Республика Польша); Гусев Б. В. (Московский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация); Долежел И. (Университет Западной Богемии, Чешская Республика); Зиммер К. (Институт Электротехники Варшавской политехники, Республика Польша); Куанышев Б. М. (Казахская академия транспорта и коммуникаций, Республика Казахстан); Лингайтис В. Л. (Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литва); Манашкин Л. А. («ALGAE ENERGY SOLUTION, LLC», США); Сладковски А. (Силезская политехника, Республика Польша); Стржеleckи Р. (Гданьская морская академия, Республика Польша); Титова Т. С. (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация); Худзкевич А. (Варшавский политехнический университет, Республика Польша); Шелонг Адам (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
приказом Министерства образования и науки Украины 29.12.2014 г. № 1528
(технические 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 30.03.2015 г., протокол № 8

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

No. 2 (56) 2015

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. Machines and Mechanisms
Industrial Transport
Rolling Stock and Train Traction
Transport Construction
High School Development

Dnipropetrovsk

2015

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., Bannikov D. O., Barash Yu. S., Biliaiev M. M., Bobrovskiy V. I., Bobyr D. V., Bodnar B. J., Bosov A. A., Crivchick G. G., Dotsenko O. M., Dudkina V. V., Eitutis H. D., Gabrync V. A., Gavrilyuk V. I., Getman G. K., Glavatskiy K. Ts., Hnennyi O. M., Golovkova L. S., Goncharov K. V., Gorobets V. L., Kapitsa M. I., Kazakevich M. I., Kopytko V. I., Kostin M. O., 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., Polishko T. V., Radchenko N. A., Radkevych A. V., Raksha S. V., Shtapenko E. P., Skalozub V. V., Snizhko L. O., Ursulyak L. V., Vakulenko I. O., Vlasova T. I., Volkova V. Ye., Yarishkina L. O., Zabludovskiy V. O., Zhukovytsky I. V.

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

Anisimov P. (Moscow State University of Railway Engineering, Russian Federation); Bialon A. (Railway Institute, Warszawa, Republic of Poland); Chudzikiewicz A. (Transport Warsaw University of Technology, Republic of Poland); Dolezel I. (The University of West Bohemia, Czech Republic); Gusev B. (Moscow State University of Railway Engineering, Russian Federation); Kuanyshov B. M. (Kazakh Academy of Transport and Communications, Republic of Kazakhstan); Lingaitis V. L. (Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania); Manashkin L. («ALGAE ENERGY SOLUTION, LLC», USA); Sladkowski A. (Silesian University of Technology, Republic of Poland); Strzelecki R. (Gdynia Maritime Academy, Republic of Poland); Szelag Adam (Warsaw University of Technology, Republic of Poland); Titova T. S. (Petersburg State Transport University, Russian Federation); Vaiciunas G. (Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania); Wasiak I. (Institute of Electrical Power Engineering, Republic of Poland); Zymmer 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 Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine 29.12.2014 r. no. 1528 (technical 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 30.03.2015, Protocol № 8

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

Address of Founder Lazaryan St., 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»

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

УДК [001:378:656.2»XX-XXI»(477.63)]

С. В. МЯМЛИН¹, И. В. АГИЕНКО^{2*}

¹Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 776 84 98, эл. почта sergeymyamin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

^{2*}Каф. «Учет, аудит и интеллектуальная собственность», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (050) 48 85 614, эл. почта iva1407iva@ukr.net, ORCID 0000-0001-6935-5510

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ НАУЧНОГО ПОТЕНЦИАЛА ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА В. ЛАЗАРЯНА

Цель. Исследование предполагает анализ этапов, форм и методов формирования научного потенциала Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (ДНУЖТ) и вклада его коллектива в развитие отечественной и мировой науки. **Методика.** Применение историко-хронологических, сравнительных, описательных методов исследования, систематизация архивных документов позволяет выявить формы и средства формирования научного потенциала ДНУЖТ на протяжении 85 лет его существования. Применение метода периодизации дает возможность выделить основные этапы и особенности этого процесса. Используются методы анализа и синтеза, а также методы экспертных оценок. **Результаты.** На основе детального анализа значительного массива архивных документов выделены основные этапы формирования научного потенциала ДНУЖТ за 85 лет его деятельности, определены их особенности с учетом исторических и социальных условий, а также вклад поколений профессорско-преподавательского состава (и отдельных представителей) в этот процесс. Проанализированы формы и методы сохранения преемственности научных кадров и результативности их исследований в рамках научных школ, которые сформировались в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта (ДИИТе), и до настоящего времени играют значительную роль в укреплении авторитета ДНУЖТ как ведущего отечественного высшего учебного заведения и головной научной организации в области железнодорожного транспорта и транспортного строительства. Проанализированы основные этапы процесса становления высшего учебного заведения, начиная от специализированного отраслевого института до политехнического исследовательского университета с современной научной базой для проведения теоретических и экспериментальных исследований. **Научная новизна.** В контексте исследования проблем реформирования системы высшего образования как одной из сфер генерирования и трансляции научных знаний анализ формирования научного потенциала одного из крупнейших отечественных вузов является актуальным, поскольку генезис системы западноевропейского высшего образования имеет другие временные и пространственные рамки, а главное – совершенно иную структурную единицу – классический университет. Впервые на основе периодизации выделены формы и методы формирования научного потенциала отраслевого университета, выявлена их уникальность с точки зрения сложившихся исторических условий, проанализирован процесс формирования научных школ как важной составляющей развития отечественной науки. На основе анализа архивных документов доказано, что во все периоды истории высшего учебного заведения важной

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

детерминантой повышения его научного потенциала и достижения высокой эффективности работы является связь университета с производством, а именно – с проблемами и перспективами развития железнодорожного транспорта. **Практическая значимость.** Результаты данного исследования могут быть использованы при создании историографических трудов и учебных пособий по проблемам высшего образования; исследовании вопросов становления и развития отечественных научных школ, традиций университетской науки Украины, в курсе лекций по дисциплинам «История развития железнодорожного транспорта», «Введение в специальность», «Методология инженерной деятельности».

Ключевые слова: научный потенциал; Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна; научные школы; железнодорожный транспорт; инженерные кадры; профессорско-преподавательский коллектив; научные исследования; научное сопровождение развития железнодорожной отрасли

Введение

Особенность Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (известного больше под исторически закрепленным названием «ДИИТ», которое получило статус бренда [14] в сфере отечественного высшего образования) в том, что большинство его научных исследований имеют практический выход на потребности железнодорожной отрасли. Этот факт исторически обоснован, так как Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта создавался в 1930 году как отраслевой вуз в системе Наркомата путей сообщения Советского Союза. Его история как крупного высшего учебного заведения уникальна, поскольку, начиная с факта его создания до реалий сегодняшнего существования, трудно найти аналоги [18, 21, 22].

Цель

Анализ этапов, форм и методов формирования научного потенциала Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна и вклада его коллектива в развитие отечественной и мировой науки.

Методика

Применение историко-хронологических, сравнительных, описательных методов исследования, систематизация и анализ архивных документов позволяет выявить формы и средства формирования научного потенциала Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна на протяжении 85 лет его суще-

ствования. Применение метода периодизации дает возможность выделить основные этапы и особенности этого процесса.

Результаты

Процесс индустриализации, развернувшийся в 30-х годах XX столетия на огромной территории Советского Союза под лозунгами построения основ социалистического хозяйства, потребовал решения прежде всего кадровой проблемы, которая имела две составляющие: подготовка высококвалифицированных практиков – руководителей производства и создание научно-исследовательских коллективов, которые бы выполняли научное сопровождение развития основных отраслей экономики страны. Решение этой проблемы было возможно только при условии создания в масштабах страны сети высших учебных заведений технического профиля [13].

Ярким примером настоящего сражения за создание такого вуза является судьба становления ДИИТа.

Первый этап (1930–1941 гг.) Днепропетровск – крупный промышленный центр и ключевой для юго-востока страны транспортный узел рассматривался как база для создания целого ряда институтов (высших учебных заведений для подготовки инженерных кадров), и эта идея активно поддерживалась на уровне республиканского руководства – Совета Народных Комиссаров УССР (СНК УССР).

Единственная отрасль, которая никогда в советские времена не имела республиканского министерства – железнодорожная, поэтому от союзного ведомства, а именно от Народного комиссариата путей сообщения (НКПС) зависело финансирование нового отраслевого института. Здесь первоначально не поддержали

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

идею создания ДИИТа. Но со временем сыграли роль несколько факторов: наличие в Днепропетровске техникума системы НКПС, где сформировалась инициативная группа во главе с директором Никандром Михайловичем Федиченко (он и стал первым руководителем ДИИТа), активная поддержка инициативы руководством Екатерининской (впоследствии Сталинской, а ныне Приднепровской) железной дороги, политическая воля на уровне СНК УССР.

В итоге в июне 1930 года судьба нового отраслевого вуза на всех уровнях была решена, и на выделенных в пригороде Днепропетровска 25 гектарах развернулось строительство корпусов Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта.

Н. М. Федиченко обладал огромными организаторскими способностями и политической интуицией. Он понял, что ключевые составляющие деятельности высшего учебного заведения – это преподавательский состав и мощная база для его педагогической, а также научной деятельности. Во главе с ним первые диитовцы из числа принятых студентов и преподавателей совершили почти невозможное – за несколько лет построили первые корпуса будущего городка ДИИТа.

В приказе № 140 НКПС от 4 ноября 1932 года отмечалось: «За два года работы дирекция института, вместе со студенчеством и профессорско-преподавательским составом... добились больших успехов. Контингент студентов вырос до 8 062 чел., преподавательский состав с 30 чел. до 174 чел., более 6 000 железнодорожников обучаются заочно. Создана очень хорошая библиотека в 130 тыс. томов. Приобретено оборудование для лабораторий на 860 тыс. руб. За 17 месяцев работы закончено строительство объемом в 184 тыс. м³, общей стоимостью в 7 млн рублей. Строительство в основном до ноября 1932 г. закончено благодаря большому энтузиазму и энергии строительных рабочих, студенчества и дирекции».

В контексте ретроспективного анализа формирования научного потенциала ДИИТа особое значение имеют методы создания его лабораторной базы и профессорско-преподавательского состава, поскольку опыт уже существовавших в дореволюционный период вузов

технического профиля [8] не мог быть применен в новых исторических условиях.

Еще в первый год существования ДИИТа руководство института во главе с Н. М. Федиченко добилось издания приказа НКПС о выделении железными дорогами, путеремонтными, вагоноремонтными заводами, депо, железнодорожными мастерскими Украины части своего оборудования институту. Некоторые виды оборудования студенты и преподаватели создали сами, в собственных мастерских и на тех предприятиях, с которыми ДИИТ был связан. Много было приобретено за счет значительных отраслевых средств НКПС, выделенных ДИИТу для создания учебно-лабораторной базы.

Помогали и коллеги из других вузов. Так, например, из Киевского политехнического института по инициативе Евгения Оскаровича Патона ДИИТу был передан музей мостов, имевший в своем составе уникальные экспонаты. Из Киева был также доставлен и установлен на территории института фрагмент мостового пролета, служивший для учебных целей и использовавшийся в научных разработках.

По воспоминаниям первых преподавателей ДИИТа, в институте успешно пережили так называемый «меловой период», когда необходимые чертежи и схемы изображались с помощью мела на доске, и сумели создать сеть специализированных учебных и научных лабораторий.

На момент создания института в его штат было зачислено всего 30 преподавателей, в июне 1930 года их количество увеличилось до 51, в октябре – до 75 человек. В последующие годы, в связи с увеличением контингента студентов, продолжался и быстрый количественный и качественный рост профессорско-преподавательского состава. В сентябре 1931 года в институте работало 129, а в сентябре 1932 года – уже 209 преподавателей.

В течение 1930–1933 годов научно-педагогический состав института комплектовался, главным образом, из числа преподавателей техникума путей сообщения и работников управления Екатерининской ж.д. На работу в ДИИТ также перешла часть преподавателей Киевского института инженеров путей сообщения. Для чтения циклов лекций приглашались ведущие специалисты из Москвы и Ленинграда

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

(Н. И. Белоконь, В. Е. Розенфельд и др.), из других вузов Днепропетровска (например, горного института).

С целью подготовки научных кадров из числа выпускников и перспективных преподавателей института в ДИИТе были организованы специальные аспирантские курсы, которые начали работу в январе 1931 года. На курсы было зачислено 34 человека, в том числе Н. М. Федиченко (директор института), Я. К. Дворкин, А. А. Кукибный, В. М. Мещеряков, Г. М. Моченый и другие.

В марте 1933 года число слушателей аспирантских курсов возросло до 60 человек, среди них были Э. З. Воскобойник, А. Г. Гальченко, А. М. Дзюра, И. М. Коротеев, Д. Б. Ломазов, А. С. Маленкин, З. Б. Рудяков, А. А. Харитонов. Курсами заведовал и одновременно был их слушателем В. Н. Тверитин.

Молодые преподаватели – ровесники первых выпускников ДИИТа – вместе со своими вчерашними коллегами-студентами стали опорой коллектива в нелегкие тридцатые годы, когда процесс получения и передачи знаний был неразрывно соединен с исследовательскими работами, имевшими выход на научные результаты.

В октябре 1933 года для оказания конкретной помощи Екатерининской железной дороге было направлено 12 аспирантов ДИИТа. Дипломники строительного факультета выполняли проектные работы по заданию железной дороги, а студенты IV курса механического факультета помогали «выводить из прорыва» Нижнеднепровский ж.д. узел. В 1935 году 57 студентов строительного факультета под руководством преподавателей произвели съемку профиля и плана участка ст. Мысовая – ст. Карымская протяженностью 841 км.

И здесь особую роль играл высокий профессионализм профессорско-преподавательского состава, который значительно пополнился за эти годы. В 1934–1940 годах на работу в ДИИТ были направлены А. Ф. Гоголев, И. Ф. Исаков, Г. Т. Литвинов, А. И. Нестеров, И. Я. Рышковский, М. А. Фришман, Г. А. Чумаченко, Г. И. Юдин, Н. Р. Ющенко, которые окончили аспирантуру Ленинградского, Московского и Киевского отраслевых вузов.

В этот же период защитили кандидатские диссертации 20 сотрудников института, в том числе Н. И. Воронков, Э. З. Воскобойник, А. Г. Гальченко, И. Ф. Исаков, И. М. Коротеев, А. А. Кукибный, Д. Б. Ломазов, В. Н. Ляховский, З. Б. Рудяков, В. Н. Тверитин и другие.

Коллектив ДИИТа довольно быстро рос количественно и качественно, о чем свидетельствуют такие данные:

Таблица 1

Количественный и качественный состав преподавателей ДИИТа в конце 30-х годов XX века

Учебный год	Кол-во профессоров	Кол-во доцентов	Из них кандидатов Наук	Всего преподавателей
1937/38	3	17	7	144
1938/39	6	34	26	178
1939/40	8	56	42	223

В предвоенный период в ДИИТе работали выдающиеся ученые-транспортники: профессор М. В. Винокуров (кафедра вагонов), А. С. Локшин (кафедра строительной механики), И. Е. Огиевецкий (кафедра высшей математики) и др.

Выпускники ДИИТа тех лет с уважением и благодарностью вспоминают имена преподавателей – известных ученых, специалистов железнодорожной отрасли: Николая Иовича Белоконя, Петра Михайловича Супруненко, Виталия Евгеньевича Розенфельда, а также профессоров И. Г. Красовского, И. Л. Антоконенко, Н. Н. Малова, доцентов Е. А. Клеха, П. И. Кочугова, Ф. Ф. Малькевича, А. Л. Бродовского и других. Стиль преподавания в ДИИТе отличали связь с отраслевой проблематикой, использование в учебном процессе последних научных разработок, практика привлечения студентов к выполнению реальных производственных заданий.

Реальное проектирование было обязательным элементом учебного процесса практически на всех факультетах уже с первых лет существования института (согласно приказу по ДИИТу № 73 от 22 апреля 1932 г.).

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

Например, диитовская многотиражка «За якість кадрів» писала в одном из июньских выпусков 1933 года о студентах строительного факультета Романенко и Васильченко, которые сделали проект сборки подъемной фермы днепропетровского железнодорожного моста. Проект был принят и утвержден Управлением Екатерининской железной дороги.

Та же газета через несколько месяцев пишет об успехах студентов-механиков, работавших в железнодорожных мастерских. В сентябреноябре 1933 года бригада студентов паровозного факультета в количестве 40 человек отремонтировала два американских паровоза в депо Узел.

Славу ДИИТа приумножали и успешные исследования ряда научно-исследовательских подразделений и учебных лабораторий. Один их неполный перечень может служить подтверждением масштабы проводимых работ. Среди наиболее оснащенных и известных результативностью исследований документы тех лет упоминают такие лаборатории, как мостоиспытательная, строительной механики, электрических машин, аэродинамическая, двигателей внутреннего сгорания, геодезическая, автотормозная, автосцепки, сварки, металлографическая, сигнализации, централизации и блокировки, переменных токов и электроизмерений, высоких напряжений (до 320 тысяч вольт), аппаратуры электрических станций и подстанций, электропривода, электросетей и линий, паровых котлов, теплоизмерительных приборов, общей теплотехники, топлива, воды и смазки, строительных материалов и др.

Силами кафедры паровозов был сконструирован и изготовлен динамометрический вагон-лаборатория для испытания локомотивов. Идея о нем принадлежала начальнику института Н. М. Федиченко. Много сил и времени отдал его созданию доцент В. Н. Тверитин и лаборант К. К. Ясевич. На то время этот вагон был одним из самых оснащенных в стране, с его помощью можно было измерять тяговые усилия до 100 т в составе поезда. В нем было установлено новейшее оборудование, которое могло быть использовано для испытаний различных типов локомотивов, в том числе тепловозов и электровозов.

Проектным бюро института были проведены экспертизы проектов депо Долгинцево, зданий подстанций электрифицированных участков Екатерининской железной дороги, выполнены проекты организации экскаваторных работ, реконструкции цехов путеремонтных (ПРЗ) и вагоноремонтных (ВРЗ) заводов.

В архивах ДИИТа сохранился альбом уникальных чертежей «Проектного задания достройки учебного корпуса Днепропетровского института инженеров транспорта», выполненных «проектной группой НКПС-ДИИТ г. Днепропетровска». Они были сделаны в 1939 году при подготовке к празднованию первого десятилетия существования ДИИТа.

В июне 1940 года Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта отметил свой первый юбилей. К этой дате была выпущена брошюра о ДИИТе. Вот как описан в ней диитовский городок: «В ДИИТе 24 лаборатории, 27 кабинетов, где собрано все лучшее и новое, что есть в транспортной технике. <...> В отдельном блоке учебного корпуса находится огромная библиотека, имеющая на своих полках 250 тысяч томов учебной, научной и художественной литературы; при библиотеке просторный, хорошо оборудованный читальный зал».

В последнем предвоенном (1940/41) учебном году профессорско-преподавательский состав насчитывал 180 человек, 35 (27,3 %) из них были выпускниками ДИИТа.

За десятилетний срок своего существования ДИИТ внес заметный вклад в транспортную науку, превратился в крупный научный центр железнодорожной отрасли.

За этот период было проведено семь научно-технических конференций, на которых сделано свыше 300 докладов, издано тринадцать сборников научных трудов ДИИТа. Среди печатных трудов, получивших наибольшую известность, – работы профессора В. А. Лазаряна «О динамических усилиях, возникающих в упряжных приборах поезда при различном характере движения поезда» [1], профессора М. В. Винокурова «Колебания вагонов» и «Динамика паровозов» [13], а также ряд фундаментальных трудов профессора И. Е. Огиевского в области математики [13].

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

В довоенное десятилетие сотрудниками ДИИТа было подготовлено и защищено 25 кандидатских и докторских диссертаций, которые имели значительную научно-прикладную ценность для железнодорожной отрасли.

Так, в докторской диссертации профессора М. В. Винокурова «Исследование колебаний и устойчивости вагонов» [13] были обобщены результаты многолетнего труда и заложены теоретические основы работы научной школы вагоностроения. Профессор М. В. Винокуров представлял ДИИТ в научно-техническом совете железнодорожной отрасли страны.

Работы молодых ученых-диитовцев также получали признание на уровне страны. В 1940 году по результатам конкурса, объявленного журналом «Социалистический транспорт», были признаны лучшими и премированы работы Э. З. Воскобойника «Водоструйный инжектор мягкого пара» [13], И. М. Коротеева «Анализ причин аварийности вагонных тележек» [13], В. Н. Тверитина «Использование шлакоотсева и изгари при отоплении паровозов» [13], Д. Б. Ломазова «Перегрузочная способность и термическая защита обмоток трансформаторов» [13], А. А. Харитоновна «Автоматическое регулирование рычажной передачи» [13].

Но судьба ДИИТа, как и страны в целом, была опалена огненными годами войны.

Второй этап (1941–1945 гг.). Весь коллектив института плечом к плечу с первых дней войны в июне 1941 года встал на борьбу с врагом [9]. Преподавательский состав был привлечен к выполнению заданий в соответствии с нуждами военного времени. Так, сотрудники кафедры «Мосты» участвовали в работах по защите железнодорожных мостов Приднепровского региона от воздушных нападений и восстановлению в прифронтовых условиях поврежденных мостостроений Днепропетровска и Херсона. Преподаватели кафедр эксплуатационного факультета вошли в специально созданную группу по особым заданиям при начальнике Сталинской железной дороги. Эта группа, которую возглавлял А. М. Дзюра, занималась организацией воинских перевозок, совершенствованием графиков движения поездов, разрабатывала планы эвакуации оборонных и промышленных предприятий, важнейших грузов в прифронтовых условиях, плани-

ровала распределение порожних вагонов для эвакуации людей.

В связи с приближением фронта в середине июля институт стал готовиться к эвакуации. В тот период огромную роль сыграл организаторский талант Всеволода Арутюновича Лазаряна, который был назначен руководить ДИИТом в апреле 1941 года.

18 августа 1941 года последний эшелон с людьми и оборудованием ДИИТа отправился за линию фронта на восток, в Сибирь. Всего эвакуировано было 427 студентов и 48 преподавателей. В первые месяцы эвакуации В. А. Лазарян добивается сохранения целостности ДИИТа как отраслевого института (Приказ НКПС от 17.03.1942 г.). В марте 1942 года в институте уже обучалось 369 студентов. В числе преподавателей было 5 профессоров, 19 доцентов, 11 ассистентов. Кроме того, в порядке совместительства были привлечены 16 профессоров и доцентов новосибирских, московских и ленинградских вузов из числа эвакуированных. Профессор В. А. Гастев заведовал кафедрой мостов и конструкций, профессор В. В. Попов – кафедрой геодезии, профессор С. А. Орбелианц – кафедрой проектирования и постройки железных дорог.

Продолжалась научная деятельность коллектива. Первое заседание ученого совета института в эвакуации было назначено и проведено 6 апреля 1942 года.

Практически на всех кафедрах развернули работу по выполнению заказов в условиях военного времени. Так, в лаборатории кафедры строительной механики проводились испытания материалов, идущих на производство снарядов и вооружения, в том числе и для производства гвардейских минометов («Катюш»). Преподаватели факультета движения и грузовой работы принимали участие в разработке графиков движения воинских поездов и распределения порожних вагонов под воинские грузы. Ими был разработан график единого технологического процесса работы железнодорожной станции Новокузнецк и Новокузнецкого металлургического комбината.

В Томске диитовцам совместно с железной дорогой было поручено создать механические мастерские для выпуска оборонной продукции. Их организовал и возглавил Э. З. Воскобойник.

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

Было использовано многое из того оборудования, что прибыло из Днепропетровска. Мастерские работали круглосуточно. В труднейших условиях успешно выполнялись задания по изготовлению боеприпасов для фронта. За образцовое выполнение заданий Государственного комитета обороны Э. З. Воскобойник был награжден орденом «Знак Почета», а работавшие с ним А. И. Нестеров и А. А. Харитонов – награждены знаками «Ударнику сталинского призыва».

В Новосибирске под руководством доцента И. М. Коротеева была оказана техническая помощь паровозным и вагонным депо, где выпускались бронепоезда и бронеплощадки. Диитовец П. Л. Корховой в паровозном депо руководил изготовлением и испытаниями крупнокалиберных минометов. Сотрудниками кафедры геодезии (Х. М. Рапопортом и др.) был выполнен значительный объем работ по геодезической съемке территории под новые цеха Кузнецкого металлургического комбината. Часто к выполнению этих работ привлекались студенты, особенно старших курсов.

ДИИТ, как и вся страна, выстоял в трудные годы отступлений и потерь, и когда фронт покатился к западным рубежам, стал готовиться к возвращению в Днепропетровск. Город был освобожден от немецко-фашистских захватчиков в конце октября 1943 года, а через несколько дней туда выехали начальник института В. А. Лазарян и несколько сотрудников для подготовки реэвакуации института.

Разрушения, причиненные зданиям и сооружениям городка ДИИТа, были огромны. Материальный ущерб превышал 25 млн руб.

Но коллектив ДИИТа стал готовиться к возобновлению работы с энергией, удваиваемой близостью Победы.

Сотрудники ДИИТа сразу же после реэвакуации были привлечены к оказанию помощи по восстановлению объектов железнодорожного транспорта.

Так, преподаватели кафедры «Мосты и тоннели» Н. И. Воронков и И. Д. Снитко принимают активное участие в составлении проектов восстановления мостов через реку Днепр в Днепропетровске. Вместе с прибывшим из Новосибирска инженером Е. В. Дорошенко, который возглавил мостоиспытательную стан-

цию, они также участвуют в обследовании состояния временно восстановленных мостов. Ими обследованы более 200 мостов и даны рекомендации по их усилению в целях увеличения скорости движения поездов на восстановленных участках фронтовых железных дорог.

Преподаватели эксплуатационного факультета Н. Р. Ющенко, А. М. Дзюра и другие разрабатывают единый технологический процесс работы станций Криворожского горнорудного бассейна, участвуют в разработке мер по совершенствованию эксплуатационной работы железных дорог Украины на освобожденной территории.

Профессор С. А. Орбелианц и доцент Э. З. Воскобойник с группой научных работников и студентов выполняют тяговые расчеты по основным направлениям работы Сталинской железной дороги для выявления резервов пропускной способности и весовых норм грузовых поездов.

Преподаватели и сотрудники энергетического факультета (Д. Б. Ломазов и другие) проводят обследования и испытания высоковольтной аппаратуры и основного электротехнического оборудования тяговых подстанций днепропетровских трамвайных линий.

В целях оказания конкретной помощи Брест-Литовской железной дороге, работа которой имела стратегическое значение в прифронтовых условиях, в указанный регион на месяц была откомандирована группа преподавателей ДИИТа. Ими были проведены три научно-технические конференции, прочитано 90 лекций, даны конкретные рекомендации. По результатам работы всем диитовцам – участникам этой группы – начальник дороги объявил благодарность.

В тяжелейших условиях, когда приходилось отстраивать корпуса и общежития ДИИТа, профессорско-преподавательский коллектив продолжал научно-исследовательскую деятельность. Об этом говорят архивные тома отчетов.

Третий этап (1946–1957 гг.). Даже в голодные послевоенные годы в институте велась активная научно-исследовательская деятельность, отличительной чертой которой была связь с конкретными задачами развития железнодорожной отрасли. В ДИИТе стали организовы-

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

вать студенческие научно-технические конференции по результатам практики. Первая такая конференция состоялась в ноябре 1946 года с участием 730 студентов, работавших летом на производстве. Это стало традицией, и на протяжении 1946–1950 годов фактически проводились по две студенческих научно-технических конференции в год – в апреле и ноябре.

В конце 1946 года в ДИИТе было создано Студенческое научное общество (СНО). Для активизации его работы в новом учебном году в совет СНО были избраны профессор В. М. Нетыкса, доцент Б. В. Ломазов и семь лучших студентов. На факультетах деканы назначили преподавателей, которые отвечали за организацию работы кафедр по привлечению студентов к научной деятельности.

По инициативе начальника института профессора В. А. Лазаряна с 1950 года в ДИИТе стали регулярно проводиться общие собрания отличников учебы. При этом он относился к этой части студенчества с подчеркнутым вниманием, поскольку считал, что многие из них могут составить резерв пополнения преподавательских рядов института.

При его неустанной поддержке с каждым годом все больше студентов привлекалось к участию в научных разработках.

В 1948 году в общеинститутской студенческой научной конференции принимали участие члены научных кружков 27 кафедр. Всего было заслушано 45 докладов. 14 лучших из них были отмечены ценными подарками.

Год от года росла активность Студенческого научного общества. Уже через три года после его создания – к 1949 году оно объединяло в 28 кружках свыше 500 человек, или каждого четвертого студента ДИИТа. Из них 160 человек принимали участие в научно-исследовательской работе по темам кафедр, более 100 студентов работали над индивидуальными заданиями.

Ежегодно проводимые конференции СНО стали традиционными, расширялся круг их участников, появлялись новые формы их проведения. Для выступления на них стали приглашаться молодые производственники и опытные железнодорожники – машинисты, дорожные мастера, бригадиры мостопоездов. Кроме того, активисты СНО стали организато-

рами нескольких конференций на Сталинской железной дороге.

Так, в ноябре 1951 года в студенческой научной конференции приняло участие около 800 человек, было заслушано 49 докладов, в том числе 10 на теоретические темы, 9 – связанных с проведением экспериментов, 18 – по производственным проблемам, 12 – по обобщению передового опыта. Доклады иллюстрировались чертежами, схемами, таблицами. Результаты работы многих студентов имели практическое применение со значительным экономическим эффектом. Например, студент пятого курса энергетического факультета И. Г. Беспрозванный два года работал над темой по заказу Запорожской энергосистемы. Им был сконструирован специальный прибор и разработан метод дистанционного обнаружения дефектных изоляторов с помощью радиоизмерений. Студент пятого курса механического факультета Б. В. Хохуля, работая над темой «Приспособления, улучшающие обработку деталей механизма автосцепки», на основании обобщения большого практического материала составил карты технологического процесса обработки деталей автосцепки и внес ряд предложений по его улучшению. Студент Н. Г. Мотиков в работе «Продувка паровозов серии ФД» предложил новый технологический процесс промывочного ремонта паровоза, позволивший сократить его простой на 8 часов.

Приказом Министерства высшего образования СССР в марте 1952 года эти студенты ДИИТа были награждены похвальными грамотами, результаты их исследований были отмечены в числе лучших среди студенческих научных работ. Такие успехи диитовцев способствовали росту авторитета института как кузницы инженеров – настоящих специалистов транспорта.

В феврале 1952 года состоялась первая конференция выпускников ДИИТа, на которую собрались свыше 500 диитовцев со всех концов Советского Союза. Это был своеобразный смотр результатов работы института по подготовке кадров для железнодорожной отрасли. В течение четырех дней было заслушано 60 выступлений, многие из них были посвящены опыту внедрения новейших технологий в практику работы железных дорог и промыш-

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ленных предприятий. Так, с интересом был выслушан доклад главного инженера Мостостроя И. И. Дадачко о новой технологии применения винтовых свай при возведении сложных инженерных сооружений. Живой отклик имело выступление начальника дорожно-технической лаборатории Л. А. Алтуховой о принципе действия химического пеногасителя по борьбе со вспениванием и уносом воды в паровозных котлах.

Ряд выступлений, прозвучавших на конференции, был отмечен в статье «Встреча друзей», которую опубликовала газета «Гудок» 19 февраля 1952 года: «Выпускник института, начальник комплексной экспедиции Днепрогипротранса инженер тов. Тильман выступил с докладом о новых методах изыскательских работ. Опыт организации поточного ремонта вагонов в депо Волноваха поделился начальник технического отдела этой дороги тов. Левченко» [3].

Для участников конференции были организованы технические консультации профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников ДИИТа, демонстрации документальных фильмов о передовых методах труда на транспорте.

Итоги конференции укрепили связи коллектива ДИИТа с производством, дали новый импульс научным разработкам, которые велись на кафедрах и в лабораториях института.

К этому времени ДИИТ уже имел всесоюзный авторитет организатора научных исследований по важнейшим проблемам железнодорожной отрасли.

Так, одной из главных задач развития железнодорожного транспорта в пятой пятилетке (1951–1955 годы) была объявлена задача увеличения грузооборота на 35–40 %, прежде всего за счет увеличения пропускной способности дорог и организации вождения тяжеловесных поездов.

Коллектив ДИИТа активно включился в работу по данной проблеме. Научные исследования велись с использованием динамометрического вагона, который можно было увидеть на многих железных дорогах страны.

Результаты этой работы диитовцев были востребованы специалистами отрасли. Так, совместно с работниками Волгоградской желез-

ной дороги были составлены практические рекомендации для машинистов локомотивов по вождению сдвоенных поездов, которые обсуждались на специальной дорожной конференции.

В результате совместной работы кафедр строительной механики, локомотивов, а также кафедры вагонов и вагонного хозяйства ДИИТа были установлены причины разрывов тяжеловесных поездов на Свердловской, Южно-Уральской, Московско-Курской и Донецкой железных дорогах. В соответствии с предложениями ученых Министерством путей сообщения СССР были внесены изменения в технические условия проектирования конструкций подвижного состава, установлены оптимальные режимы вождения поездов.

Научный анализ работы Приднепровской и Донецкой железных дорог выявил резервы сокращения времени хода поездов, повышения скоростей движения и доставки грузов в направлении Кривой Рог – Донбасс. Рекомендованные унифицированные весовые нормы поездов позволили ликвидировать многие недостатки в работе с грузовыми поездами на станциях Дебальцево, Ясиноватая, Верховцево, Волноваха и сократить число перерабатываемых поездов на станции Нижнеднепровск–Узел.

Сотрудниками кафедр «Путь и путевое хозяйство», «Электротехника», «Мосты», «Станции и узлы» была разработана новая конструкция железобетонных шпал и рельсовых креплений для участков, где применялся опыт вождения тяжеловесных поездов. Эта конструкция, представленная ДИИТом на Всесоюзный конкурс научных работ, была отмечена Государственным комитетом по делам строительства СССР как одна из лучших.

По результатам исследований в институте проводились научно-технические конференции с участием производственников. Например, в 1953 году состоялись конференции по износоустойчивости крестовин, по новым методам исследования грунтов при железнодорожных изысканиях, по совершенствованию технологического процесса работы Долгинцевского отделения, а также семинар инженеров мостоиспытательных станций 25 железных дорог СССР.

В 1954 году ДИИТ принимал коллег из других вузов. XVI научно-техническая конферен-

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ция была проведена с широким участием кафедр Харьковского и Ростовского институтов инженеров железнодорожного транспорта.

Очередная XVII научно-техническая конференция института (1955 год) собрала более 400 человек, из них 92 участника представляли Сталинскую, Донецкую, Юго-Западную, Львовскую, Южную и Куйбышевскую дороги, Днепрогипротранс и другие отраслевые организации. Характерной чертой конференций тех лет было обсуждение результатов поиска решений самых насущных проблем производства.

Еще в первую послевоенную пятилетку в институте родилась новая форма работы по укреплению связей с предприятиями и подразделениями отрасли – периодически стали проводиться научно-производственные конференции на крупных железнодорожных станциях, заводах и в подразделениях.

Так, в 1948 году на станции Долгинцево ученые ДИИТа организовали обсуждение опыта внедрения результатов научных исследований и использования передовых технологий в железнодорожной отрасли. В работе конференции приняло участие около 400 человек, в основном руководители линейных подразделений, мастера-путейцы, бригадиры, диспетчеры, лучшие машинисты. Доклады и выступления содержали конкретные рекомендации по обсуждаемым проблемам. Например, на секции «Движение и грузовая работа» прозвучали доклады «Кольцевые маршруты – основа ускорения оборота вагонов», «Работа института в области создания единого технологического процесса на станциях Кривбасса» и т.п.

Эта форма работы значительно сокращала путь от институтских научно-исследовательских разработок до внедрения их результатов в производство. Многие рекомендации, высказанные на таких конференциях, тут же находили свою реализацию. Например, на Нижнеднепровском вагоноремонтном заводе благодаря внедрению ряда предложений доцента ДИИТа А. А. Никитина по повышению производительности осеобдирочных станков время, необходимое для обработки оси колесной пары, сократилось в 6 раз.

По инициативе кафедр «Путь и путевое хозяйство», «Технология металлов», «Организация движения и грузовая работа», «Паровозное

хозяйство» научно-производственные конференции стали проводиться по отдельным проблемам отрасли, собирая специалистов соответствующего профиля. Это значительно повысило эффективность такой формы работы.

В марте 1950 года состоялась конференция новаторов-путейцев Донецкого железнодорожного округа, собравшая более 200 участников. Впервые в стране обсуждалась работа в механизированных дистанциях пути. В июне того же года были организованы еще две конференции – по методам механизации погрузочно-разгрузочных работ и внедрению технологий скоростного резания металлов.

Хорошо зарекомендовав себя, эта форма работы год от года собирала все больше участников. Если в 1945 году было проведено 45 научно-производственных конференций, то в 1950 году – уже 21.

В этот период связи коллектива ДИИТа с производством не просто обрели форму сотрудничества по отдельным направлениям, а стали основой жизнедеятельности института как отраслевого вуза. Многие научные разработки имели характер совместного поиска нужных решений.

Например, в 1955 году были подведены итоги по таким темам работ: «Исследование механизма автосцепки» (от ДИИТа – И. М. Коротев, Г. Т. Литвинов, от дороги – А. С. Осипов), «Исследование силы тяги паровоза ФД» (от ДИИТа – З. З. Рудяков, от дороги – Ф. И. Чирченко), «Вопросы проектно-изыскательских работ в полупустынных и засушливых районах» (от ДИИТа – Б. В. Яковлев, Е. Н. Губенко, от Днепрогипротранса – А. О. Тильман, В. А. Божко).

Год от года росло число публикаций по проблемам отрасли в специальных научных и профессиональных изданиях. Так, с 1945 по 1953 годы диитовцами было опубликовано 343 статьи.

Практически ежегодно издавались сборники научных трудов ДИИТа. За период с 1946 по 1955 год вышло из печати 9 сборников (с 16 по 24 выпуски). Накопленный опыт участия в решении отраслевых проблем аккумулировался также в монографиях, учебниках и пособиях.

Несколько поколений инженеров-железнодорожников учились по учебнику А. Л. Бро-

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

довского «Организация вагонного хозяйства» [13]. В 1947 году вышло его 3-е издание. Получило признание учебное пособие доцента И. Я. Рышковского «Тяговые подстанции» [13], изданное в 1949 году. В 1949 году был опубликован труд профессора В. А. Лазаряна «Исследование неустановившихся сил режимов движения поездов» [1], в котором был обобщен опыт работы по проблемам динамики.

Итогом многолетних научных исследований стала книга профессора К. Н. Мищенко «Бесстыковой рельсовый путь», изданная в 1950 году.

В 1951 году вышло учебное пособие профессора С. В. Амелина (в соавторстве с В. П. Суродеевым) «Расчет и проектирование стрелочных переводов» [13].

В 1952 году был издан фундаментальный труд профессора М. Н. Гольдштейна «Механические свойства грунтов» [13], впоследствии переведенный на многие языки мира.

В 1954 году увидел свет учебник «Основы проектирования железных дорог», авторский коллектив которого возглавляли профессор А. Е. Гишман и профессор А. И. Иоаннисян, а в числе соавторов были диитовцы А. П. Кондратченко и Б. В. Яковлев.

С момента издания в 1954 году получило известность среди специалистов отрасли учебное пособие профессора М. А. Фришмана «Расчет и проектирование элементов земляного полотна» [13].

Научные исследования в области динамики, которые велись в ДИИТе под руководством профессора В. А. Лазаряна, в послевоенное десятилетие приобрели отраслевой масштаб. Результаты этой работы нашли отражение в курсе лекций В. А. Лазаряна по теории колебаний, опубликованном в 1954 году, а также в учебном пособии того же автора «Энергия деформаций» [1], вышедшем в 1955 году.

Крепла научная и учебная база на общетеоретических кафедрах. В 1955 году было опубликовано учебное пособие «Стехиометрия» [13] профессора И. Г. Рысса, руководившего кафедрой химии.

Но повествуя о результативной работе коллектива ДИИТа по подготовке и выпуску учебников и научных монографий, нельзя не упомянуть своеобразные исторические условия,

которые сложились к тому времени в научных кругах и системе образования.

Обычной практикой стало обязательное вынесение на заседания ученого совета института обсуждения отдельных работ Сталина, к юбилейным датам готовились выступления-доклады о жизни и деятельности В. И. Ленина, Ф. Энгельса, А. В. Суворова, В. Г. Белинского, М. Г. Чернышевского и т.п.

Ежегодно проводились несколько общеинститутских теоретических конференций «по проблемам идейно-политического воспитания и теории большевизма». Например, только в 1946/1947 учебном году состоялось три конференции на темы: «Учение товарища Сталина об идеологических основах большевистской партии», «Социализм и демократизм», «Марксизм и национальный вопрос».

С 1947 года началась борьба с «иностранным влиянием и низкопоклонством перед капиталистической техникой». В этой связи вышестоящими органами была поставлена задача пересмотреть содержание всех учебников, учебных пособий, методических разработок, в которых были ссылки на зарубежную технику и технологию. Подлежали пересмотру с этой точки зрения и все учебные программы.

С одной стороны, это послужило толчком к подготовке новых печатных изданий, а с другой – привело к явным перегибам в организации учебного процесса.

В 1949 году на совете института развернулась оживленная дискуссия относительно «вопроса об усилении экономического образования студентов». После выхода в свет работы И. Сталина «Экономические проблемы социализма в СССР» в научной литературе появилось много соответствующих публикаций, но они, как и работы И. Сталина, не давали ответов на многочисленные вопросы послевоенной советской действительности. Сложно было привести в соответствие с директивными установками и учебные планы. Такие понятия, как себестоимость, целесообразность с экономической точки зрения строительства новых железных дорог и искусственных сооружений, как характеристика экономической деятельности предприятия часто обходили своим вниманием специальные и особенно выпускающие кафедры. В связи с этим в институте по предложению

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

нию профессора В. А. Лазаряна был организован постоянно действующий семинар по вопросам экономики для преподавателей и аспирантов.

Но новые формы работы в вузе не могли избежать определенного идеологического давления, которое усиливалось с каждым послевоенным годом.

На заседаниях ученого совета института «с целью осуществления контроля за работой кафедр по воспитанию студентов в духе марксистско-ленинского мировоззрения» регулярно заслушивались, например, такие вопросы, как «О работе преподавателей кафедры физики и иностранных языков по овладению большевизмом» (март 1949 года).

В условиях «нарастания холодной войны, усиления политической конфронтации» между странами капиталистического и социалистического блоков в вузах стал осуществляться жесткий контроль за идеологической направленностью лекций и семинарских занятий, и даже научных исследований. С этой целью руководству института и деканам факультетов было вменено в обязанность организовывать контрольные посещения всех видов учебных занятий. Кроме того, институт должен был регулярно приглашать стенографистов, которые фиксировали содержание лекций. Записанные тексты лекционных курсов со временем проверялись, проходя достаточно жесткую «внутреннюю цензуру».

Стенографированию прежде всего подлежали лекции преподавателей кафедр «Основы марксизма-ленинизма», «Политэкономия», «Физика», «Математика», «Химия», «Теоретическая механика». Критерием истины даже в точных науках были объявлены постулаты учения Ленина-Сталина.

В 1950 году V методическая конференция института обсуждала вопрос освещения приоритета отечественной науки при чтении лекций и проведении практических занятий.

И эта установка имела силу неоспоримой истины не только для теоретических, фундаментальных дисциплин, но и для специальных учебных курсов прикладного характера. Например, в 1952 году доцентов С. П. Мигалья, Э. М. Аксельрода, А. Л. Бродовского обвинили в том, что они преклонялись «перед достиже-

ниями иностранной науки и техники, не использовали материалы XIX съезда КПСС, не цитировали работу И. Сталина «Экономические проблемы социализма в СССР».

Подобные перегибы приводили к отсутствию стабильности в коллективе преподавателей, возникали сложности в организации научных исследований, выборе тем диссертаций и их защите.

В этот период подготовка научно-педагогических кадров через аспирантуру не соответствовала потребностям института (например, в 1951–1952 учебном году Министерство путей сообщения вообще запретило ДИИТу прием, и общая численность аспирантов сократилась до 2 человек).

В 1948–1954 годы все же защитили диссертации пять аспирантов: по специальности «Строительная механика» (научный руководитель профессор В. А. Лазарян) – 3 человека; по специальности «Железнодорожный путь» (руководитель профессор К. Н. Мищенко) – 2 человека. После ухода профессора К. Н. Мищенко на пенсию руководить аспирантами продолжил профессор М. А. Фришман.

В 1956 году дополнительно была открыта аспирантура по специальностям «Эксплуатация железных дорог» (научный руководитель профессор Н. Р. Ющенко), «Основания и фундаменты» (руководитель профессор М. Н. Гольдштейн) и «Подвижной состав» (руководитель профессор В. Н. Тверитин), в 1959 году – по специальностям «Химия» (профессор И. Г. Рысс) и «Искусственные сооружения» (профессор Н. Г. Бондарь).

Архивные институтские отчеты тех лет, храня сухие статистические данные, говорят все же о неуклонном росте числа преподавательских кадров высшей квалификации. Они не содержат соответствующих комментариев, но можно догадаться, какие усилия предпринимал начальник института профессор В. А. Лазарян, чтобы сохранить накопленный кадровый потенциал. В самый сложный период, с 1945 по 1952 год, количество кандидатов и докторов наук в ДИИТе возросло с 43 человек до 77. К 1955 году процент преподавателей, имеющих ученые степени, увеличился почти до 50.

Среди тех, кто защитил кандидатские диссертации в первое послевоенное пятилетие, бы-

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ли А. Е. Белан, А. М. Дзюра, С. К. Латышев, Е. М. Рапопорт, И. Д. Снитко, А. А. Харитонов, Е. М. Шафит и другие – всего 18 человек. Многие из них стали во главе процесса формирования научных школ ДИИТа.

За 1951–55 годы было защищено 26 кандидатских диссертаций, в том числе Ф. С. Вольфовской, Т. Л. Городецкой, Н. А. Гудзенко, Ф. И. Дешевым, Е. Г. Егоршиной, А. С. Зюзиным, Н. И. Ивановым, С. И. Конашенко, М. Л. Коротенко, В. Н. Лебедевым, В. М. Мещеряковым, В. А. Мизюмским, В. С. Рябченко, А. В. Стародубцевым, А. И. Стукаловым, В. В. Тимошенко, Г. М. Федашом, Х. П. Фрайманом и другими.

Значительными событиями в жизни института были докторские защиты.

В 1949 году защитил докторскую диссертацию М. А. Фришман, который впоследствии возглавит научную школу путейцев. В 1950 году защитил докторскую диссертацию С. В. Амелин, заведовавший кафедрой «Путь и путевое хозяйство». В 1951 году он был переведен на должность заместителя начальника Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта.

В 1950 году ученую степень доктора технических наук получил Н. Р. Ющенко, заведующий кафедрой «Станции и узлы». В том же году он был назначен заместителем начальника ДИИТа по научной работе.

В 1953 году докторами наук стали Н. Г. Бондарь (по специальности «Мосты») и В. Н. Тверитин (по специальности «Подвижной состав»).

Если в год двадцатилетия ДИИТа (1950) в институте было 30 кафедр, и шесть из них возглавляли профессора: К. Н. Мищенко («Общий курс железных дорог»), И. Е. Огиевецкий («Высшая математика»), В. М. Нетыкса («Графика»), В. А. Лазарян («Строительная механика»), Ф. В. Флоринский («Теоретическая механика») и М. Н. Гольдштейн («Основания и фундаменты»), то свой двадцатипятилетний юбилей ДИИТ встречал, имея в своих рядах 10 заведующих кафедрами–профессоров.

Четвертый этап (1958–1991 гг.). Произошли существенные изменения в руководящем составе ДИИТа. К этому времени Днепропетровск обрел мощь центра разработки

и внедрения новых технологий, многие из которых имели стратегическое значение. В 1958 году профессору В. А. Лазаряну, как крупному ученому с мировым именем, было поручено интенсифицировать научные исследования в области механики транспорта. Он приступает к руководству отделом прочности Института механики Академии наук УССР (впоследствии преобразованного в Днепропетровское отделение Института механики – знаменитый ДОИМ). Однако с ДИИТом Лазарян не расстался и продолжал руководить работой кафедры строительной механики, а также много сил отдавал организации деятельности новой Отраслевой научно-исследовательской лаборатории динамики и прочности подвижного состава.

В январе 1958 года ДИИТ возглавил профессор Николай Романович Ющенко. Заместителем по научной работе вместо Н. Р. Ющенко был назначен Б. В. Яковлев, который работал в этой должности до 1968 года.

В 1960 году во главе коллективов восьми кафедр были профессора: В. А. Лазарян (строительной механики), Н. Р. Ющенко (станций и узлов), Н. Г. Бондарь (мостов и тоннелей), В. М. Нетыкса (графики), И. Г. Рысс (химии), М. Н. Гольдштейн (оснований и фундаментов), В. Н. Тверитин (локомотивного хозяйства) и М. А. Фришман (пути и путевого хозяйства).

В 1962 году на должность заведующей кафедрой технологии металлов была избрана доктор технических наук Н. А. Воронова – крупный специалист в данной области.

Коллективы практически всех кафедр института принимали активное участие в научных разработках, объемы которых резко возрастают в этот период.

Увеличилось количество научных работ, которые выполнялись по хозяйственным договорам с предприятиями. С 1959 года наблюдалась четкая тенденция активизации научной деятельности (табл. 2).

С конца пятидесятых годов разворачивается масштабное перевооружение железнодорожной отрасли. Широкое внедрение электрической тяги на сети железных дорог СССР выдвигает ряд проблем, требующих проведения теоретических и экспериментальных исследований.

Таблица 2

Результаты выполнения научно-исследовательских работ

Год	Количество опубликованных работ	Количество выполненных научных работ	Количество хозяйственных работ	Объем, тыс. рублей
1959	114	65	52	357
1965	225	84	64	652

Вот один из ярких примеров тех лет. Для диитовских ученых одним из первых важнейших полигонов исследований стал электрифицированный участок линии Запорожье – Долгинцево. Учитывая актуальность ведущихся здесь научных разработок, совет института 12 ноября 1957 года специально заслушал отчет кафедры электротехники (заведующий Б. Д. Ломазов) о результатах исследований. Было доложено, что для увеличения объемов грузоперевозок на данном участке необходимо иметь дополнительно 6 тяговых подстанций, ввести автоматическое регулирование напряжения, унифицировать контактные провода и т.п. Присутствующий на заседании совета института главный инженер железной дороги, главные специалисты служб согласились с рекомендациями ученых.

Взятые темпы технического перевооружения отрасли, рост масштабов решаемых задач потребовали укрепления учебно-лабораторной и научно-исследовательской базы ДИИТа. Министерство путей сообщения СССР дало согласие и выделило средства на создание в институте ряда отраслевых лабораторий.

В марте 1958 года была организована проблемная лаборатория динамики и прочности подвижного состава под руководством профессора В. А. Лазаряна, в которой велись исследования в области режимов вождения большегрузных поездов с высокими скоростями, внедрения новых тормозных средств и автосцепки новых типов вагонов, а также автоматизации вождения поездов.

Коллектив лаборатории отличали высокий профессионализм и мобильность, здесь решались многие насущные проблемы железнодорожной отрасли. Например, в первый же год

своего существования лаборатория провела успешные исследования по проблеме перевода парка грузовых вагонов на автосцепку, на основе которых был сделан вывод об исчерпанности возможностей двухосных вагонов при вождении тяжеловесных поездов. Их рамы не были приспособлены к установке автосцепки, а постановка такого типа вагонов в голову «тяжеловеса» могла привести даже к крушению.

В том же году полученные в лаборатории результаты исследований собственных колебаний электровозов позволили осуществить опытные поездки поездов со скоростью 123 км/ч.

Коллектив лаборатории совместно с сотрудниками ряда кафедр института («Строительная механика», «Теоретическая механика», «Вагоны и вагонное хозяйство» и др.) проводил масштабные теоретические и экспериментальные исследования переходных режимов движения грузовых и пассажирских поездов на основе широкого применения ЭВМ, колебаний и устойчивости движения, новых и модернизированных типов подвижного состава железных дорог и т.п. Были проведены опыты с поездами весом до 10 тысяч тонн по определению продольных усилий, возникающих при торможении. На основе проводимых исследований установлена возможность увеличения скорости движения путеукладочного крана УК-25, щебнеочистительной машины ЩОМ-Д и др. На основании рекомендаций ученых ДИИТа были разработаны конструкции узлов тележки электровоза Д-100.

Коллектив института принял участие в комплексной работе по исследованию динамических качеств новых полувагонов на трехосных тележках. Для обсуждения полученных результатов на Крюковский вагоностроительный завод выехали не отдельные руководители тем, а почти весь коллектив, проводивший исследования, в том числе В. А. Лазарян, Н. С. Кожевников, И. М. Коротеев, А. М. Осипов, Е. А. Казаков, В. В. Володин, А. А. Львов, А. А. Харитонов. На заводе совместно с производственниками, многие из которых были выпускниками ДИИТа, обсуждались перспективы применения новой тормозной системы.

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

Такая форма работы впоследствии стала традиционной для многих исследовательских коллективов института.

В феврале 1958 года создана Отраслевая путепысательная лаборатория, которую возглавил профессор М. А. Фришман. Ее коллектив вел исследования элементов верхнего строения пути. Особо актуальными были темы: «Исследование работы железобетонных шпал на участке с электрической тягой и автоблокировкой», «Исследование повышения скорости движения поездов по перекрестным стрелочным переводам», «Исследования воздействия шестиосных вагонов на путь».

В тот период семилетним планом развития народного хозяйства СССР была предусмотрена ежегодная укладка в путь на действующей сети железных дорог не менее 10 000 км новых рельсов взамен изношенных. При этом по существовавшим нормам в течение нескольких часов, а то и суток после проведения капитальных работ, когда балластная призма полностью не стабилизирована, для обеспечения безопасности движения поездов их скорости ограничивались до 15–25 км/ч. В условиях высокой интенсивности движения поездов, свойственной Приднепровской дороге, такое ограничение отрицательно сказывалось на эксплуатационной работе.

Перед коллективом кафедры «Путь и путевое хозяйство» и новой путепысательной лаборатории была поставлена задача разработать предложения по сокращению времени действия ограничений и по возможному увеличению скоростей при обеспечении безопасности движения. В результате многочисленных опытов на нестабилизированном пути в эксплуатационных условиях были вскрыты значительные резервы повышения скоростей на участках капитального ремонта пути и даны конкретные рекомендации. Проведенная диитовцами работа получила высокую оценку службы пути Приднепровской железной дороги.

На Донецкой железной дороге сотрудниками кафедры и лаборатории были проведены исследования допускаемых скоростей движения по глухим пересечениям, в результате которых также были даны рекомендации по повышению скоростей.

Большая работа проделана диитовцами на Днепропетровском металлургическом заводе им. Дзержинского, где были разработаны предложения по улучшению условий использования рельсов на заводских путях.

Заметных успехов в организации и ведении научных исследований на основе сотрудничества с производством добились коллективы ряда других кафедр института. В январе 1959 года в ДИИТе была организована отраслевая лаборатория механики грунтов. Ее создание связано с деятельностью крупного ученого с мировым именем профессора М. Н. Гольдштейна.

Возглавляемая им в то время кафедра «Основания и фундаменты» имела значительный авторитет среди строителей и транспортников. В шестой пятилетке (1955–1960 годы) в связи с ростом масштабов промышленного и гражданского строительства возникла проблема возведения сооружений на нестойких (лессовидных и других) основаниях, над шахтными выработками и т. д. Коллектив под руководством М. Н. Гольдштейна разработал научно обоснованную методику проведения исследований такого вида грунтов и оснований, использующуюся на этапе проектирования и строительства крупных объектов.

Рекомендации ученых ДИИТа легли в основу «Правил охраны железных дорог Донбасса в районах шахтных подработок», утвержденных Министерством путей сообщения СССР.

По инициативе Научно-исследовательского института оснований и подземных сооружений Академии строительства и архитектуры СССР в 1958 году ДИИТ стал местом проведения всесоюзного совещания по проблемам ведения строительства на просадочных грунтах.

Коллектив кафедры «Основания и фундаменты» ДИИТа принимал участие в широкомасштабных исследованиях оснований сооружений на крупнейших строительных площадках страны, в частности вел геотехнические работы на строительстве Кременчугской, Каховской, Цымлянкой и ряда других ГЭС. Внедрение в практику строительства Кременчугской ГЭС рекомендаций диитовцев способствовало досрочному ее пуску и дало экономию свыше 250 тысяч рублей.

Накопленный опыт и сложившийся кадровый состав позволил создать именно в ДИИТе

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

Отраслевую лабораторию механики грунтов, которая стала базой для ведения исследований в данном направлении. С помощью уникальной измерительной аппаратуры здесь изучалась устойчивость склонов и откосов на оползневых участках Молдавской, Северо-Кавказской, Львовской и ряда других железных дорог юга и юго-запада СССР, разрабатывались рекомендации по эффективному применению различных противооползневых мероприятий.

К этому времени за три десятилетия своего существования ДИИТ обрел прочный авторитет среди специалистов железнодорожной отрасли по многим направлениям, в том числе и по организации движения и грузовой работе.

В этот период коллективами кафедр эксплуатационного факультета совместно с Приднепровской железной дорогой был разработан технологический процесс работы Днепропетровского железнодорожного узла.

Имевшая достаточный кадровый потенциал и опыт проведения научных исследований кафедра «Станции и узлы» приступила к анализу работы сортировочных горок, разработке норм сопротивления скатывания с них вагонов, проверке в эксплуатационных условиях норм тормозной мощности замедлителя. Успешная работа коллектива кафедры в этом направлении стала основанием для организации в ДИИТе единственной в СССР проблемной горочно-испытательной лаборатории, которая начала свою работу в августе 1961 года. Ею заведовал профессор Н. Р. Ющенко (тогда же он возглавлял ДИИТ) [17]. На то время эта лаборатория располагала уникальной аппаратурой для непрерывной записи скорости движения отцепов, времени, длины пути, параметров работы тормозных цилиндров при скатывании вагонов с горки. Коллектив лаборатории активно включился в исследования характеристик новых шестиосных вагонов и замедлительных устройств на горках.

Горочно-испытательная лаборатория ДИИТа стала опорной базой по исследованию проблем совершенствования сортировочного процесса на станциях для сети железных дорог всей страны.

В области совершенствования горочной техники на сортировочных станциях основной проблемой на то время являлась комплексная автоматизация сортировочного процесса. В СССР

к 1970-м годам были разработаны две системы автоматического регулирования скорости скатывания отцепов с сортировочных горок – системы АРС ЦНИИ МПС и АРС ГТСС (ГТСС – Ленинградский институт «Гипротрансигнализация»).

Горочно-испытательной лабораторией ДИИТа были проведены работы по совершенствованию системы АРС ГТСС на станции Ленинград-Сортировочный Московский и системы АРС ЦНИИ МПС на станции Лосиноостровская. Одним из итогов стала передача в серийное производство в 1965 году нового модернизированного замедлителя типа КВ-62М, имеющего повышенную тормозную мощность и высокую надежность в работе.

Успешное участие коллектива института в решении многих проблем развития транспортной отрасли могло обеспечить использование в научных исследованиях новейших технологий, передового оборудования. В этот период по инициативе профессора В. А. Лазаряна в институте особое внимание стало уделяться созданию совершенно новых учебных лабораторий: промышленной электроники, вычислительных машин, вычислительной техники.

Еще в середине 1961 года профессор В. А. Лазарян предложил нескольким студентам IV курса факультета электрификации железных дорог переквалифицироваться и стать специалистами в области вычислительной техники с тем, чтобы впоследствии работать в создаваемом в институте вычислительном центре. Этих студентов взяли под научную опеку сотрудники лаборатории динамики и прочности подвижного состава М. Е. Итин, Л. А. Манашкин, Л. А. Тур, а также преподаватели кафедры «Строительная механика» Е. П. Блохин и И. Г. Барбас. С их помощью эти студенты изучали углубленно электронику, прикладную математику, методы программирования. В. А. Лазарян также договорился с руководством Днепропетровского государственного университета (ДГУ), чтобы там этим студентам помогли освоить принципы работы отечественных вычислительных машин, методику их обслуживания и программирование. А со временем Ю. Хмарский, В. Музыкин, А. Залеский, А. Монин, Л. Лавинский, Е. Трубецкая, вооруженные теоретическими знаниями, прошли преддипломную практику на пензенском заводе

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

и защитили реальные дипломные проекты, в которых рассматривались задачи модернизации отдельных узлов электронных цифровых вычислительных машин. Все эти студенты после получения диплома остались работать в ДИИТе.

Так к 1962 году в институте уже сложился коллектив специалистов-электронщиков, среди которых были Э. С. Козлов и А. Р. Поплавская, уже имевшие опыт практической работы. Именно их силами в аудиториях 270 и 270а нового корпуса были выполнены основные монтажные и пусконаладочные работы на первой диитовской ЭВМ «Урал-1». Машина выполняла только 100 операций в секунду, объем оперативной памяти составлял только 4 килобайта. Но это было начало!

В 1962 году введен в эксплуатацию вычислительный центр ДИИТа – один из первых в системе вузов транспортной отрасли страны и один из самых оснащенных в Приднепровском регионе. Научное руководство деятельностью нового подразделения осуществлял профессор В. А. Лазарян, который был инициатором и горячим сторонником развития этого направления в ДИИТе. Возглавляемая им научно-исследовательская лаборатория динамики и прочности подвижного состава, где велись полномасштабные исследования по проблемам развития железнодорожной отрасли, стала первой пополняться новейшей вычислительной техникой. Через некоторое время на этой базе было сформировано самостоятельное структурное подразделение института.

С первых дней своего существования вычислительный центр работал весьма успешно и с большой нагрузкой: здесь организовывались учебные занятия и шла обработка данных многих научных исследований. Уже в декабре 1962 года работа ВЦ была организована в две смены. Первоначально самой мощной из приобретенных была все та же счетно-вычислительная машина «Урал-1». Через несколько лет, в 1965 году, в вычислительном центре была установлена и пущена в эксплуатацию новая машина «Урал-3».

Созданная база позволила начать в ДИИТе подготовку инженеров по новой специальности – «Математические и счетно-решающие приборы и устройства». Тогда же были организованы

и соответствующие новые кафедры: математических приборов и устройств под руководством доцента Е. М. Шафита и электрических машин, которой стал руководить доцент Г. А. Ансберг.

Организационная структура института продолжала укрепляться, на других факультетах также были созданы новые кафедры: строительных конструкций под руководством доцента М. М. Сахновского (впоследствии доктора технических наук, профессора, лауреата Государственной премии СССР) и техники безопасности, которую возглавил доцент А. И. Нестеров.

В 1965 году была организована еще одна новая кафедра – «Прикладная математика», заведовать которой был назначен доцент С. И. Конашенко.

В том же году по инициативе и при активной организационной помощи академика В. А. Лазаряна создается и новый факультет «Вычислительная техника», первым деканом которого был А. Б. Демиденко.

ДИИТ, как и вся страна, не отставал от стремительно набирающего темпы научно-технического прогресса. В 1960 году июльским Пленумом ЦК КПСС была выдвинута задача повышения качества подготовки специалистов для промышленности, которая должна была реорганизоваться на основе внедрения механизации и автоматизации производства.

С этого года в ДИИТе под руководством доцента С. К. Латышева стал действовать специальный семинар для преподавателей дисциплин, связанных с машинным программированием.

В 1963 году руководство аспирантурой по специальности «Электрификация железных дорог» было поручено доценту К. Г. Кучме, в 1964 году по специальности «Изыскания, проектирование и строительство железных дорог» – доценту Б. В. Яковлеву и по специальности «Технология строительного производства» – доценту С. С. Ульриху.

В 1965 году была начата подготовка аспирантов еще по трем специальностям: «Металловедение» (профессор Н. А. Воронова), «Водоснабжение» (доцент А. Е. Белан) и «Электрические машины» (доцент Г. А. Ансберг).

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

Таким образом, в 1965 году подготовка аспирантов в институте велась по 13 научным специальностям.

Быстро возрастало число обучающихся в аспирантуре. До 1963 года ежегодный контингент аспирантов ДИИТа составлял 13–16 человек. В 1964 году общая численность аспирантов выросла до 39 человек, в 1965 году – до 64, а в 1966 году в ДИИТе было уже 76 аспирантов. Примерно половина из них обучалась в аспирантуре заочно. Практически все, окончившие обучение в аспирантуре, оставались работать в институте.

В это десятилетие коллектив преподавателей ДИИТа пополнился также выпускниками аспирантуры МИИТа, среди которых были Н. Г. Висин, Г. Я. Корепанов.

С 1954 года ДИИТу было предоставлено право проведения защиты кандидатских диссертаций. За 1956–1965 годы защитили диссертации 19 аспирантов.

Всего за это десятилетие была защищена 61 кандидатская диссертация. Среди защитившихся были Е. П. Блохин [2], П. С. Бодянов, Е. П. Бондаренко, Л. П. Богданова, В. П. Вихарев, С. Л. Идельс, К. Г. Кучма, Р. С. Липовский, Л. Н. Лебединец, Н. А. Нечаев, Ю. А. Радзиховский, Г. Д. Рабинович, А. Я. Туровская, В. И. Шатерков, И. Е. Щербин, И. С. Хрен и другие.

В следующем пятилетии (1961–1965 годы) было уже 40 защищенных диссертаций. В этот период ученую степень кандидата наук получили А. М. Аронов, И. Г. Барбас, С. П. Горбатов, В. У. Гоц, В. И. Гронский, Е. В. Дорошенко, А. Б. Демиденко, В. А. Каблуков, Г. Я. Корепанов, Ю. В. Кривуша, Л. С. Лapidус, И. С. Леванков, Ю. А. Муха, А. Н. Орловский, П. Н. Орловский, И. Т. Петерс, З. Г. Ройтбурд, В. П. Тарасенко, Б. А. Третьяк, В. Б. Тульчинский, А. А. Уланов, А. А. Хохлов, В. В. Шугаев и другие.

В 1964 году количество защищенных диссертаций впервые в истории ДИИТа достигло 12, в то время как в предшествующий период количество ежегодных защит не превышало цифры 6.

Но очень остро в ДИИТе ощущалась потребность в докторских диссертациях. На протяжении десяти лет никто из диитовских ученых не защи-

тил докторской диссертации. Многие из тех 20–25 доцентов, кандидатов наук, которые работали над докторскими диссертациями, не владели современной методикой ведения научного поиска с помощью новейшей аппаратуры, измерительной и вычислительной техники. Необходимо был качественный рывок, который должны были сделать уже молодые диитовские научные работники.

Важным событием стал 1965 год, когда решением Министерства высшего и среднего специального образования СССР ДИИТу было предоставлено право принимать к защите докторские диссертации. Это было признанием значимости прежде всего научной школы профессора В. А. Лазаряна.

В диссертационных работах нашли отражение результаты многих научных исследований, которые продолжали вестись в этот период в ДИИТе.

Характерной чертой организации научной работы института в 1959–1965 годы стал переход от поиска решения отдельных исследовательских задач к комплексной совместной работе вуза и предприятий. Например, в договоре о содружестве с донецкими железнодорожниками в 1960 году предусматривалось не только внедрение единой технологической системы работы станции Саргана, металлургического завода имени Ильича и завода тяжелого машиностроения, но и проведение совместных научно-производственных конференций, участие коллектива ДИИТа в повышении квалификации инженерно-технических работников, выработка новых форм обобщения передового опыта.

В 1959–1965 годах быстрыми темпами развивался Кривбасс, в этот период добыча руды возросла с 45,9 до 79,2 миллиона тонн. На крупных горно-обогатительных комбинатах значительно увеличился парк тепловозов. Предложения диитовцев по упорядочению ремонта тепловозов, определению норм расхода топлива, тормозных режимов способствовали бесперебойному вывозу руды и концентрата из рудных карьеров.

По заданию Совета министров УССР велся активный поиск решения проблемы перевозки горячего агломерата, для которого еще не было создано специальных вагонов. Ученые ДИИТа предложили осуществлять перевозку в целльно-

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

металлических вагонах, разработав конкретные рекомендации по их оборудованию и эксплуатации. Это дало металлургической промышленности Приднепровья значительный экономический эффект.

На основании исследований, проведенных в институте, была отработана конструкция нового воздухораспределителя для грузовых вагонов. Министерством путей сообщения СССР утверждены нормы сопротивлений при сборке звеньев с железобетонными шпалами, в основу которых были положены предложения диитовцев.

Ширилось и укреплялось сотрудничество коллектива института с другими научно-исследовательскими организациями. Так, ученые ДИИТа совместно с институтом электросварки имени Е. О. Патона, Гипрометром, трестом «Укрсталконструкция» участвовали в создании новой технологии изготовления и монтажа листовых конструкций доменных печей.

В 1959 году в ДИИТ на конференцию по проблемам перевозок промышленных грузов прибыли представители Приднепровской, Донецкой железных дорог, таких гигантов металлургии юга Украины, как «Азовсталь», «Запорожсталь», заводов имени Ильича, имени Дзержинского, имени Петровского. С особым вниманием был изучен опыт создания единого технологического цикла работы станции Горяиново и завода имени В. И. Ленина, который был разработан при активном участии диитовцев.

Сотрудники кафедры электроподвижного состава ДИИТа под руководством доцента К. Г. Кучмы занимались проблемой автоматизации управления электроподвижным составом постоянного и переменного тока. К этому времени институт располагал хорошей экспериментальной базой в виде электрифицированного учебно-исследовательского участка, на котором возможно было обеспечить движение электроподвижного состава постоянного тока при напряжении 600, 1 500, 3 000, 6 000 вольт и переменного тока 10,5 и 35 киловольт.

Коллективом кафедры локомотивов под руководством профессора В. Н. Тверитина велись исследования по установлению норм расхода топлива на тепловозах. Кроме того, начиная

с 1958 года на этой кафедре анализировалась работа электровозов на вступающих в строй новых электрифицированных участках Донецкой дороги. Основная цель – корректировка весовых норм поездов и скоростей движения с учетом нагрева обмоток двигателей, определение закономерностей изменения сил сцепления колес с рельсами, разработка технологических карт вождения поездов. В результате были внедрены увеличенные на 200–400 тонн весовые нормы поездов на участках Славянск–Лозовая, Чаплино–Ясиноватая, Иловайское–Дебальцево, Славянск–Никитовка–Иловайское и других.

Коллектив кафедры организовал тесное научное сотрудничество с горно-обогатительными комбинатами Кривого Рога. Вместе с работниками НКГОКа и ЦГОКа диитовцами были проведены работы по упорядочению организации ремонта тепловозов ТЭ-3 и ТЭМ-1, по нормированию расходов топлива на эти тепловозы, по определению тормозных режимов при вождении поездов в рудных карьерах.

Результаты многих научных разработок кафедры локомотивов находили быстрое внедрение в отрасли, как, например, исследования работы дизелей на сернистых и тяжелых топливах в целях удешевления их эксплуатации и увеличения моторесурса. Предложенная диитовцами присадка к сернистому топливу заметно уменьшила износ цилиндро-поршневой группы тепловозного дизеля Д-50.

Прочное деловое сотрудничество с предприятиями железнодорожной отрасли отличало работу и других кафедр ДИИТа. Так, коллективом кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» совместно с Приднепровской железной дорогой и Нижнеднепровским вагоноремонтным заводом были проведены исследования причин обрыва карданного привода и вала подвагонного генератора, а также разработаны способы повышения безопасности движения цельнометаллических пассажирских вагонов. Диитовцы участвовали в разработке и внедрении схем погрузки и перевозки новых видов металлопродукции в саморазгружающихся полувагонах. Только по заводу им. К. Либкнехта перевозка цельнокатанных колес в полувагонах по схеме, разработанной ДИИТом в содружестве с кол-

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

лективами завода и Приднепровской железной дороги, дала экономию 150 тыс. рублей в год.

На кафедре вагонов были разработаны предложения по усовершенствованию автоматического ограждения составов на станциях, централизованной пробе автотормозов, которые нашли применение на Приднепровской и других железных дорогах.

В этот же период окрепло содружество института с коллективом вагоноремонтного завода им. С. М. Кирова. ДИИТ не нарушал традиции широкого привлечения к научным исследованиям студентов, особенно на старших курсах. Так, в отчетах о научно-исследовательской работе коллектива ДИИТа за 1962 год отмечается, что на кафедре вагонов «дипломниками Сторчевым и Алексеевым совместно с главным конструктором завода т. Эвиным, сотрудниками кафедры разработан и внедрен проект поточно-конвейерной линии для ремонта тележек пассажирских вагонов, конвейер транспортировки рессор и пружин».

По плану содружества с Днепрогипротрансом при непосредственном участии сотрудников кафедры изысканий, проектирования и строительства железных дорог ДИИТа был разработан технико-экономический проект развития железнодорожного транспорта Кривбасса, который рассмотрен и одобрен экспертным отделом Министерства путей сообщения.

В период наращивания темпов научно-технического прогресса ДИИТ неоднократно инициировал проведение научно-технических конференций по актуальным проблемам развития транспортной отрасли. Так, в 1961 году в институт на конференцию со всего Советского Союза съехались ведущие ученые и строители для обсуждения проблем проектирования железных дорог.

На конференции в 1962 году обсуждался опыт совместной работы коллектива станции Мудреная и рудных предприятий Кривбасса.

В 1963 году на очередной научно-практической конференции ученые ДИИТа совместно с руководством железных дорог и представителями Приднепровского, Днепровского, Луганского совнархозов разработали рекомендации относительно усиления конструкции верхнего строения пути на внутривозвод-

ских и подъездных путях металлургических предприятий Украины.

В эти годы получила широкое распространение такая форма работы, как дни науки на производстве. В такие дни диитовцы выезжали на крупные железнодорожные узлы и станции, заводы, в строительные организации и знакомили инженерно-технический состав и рабочих с последними достижениями отраслевой науки, давали рекомендации относительно возможностей внедрения в производство новой техники и технологии.

Традиции постоянного укрепления связи коллектива института с производством, актуальность научных разработок диитовцев для железнодорожной отрасли укрепляли авторитет вуза в масштабах страны. В 1964 году Министерство высшего образования СССР предложило всему коллективу института принять участие в работе Выставки достижений народного хозяйства. Вскоре в Москве в одном из павильонов ВДНХ была развернута экспозиция «ДИИТ – производству», которая знакомила с опытом взаимодействия вузовской науки с техническим потенциалом отрасли.

Коллектив ученых института продолжал разрабатывать такие важнейшие проблемы, как внедрение на железнодорожном транспорте тепловозной и электровозной тяги и повышение эффективности ее работы; комплексная автоматизация производственных процессов на основе вычислительной техники; улучшение конструкций и совершенствование методов ремонта подвижного состава; исследование работы нового подвижного состава и воздействие его на железнодорожный путь; исследование работы рельсовых цепей протекания тока в земле и подземных сооружениях; совершенствование методики разработки единых технологических процессов работы железнодорожных станций и подъездных путей металлургических заводов; исследование пространственных колебаний пролетных строений железнодорожных мостов; обобщение опыта борьбы с оползнями на железных дорогах юга и юго-запада Европейской части СССР; геотехнические исследования и контроль за качеством строительства ГЭС и защитных сооружений.

Результаты исследований обобщались в научных публикациях. С первых лет своего суще-

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ствования ДИИТ практически ежегодно издавал сборник научных трудов. К 1961 году было выпущено 44 таких сборника, за этот период вышло в свет более тысячи научных публикаций, авторами которых были ученые ДИИТа.

Продолжалась деятельность Студенческого научного общества. Из года в год росло число его участников. Если в 1956 году на XVI конференции СНО было заслушано 42 студенческих доклада, то в 1957 – уже 104. В 1957 году в работе СНО принимало участие 150 студентов, руководил им студент В. Семенихин.

Важным событием в истории ДИИТа стал выход первого сборника студенческих научных работ, которые были отмечены как лучшие и рекомендованы в печать научно-технической конференцией СНО в 1958 году.

Учитывая высокий научный авторитет ДИИТа, Министерство высшего образования СССР решением от 29.10.1957 поручило институту руководство общесоюзным конкурсом на лучшую студенческую работу по вопросам железнодорожного транспорта и железнодорожного строительства. В дальнейшем ДИИТ неоднократно будет организатором проведения такого конкурса.

В отчете за 1961 год отмечено, что в ДИИТе за все время состоялось 22 конференции СНО, на которых обсуждались лучшие студенческие работы. Многие из них были выполнены на основе реальных заданий производства.

Так, в 1961 году была отмечена работа студента механического факультета Ф. Диденко, который в период прохождения практики в неурочное время работал в конструкторском отделе Астраханского тепловозоремонтного завода и выполнил проект автоматизации температурного режима сушильных печей электромашиного цеха, который был принят к внедрению.

В этот период получила широкое распространение такая форма укрепления связи с производством, как студенческие конструкторские бюро (СКБ), работавшие по реальным заказам. ДИИТ, имевший особенно прочные связи с предприятиями железнодорожной отрасли, не остался в стороне от этого движения.

Особенностью студенческих конструкторских бюро было то, что они образовывали небольшие мобильные творческие коллективы

под руководством одного-двух преподавателей для решения конкретных инженерно – технических задач. Кафедры шли на встречу студентам, и эти реальные проекты защищались как курсовые или дипломные работы.

По инициативе студентов механического факультета в 1960/61 учебном году было создано конструкторское бюро на вагоноремонтном заводе им. Кирова, в котором были спроектированы конвейерные линии для поточного ремонта вагонов и различные приспособления для механизации ремонтных работ. Все они нашли применение в цехах завода. Например, по проекту студента П. С. Сазанова была выполнена работа по модернизации горизонтальных вальцов в побелочном отделении.

Непосредственно на базе ДИИТа одним из первых такое бюро было образовано на факультете промышленно-гражданского строительства, а со временем СКБ действовали практически на каждом факультете.

Деятельность диитовских СКБ сразу же наполнилась реальными заказами. Среди первых весомых результатов их работы был проект комплексной реконструкции села Вольное. Эта работа студентов факультета ПГС нашла одобрение и поддержку областных советских и партийных органов, что означало немало в те времена для судьбы проекта.

В 1963 году в ДИИТе действовало уже шесть СКБ, которые объединяли инженерное творчество 177 студентов.

На факультете «Мосты и тоннели» также было организовано СПКБ, руководил которым начальник мостоиспытательной станции Г. Н. Штамбург. В рамках его работы студентами Н. М. Поповичем, К. И. Солдатовым, П. В. Бездетко выполнен проект мостового перехода, в соответствии с которым был сооружен мост через реку Песчанку в Орловщине (он сохранился и успешно действует до настоящего времени). Этот проект тогда был отмечен как один из лучших на Всесоюзном конкурсе студенческих работ.

За эти годы в ДИИТе был накоплен определенный положительный опыт привлечения студентов к решению конкретных задач внедрения инноваций на производстве, поэтому в 1965 году институт стал местом проведения семина-

ра руководителей студенческих научных обществ вузов Днепропетровщины. Проректор по научной работе профессор Б. В. Яковлев рассказал о работе кафедр по укреплению связей с ведущими специалистами железных дорог, заводов, строительных организаций, проектных институтов, которые предлагали конкретные, реальные темы для разработки их в секциях СНО, в студенческих конструкторских бюро, в курсовых и дипломных проектах.

Например, студенты мостового факультета разработали несколько проектов по заказу мостоотряда № 12, и все их предложения были учтены при строительстве автодорожного моста через Днепр. Студенческим конструкторским бюро факультета электрификации была разработана и внедрена на производстве усовершенствованная схема автоматического управления электровозом, а по проектам СКБ факультета промышленного и гражданского строительства построена водная станция ДИИТа и здание механической мастерской в колхозе имени Коминтерна Васильковского района.

Дополнил Б. В. Яковлева главный инженер завода «Светофор» А. В. Чирков, который рассказал о тесных связях инженерно-технического персонала завода с диитовцами.

Много энергии и творчества проявили новые проректоры ДИИТа: доктор технических наук, профессор Евгений Петрович Блохин [20], который в 1974 году возглавил в ректорате работу по организации учебно-воспитательного процесса, и доцент (впоследствии также доктор технических наук, профессор) Орест Макарович Савчук, руководивший с 1979 по 2000 год научной работой в институте.

На этом этапе в центре внимания ректората оставались вопросы подготовки докторов и кандидатов наук.

Процесс защиты докторских диссертаций в ДИИТе стал набирать темпы с 1966 года. Успешно защитили докторские диссертации в 1966 году Е. М. Шафит (кафедра ЭВМ) и А. Е. Белан (кафедра гидравлики), в 1967 году – Г. Н. Яковлев (кафедра мостов), в 1968 году – В. С. Губенко (кафедра высшей математики). В 1969 году доктором наук стал Ю. Д. Волошко (кафедра «Путь и путевое хозяйство»). В 1967 году утвержден в звании профессора Б. В. Яковлев (кафедра «Изыскания, проектирование и строительство железных дорог»).

doi 10.15802/stp2015/42158

Таблица 3

**Защита диссертаций сотрудниками
института и аспирантами**

Годы	Докторские диссертации	Кандидатские диссертации		
		Всего	В том числе	
			Аспиранты	Соискатели-производители
1930–1935	–	2	–	–
1936–1940	–	18	–	–
1941–1945	2	5	–	–
1946–1950	3	18	1	–
1951–1955	2	26	4	1
1956–1960	–	21	4	1
1961–1965	–	40	15	5
1966–1969	4	61	33	9
Всего:	11	191	57	16

За четыре года (с 1966 по 1969 год) был подготовлен 61 кандидат наук (31,9 % от общего количества за сорок лет).

В этот период в аспирантуре института проходило обучение 60 человек, но здесь еще сохранялась тенденция предоставления количественного преимущества заочной форме, по которой обучалось 33 аспиранта.

Начавшийся в ДИИТе процесс активизации подготовки кадров через аспирантуру не удалось поддержать в последующие годы. Руководство Министерства путей сообщения СССР, придерживаясь прежнего мнения о возможности качественной подготовки научных кадров в центральных вузах и научных учреждениях – в основном Москвы и Ленинграда, стало сокращать планы приема в аспирантуру, и уже к 1969 году в ДИИТе учился только 31 аспирант (в том числе 15 – заочно). Хотя качественные изменения в профессорско-преподавательском составе института, а также объем и направленность проводимых научных исследова-

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

дований давали возможность расширить работу аспирантуры.

В 1969 году в ДИИТе работали: один член-корреспондент Академии наук Украины (В. А. Лазарян), 13 профессоров (из них 11 докторов), 131 доцент (из них 127 кандидатов наук).

В институте была создана база для научного роста молодых сотрудников. Активизировался процесс формирования научных школ, постоянно действовал специализированный ученый совет по защите диссертаций, авторитет которого в научных кругах страны был высоким. Достаточно сказать, что практически ежегодно в совете ДИИТа половина диссертаций защищалась представителями других вузов и организаций. Так, в 1969 году таких диссертаций было 11 из 22.

Анализ практики планирования подготовки и защиты докторских диссертаций в 1966–1970 года доказал, что руководство ДИИТа часто возлагало надежды на результат работы тех, кто по разным причинам не имел достаточных перспектив и весомых результатов в научной работе. Из планируемых на этот период 10–15 защит докторских диссертаций состоялись единицы.

Поэтому в 1974 году был составлен перспективный план работы преподавателей по подготовке докторских диссертаций с учетом тщательного анализа уже имеющихся результатов исследований, обобщенных в научных публикациях. Особое внимание было обращено на актуальность научной темы. В состав перспективной группы были включены фамилии 26 доцентов, среди них – В. Г. Зазимко, В. Д. Данович, В. Г. Гусев, А. А. Босов, Н. А. Костин, М. Л. Коротенко, Б. М. Климовский, И. М. Остапенко, В. Н. Плахотник, О. М. Савчук и другие.

Отчеты этих преподавателей стали регулярно заслушиваться на совете института. Им предоставлялись определенные льготы по выезду в научные командировки, публикации результатов исследований, практиковалось предоставление творческих отпусков. В редакционно-издательском отделе ДИИТа в 1974 году вышло в свет 15 сборников научных трудов, 3 монографии, что было существенной помощью в работе диссертантов.

Окрепили новые формы работы с научной молодежью. В начале 1973 года был создан совет молодых ученых, который объединил около 250 сотрудников института. Руководил его деятельностью молодой доцент В. Д. Данович. Совет организовал работу школы молодых ученых, в которой перед своими младшими коллегами выступали ведущие ученые института. Так, профессор Н. Г. Бондарь провел в 1972/73 учебном году семинар по вопросам логики и методологии науки, математизации научных исследований, организации поисковой работы, а профессор М. Н. Гольдштейн ознакомил с теорией одно- и многофакторного экспериментов, методами статистической обработки результатов исследований, со связью учебного процесса с научной деятельностью.

По инициативе совета в 1969 году для преподавателей и инженеров института были организованы курсы программирования. Курировал их работу молодой сотрудник научно-исследовательского сектора В. А. Фадеев.

Совет молодых ученых оказывал существенную помощь в научной и педагогической работе сотрудникам – недавним выпускникам института, в контроле за повышением их квалификации, проведении тематических семинаров, подготовке и сдаче кандидатских экзаменов, содействии публикациям, организации досуга научной молодежи.

Такая целенаправленная работа по подготовке научных кадров имела определенные положительные результаты. Уже в 1975 году в ДИИТе работало 16 докторов наук (вдвое больше, чем 7 лет тому назад), 152 кандидата наук, что составляло 45 % от общего количества преподавателей.

С 1976 года несколько сократилось количество ежегодно защищаемых диссертаций в связи с перестройкой работы Высшей аттестационной комиссии (ВАК), когда были введены новые требования к диссертационным работам. В этот период многие специализированные ученые советы не работали, а некоторые были ликвидированы.

Так, если с 1966 по 1970 год в ДИИТе было защищено 5 докторских и 65 кандидатских диссертаций, с 1971 по 1975 год 5 и 69 соответственно, то за три года реорганизации работы ВАКа – 2 и 18. Только с 1979 года положение

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

с защитой диссертаций в ДИИТе начало стабилизироваться.

Процесс наращивания кадрового и научного потенциала института включал борьбу за сохранение передовых позиций в использовании достижений научно-технического прогресса. Особое внимание в этот период в ДИИТе уделялось внедрению в организацию учебного процесса и научных исследований ЭВМ. Развитию этого направления в значительной мере способствовало то, что по инициативе профессора В. А. Лазаряна вычислительная техника с самого начала концентрировалась в одном подразделении, где были собраны лучшие, высококвалифицированные специалисты института, которые самостоятельно производили установку, ввод в эксплуатацию и обслуживание новейших ЭВМ. Огромную роль сыграло и то, что в ДИИТе с 1962 года начали готовить инженеро-математиков.

В 1971/72 учебном году по решению ректора началось переоборудование аудиторий 266 и 268 нового учебного корпуса под установку новой машины «Минск-32». А в 1974 году – снова новоселье: в только что построенном, специально оборудованном блоке № 2 старого корпуса началась новая жизнь вычислительного центра ДИИТа. Правда, тогда он еще продолжал носить официальное название «Научно-исследовательская лаборатория вычислительных и управляющих машин».

Введение в эксплуатацию новых вычислительных машин в ДИИТе всегда было знаменательным событием. Работа этих ЭВМ бралась под контроль главного управления вычислительной техники Министерства путей сообщения СССР и главного управления вычислительных работ Центрального статистического управления СССР. Эффективность использования машин находилась также под бдительным контролем руководства института. Ректорат устанавливал жесткие сроки освоения новых моделей. В то время каждая из них представляла собой довольно громоздкий вычислительный комплекс, занимавший площадь размером несколько десятков квадратных метров. На монтаж и отладку работы такого комплекса иногда уходили месяцы. Но в ДИИТе эти сроки были минимальны, так как практически всегда

пуско-наладочные работы выполнялись силами специалистов института.

Например, уже в январе 1973 года, через месяц после установки ЭВМ «Минск-32», научный руководитель работ профессор Е. М. Шафит и начальник вычислительного центра Л. Л. Подольский обязались срочно подготовить математическое обеспечение машины, до конца первого полугодия организовать ее комплексное использование в одну – две очереди, а с начала второго полугодия в – три-четыре очереди, и к октябрю уже составить на основе поступивших заявок план загрузки машины на 1974 год. Устанавливалась такая очередность выполнения работ на ЭВМ: во-первых, учебные занятия по расписанию института, во-вторых – выполнение заданий научно-исследовательского сектора, потом решение оперативных задач Приднепровской железной дороги, затем – заказы кафедр.

В 1975 году были выполнены работы по введению в эксплуатацию ЭВМ «ЕС-1020». Работа машины была отлажена в короткие сроки благодаря высокой квалификации таких сотрудников, как С. И. Нежумира, В. К. Стельмах, В. С. Васянович, А. Е. Монин, А. Г. Зайченко, а также группы системного программирования под руководством А. В. Рыжова.

Введение этой мощнейшей на то время ЭВМ позволило не только обеспечить выполнение широкомасштабных научных исследований, но и поднять на новый уровень профессиональную подготовку студентов. Здесь на практике диитовцы приобретали опыт работы с перфокартами, учились основам программирования, осваивали общение с ЭВМ на языке алгоритмов. Усилиями сотрудников ВЦ были значительно расширены возможности эффективного использования ЭВМ: с 1978 года был введен многопрограммный режим работы ЭВМ.

С 1976 года имевшийся парк так называемых «малых» ЭВМ типа «Проминь» и «Наири», который был рассредоточен по кафедрам и подразделениям института, стал концентрироваться в единой научно-исследовательской вычислительной лаборатории, которой руководил Л. Л. Подольский. Это дало возможность студентам более рационально использовать

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

машинное время под контролем специалистов и при возможности их консультаций.

Таким образом, к 1977 году вычислительная техника стала неотъемлемой частью учебного процесса на всех выпускающих кафедрах института. Научно-педагогические коллективы теперь сосредоточили внимание на совершенствовании методики использования ЭВМ.

Благодаря накопленному опыту работы, высокой квалификации сотрудников ДИИТ обрел статус базовой организации отрасли по использованию вычислительной техники.

С 1972 по 1980 год в институте регулярно проводились семинары-совещания руководителей вычислительных центров железных дорог Украины, участники которых с особым вниманием обсуждали проблемы эксплуатации ЭВМ новых поколений.

Значительным событием в жизни института стал пуск в 1980 году быстродействующей ЭВМ (500 тысяч операций в секунду) «ЕС-1050». Машину такой мощности до этого времени не имело ни одно высшее учебное заведение Министерства путей сообщения СССР. При пуске этой машины усилиями творческого коллектива диитовцев была разработана система, позволявшая программисту непосредственно «общаться» с машиной. Эту работу по совершенствованию системного математического обеспечения выполнила группа программистов во главе с доцентом А. В. Рыжовым, который вместе с А. П. Сушкиным применил в работе ЕС-1050 комплекты видеотерминальных устройств (ДУВЗ).

Этот период охарактеризовался интенсификацией деятельности научных школ ДИИТа, которые приобрели мощный кадровый потенциал и соответствующую материально-техническую базу.

Пятый этап (с 1991 г. по настоящее время). Пережив трудные времена советской перестройки и распад Советского Союза, пройдя рубеж XX–XXI столетий, ДИИТ (ныне Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна) при всех трансформациях в названии и формах подчинения сумел не только не утратить, а приумножить одну из главных составляющих своей деятельности – способность сохранять неразрывную связь научных исследова-

ний и производства [13]. Во многом этому способствовало укрепление традиций научных школ [16], в рамках которых сохранялась преемственность поколений, объединенных определенной исследовательской проблемной задачей.

В настоящее время среди ведущих научных школ Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна можно назвать, прежде всего, научную школу транспортной механики, которая приобрела за 7 десятилетий своего существования огромный международный авторитет [20]. Ее история представлена именами академика НАН Украины В. А. Лазаряна, профессоров Блохина Е. П. [4, 6], Конашенко С. И. [4], Дановича В. Д. [4], Манашкина Л. А. [6, 7], Коротенко М. Л. [4], Пшинько А. Н. [4, 5, 6, 7], Мямлина С. В. [15], Скалозуба В. В. [4, 6], Горобца В. Л. [4, 6]. Список этот далеко не полный, поскольку его продолжение заняло бы не один десяток строк, а многие имена могут быть представлены в рамках других направлений научных исследований, связанных с проблемами транспортной отрасли.

Фундамент научного потенциала ДИИТа на современном этапе составляют такие исследовательские коллективы, как:

- научная школа динамики мостов и строительных конструкций, в рамках которой работали известные ученые академик Бондарь Н. Г., профессор Лучко И. И., профессор Казакевич М. И., профессор Распопов А. С.;

- научная школа механики грунтов, представленная именами профессора Гольдштейна А. Н., Петренко В. Д.;

- научная школа совершенствования конструкции, технического обслуживания и технологии ремонта вагонов, где накоплен опыт инжиниринга вагонов и вагонного хозяйства, разработаны уникальные методы исследования надежности вагонов. Над этими проблемами работали такие ученые, как профессор Винокуров М. В., профессор Савчук В. С., профессор Мямлин С. В.;

- научная школа функциональной диагностики и надежности локомотивов, создателем которой был профессор Тверитин В. Н. Среди его последователей – профессор Кузне-

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

цов Т. Ф., профессор Федорец В. А., профессор Боднар Б. Е, профессор Капица М. И.;

– научная школа механики железнодорожного пути, для укрепления авторитета которой на международном уровне немало сделали профессор Фришман М. А., профессор Данович В. Д., профессор Рыбкин В. В.;

– научная школа усовершенствования станционной техники и технологий эксплуатационной работы, которая известна уникальными результатами исследований таких ученых как профессор Ющенко Н. Р., профессор Бобровский В. И., профессор Козаченко Д. Н.;

– научная школа технологий транспортного строительства и совершенствования строительных конструкций получила широкую известность как в отечественных научных кругах, так и за рубежом благодаря трудам профессора Зазимко В. Г., профессора Пшинько А. Н., профессора Нетесы Н. И., профессора Радкевича А. В., профессора Банникова Д. О., профессора Волковой В. Е.;

– научная школа транспортной экологии и химии фторидов, у истоков которой стояли профессор Ройтер В. А., профессор Лебедев П. П., профессор Розеберг В. А. Научные исследования по данной проблематике приобрели значительные масштабы под руководством профессора Рысса И. Г., а позже – профессора Плахотника В. Н.;

– научная школа надежности электроподвижного состава железных дорог, известность которой принесли работы таких ученых, как профессор Гетьман Г. К., профессор Афанасов А. М., профессор Артемчук В. В.;

– научная школа электрохимии и технологий восстановления деталей подвижного состава железных дорог и промышленного транспорта, в становление и развитие которой внесли вклад профессор Костин Н. А., профессор Михайличенко П. Е.;

– научная школа надежности электрооборудования железнодорожного подвижного состава представлена именами профессоров Дубинца Л. В., Мухи А. Н.;

– научная школа теории электромагнитной совместимости и повышения надежности железнодорожной автоматики, в составе которой работают профессор Гаврилюк В. И., профессор Разгонов А. П.;

– научная школа совершенствования методов проектирования и строительства железнодорожных линий и автодорог, результаты работы которой известны по трудам профессора Яковлева Б. В., профессора Кургана Н. Б.;

– научная школа физики твердого тела и конденсированных материалов, в рамках которой работал профессор Россихин В. В., а ныне руководит научными исследованиями профессор Заблудовский В. А.;

– научная школа автоматизации транспортных технологий получила развитие благодаря трудам профессора Шафита Е. М., профессора Жуковицкого И. В., профессора Косолапова А. А.;

– научная школа гидромеханики и технических систем водоснабжения предприятий железнодорожного транспорта представлена трудами профессора Белана А. Е., профессора Беляева Н. Н.;

– научная школа совершенствования математических методов решения задач управления на железнодорожном транспорте известна результатами исследований профессора Егорова А. И., профессора Босова А. А., профессора Когута П. И., профессора Капустяна В. Е., профессора Пичугова С. А.;

– научная школа эффективного управления и экономики железнодорожного транспорта приобрела значительный авторитет и новые темпы развития благодаря трудам профессора Бараша Ю. С. и профессора Гненного О. Н.;

– научная школа материаловедения и технологии электросварки на транспорте, известна трудами профессора Колесова С. Н., профессора Вакуленко И. А.;

– научная школа развития теории энергоэффективности тепловой энергетики известна трудами профессора Кравца В. В., профессора Габринца В. А., профессора Головчука А. Ф.;

– научная школа совершенствования математических методов и средств прикладной математики, весомым вкладом в развитие которой являются труды профессора Огиевского И. Ю., профессора Губенко В. С., профессора Кравца В. В., профессора Кузнецова В. Н.

В настоящее время продолжается наращивание научного потенциала Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна как

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ведущего вуза транспортной отрасли. Идет формирование новых научных школ, в рамках которых ведутся исследования по таким направлениям, как интеллектуальные транспортные системы, информатизация на транспорте, высокоэффективные методы организации национальной экономики, философия гендерных отношений, экономический анализ и методология оценочной деятельности.

По результатам научной деятельности последних лет ДИИТ занимает первое место среди вузов Украины по количеству и объемам хозяйственных договоров с отечественными и зарубежными предприятиями и организациями. Достижения ученых университета удостоены Государственными премиями в области науки и техники, а также Премиями Президента Украины и Премиями Верховного Совета Украины для молодых ученых, что свидетельствует о преемственности поколений и надежных перспективах укрепления научного потенциала.

Научная новизна и практическая значимость

В контексте исследования проблем реформирования системы высшего образования как одной из сфер генерирования и трансляции научных знаний анализ формирования научного потенциала одного из крупнейших отечественных вузов является актуальным, поскольку генезис системы западноевропейского высшего образования имеет другие временные и пространственные рамки, а главное – совершенно иную структурную единицу – классический университет [13, 19].

Впервые на основе периодизации выделены формы и методы формирования научного потенциала отраслевого вуза, выявлена их уникальность с точки зрения сложившихся исторических условий, проанализирован процесс формирования научных школ как важной составляющей развития отечественной науки.

На основе анализа архивных документов доказано, что во все периоды истории высшего учебного заведения важной детерминантой сохранения его научного потенциала и достижения высокой эффективности работы является связь вуза с производством, в данном конкрет-

ном случае – с проблемами развития железнодорожного транспорта.

Данная работа может быть использована при создании историографических трудов и учебных пособий по проблемам высшего образования; исследовании вопросов становления и развития отечественных научных школ, традиций университетской науки Украины, в курсе лекций по дисциплинам «История развития железнодорожного транспорта», «Введение в специальность», «Методика инженерной деятельности».

Выводы

Ретроспективный анализ формирования научного потенциала ДИИТа как одного из крупнейших отечественных вузов показал, что этот процесс имеет свои уникальные особенности для определенных исторических периодов. В данной работе их выделено пять.

Масштабы советской индустриализации делают ключевой фигурой глобальных преобразований во всех отраслях промышленности и на транспорте инженера, и на этом этапе своей истории СССР применяет совершенно новую тактику формирования научно-технической части общества.

Особенностью первого периода является беспрецедентная организаторская работа по созданию высших учебных заведений технического профиля в условиях «нулевого старта», которая была возможна только при наличии таких факторов, как мощная политическая воля на уровне государственных структур, возможность целевого финансирования (например, отраслевого), деятельность инициативных лидеров в системе образования (таких как Н. М. Федиченко).

Особенностью второго периода является применение в сложнейших военных условиях тех форм и методов сохранения научного потенциала вуза, которые предполагают наличие особого менталитета, одной из главных составляющих которого является патриотизм и уверенность в мощи государства, основанные на определенной идеологии.

Особенностью последующих периодов является присутствие в деятельности коллектива вуза сформировавшихся традиций, основанных на тесной связи с проблемами развития соответст-

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

вующей отрасли, в рассматриваемом случае – железнодорожным транспортом, постоянное укрепление базы научных исследований, применение инновационных форм и методов их ведения.

Перспективы эффективного использования научного потенциала Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна как одного из ведущих отечественных вузов предусматривают активизацию мер по сохранению кадров научных школ, формировавшихся не одно десятилетие на основе традиций преемственности поколений и тематики научных исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Барбас, Й. Г. Всеволод Арутюнович Лазарян : биобиблиогр. указат. / И. Г. Барбас, О. М. Ратникова, С. И. Филиппук // Академия наук УССР. – Киев : Наукова думка, 1980. – 67 с.
2. Блохін Євген Петрович [Електронний ресурс] : біобібліогр. покажч. / М. А. Дронь, А. О. Каіра, С. В. Калашникова, І. А. Попович. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2014. – 95 с. – Режим доступа: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/12345-6789/3471>. – Загл. с экрана. – Проверено 16.04.2015.
3. Встреча друзей // Гудок. – 1952. – 19 февр.
4. Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта: история и современность : библиогр. указат. за 1958-2006 гг. / А. А. Коваленко, Е. П. Кульбач, Л. Г. Назаренко [и др.]. – Днепропетровск, 2006. – 270 с.
5. Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта: события, факты, личности [Електронний ресурс] : библиогр. указат. за 2007–2012 г.г. / М. А. Дронь, А. О. Каіра, С. В. Калашникова [и др.]. – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2013. – 137 с. – Режим доступа: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/3470>. – Загл. с экрана. – Проверено 16.04.2015.
6. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту: події, факти, особистості [Електронний ресурс] : бібліогр. покажч. за 2013 р. / М. А. Дронь, А. О. Каіра, С. В. Калашникова, І. А. Попович. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2014. – 27 с. – Режим доступа: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/3470>. – Загл. с экрана. – Проверено 16.04.2015.
7. Друковані праці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. А. Лазаряна [Електронний ресурс] : бібліогр. покажч. за 2012 р. / М. А. Дронь, А. О. Каіра, С. В. Калашникова, І. А. Попович. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2014. – 215 с.
8. История Петербургского государственного университета путей сообщения : в 2 т., 3 кн. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2009. – Т. I. – 534 с.
9. Кармазин, Г. Уходили добровольцы: страницы героического прошлого / Г. Кармазин // За кадры транспорта. – 1961. – 22 февр. – С. 1.
10. Миргородська, А. І. Сергій Віталійович Мямлін : бібліогр. покажч. [Електронний ресурс] / А. І. Миргородська, В. В. Юнаковська. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2014. – 110 с. – Режим доступа: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/2350>. – Загл. с экрана. – Проверено 16.03.2015.
11. Мямлин, С. В. Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. В. Лазаряна: вехи истории и ориентиры в будущее / С. В. Мямлин, И. В. Агиенко // Вагонный парк. – 2010. – № 6. – С. 60–64.
12. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» / Г. В. Лисачук [и др.]. – Харьков : НТУ ХПИ, 2003. – 120 с.
13. Опубликованные работы сотрудников Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта : библиогр. указат. 1930–1960 гг. / Н. Ф. Ражда / Днепропетр. ин-т инженеров ж.-д. трансп. – Днепропетровск, 1964. – 139 с.
14. Поляков, М. В. Класичний університет: еволюція, сучасний стан, перспективи / М. В. Поляков, В. С. Савчук. – Київ : Генеза, 2004. – 416 с.
15. Св. 61996 Україна. Свідоцтво на знак для товарів і послуг / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – № 20040707254 ; заявл. 12.07.2004; опубл. 11.08.2014 ; Бюл. № 15 – 1 с.
16. Школы в науке / Под ред. С. Р. Микулинского, М. Г. Ярошевского, Г. Кребера, Г. Штейнера. – Москва : Наука, 1977. – 510 с.
17. Ющенко Микола Романович : біобібліогр. покажч. [Електронний ресурс] / А. С. Дорош, Є. Б. Демченко, М. А. Дронь, [та ін.]. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2014. – 29 с. – Режим доступа: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/2753>. – Загл. с экрана. – Проверено 16.03.2015.
18. Dhondt, P. The University of Dorpat as a (n) (inter) National institution at its 50th anniversary in 1852 / P. Dhondt, S. Tamul // National, Nordic

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

- or European? Nineteenth-century university jubilees and Nordic cooperation. – 2011. – № 25 (4). – P. 39–69. doi: 10.1163/9789004218307_004.
19. Jaspers, K. Die Idee der Universität. – Reprint / K. Jaspers. – Berlin, Heidelberg, New York : Springer, 1980. – 131 p. doi: 10.1007/978-3-642-61848-2.
 20. Myamlin, S. V. Development of Scientific School of Transport Mechanics: Artistic Legacy of Ye. P. Blokhin / S. V. Myamlin, T. A. Kolesnykova // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 1 (49). – С. 7–21. doi:10.15802/stp2014/22657.
 21. Woggon, W-D. Celebrating the 550th Anniversary of the University of Basel: Centuries of Excellence in Chemistry // CHIMIA Intern. J. for Chemistry. – 2010. – № 64 (12). – P. 844–845. doi: 10.2533/chimia.2010.844.
 22. Xuhong, Q. Celebrating the 60th Anniversary of East China University of Science and Technology // Q. Xuhong. – 2012. – Vol. 30. – Iss. 12. – P. 2731. doi:10.1002/cjoc.20129003.

С. В. МЯМЛІН¹, І. В. АГІЄНКО^{2*}

¹Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 776 84 98, ел. пошта sergeymyamlin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

^{2*}Каф. «Облік, аудит та інтелектуальна власність», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (050) 48 85 614, e-mail iva1407iva@ukr.net, ORCID 0000-0001-6935-5510

РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ ФОРМУВАННЯ НАУКОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

Мета. Дослідження передбачає аналіз етапів, форм і методів формування наукового потенціалу Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ) і вкладу його колективу у розвиток вітчизняної та світової науки. **Методика.** Застосування історико-хронологічних, порівняльних, описових методів дослідження, систематизація та аналіз архівних документів вітчизняних і зарубіжних фондів дозволяє виявити форми та засоби формування наукового потенціалу ДНУЗТ протягом 85 років його діяльності. Застосування методу періодизації надає можливість виділити основні етапи та особливості цього процесу. Використано методи аналізу та синтезу, а також методи експертних оцінок. **Результати.** На основі детального аналізу значного масиву архівних документів виділені основні етапи формування наукового потенціалу ДНУЗТ за 85 років його існування, визначено їх особливості з урахуванням історичних та соціальних умов, а також внесок поколінь професорсько-викладацького складу (і окремих представників) у цей процес. Проаналізовано форми та методи збереження спадкоємності наукових кадрів і результативності їх досліджень у рамках наукових шкіл, які сформувалися в Дніпропетровському інституті інженерів залізничного транспорту (ДІІТ), та до теперішнього часу відіграють значну роль у зміцненні авторитету ДНУЗТ як провідного вітчизняного вищого навчального закладу та головної наукової організації в області залізничного транспорту та транспортного будівництва. Проаналізовано основні етапи процесу становлення вищого навчального закладу, починаючи від спеціалізованого галузевого інституту до політехнічного дослідницького університету із сучасною науковою базою для проведення теоретичних та експериментальних досліджень. **Наукова новизна.** У контексті дослідження проблеми реформування системи вищої освіти як однієї зі сфер генерування й трансляції наукових знань аналіз формування наукового потенціалу одного з найбільших вітчизняних вузів є актуальним, оскільки генеза системи західноєвропейської вищої освіти має інші часові та просторові рамки, а головне – зовсім іншу структурну одиницю – класичний університет. Вперше на основі періодизації виділені форми та методи формування наукового потенціалу галузевого університету, виявлено їх унікальність із точки зору склавшихся історичних умов, проаналізовано процес формування наукових шкіл як важливої складової розвитку вітчизняної науки. На основі аналізу архівних документів доведено, що в усі періоди історії вищого навчального закладу важливою детермінантою підвищення його наукового потенціалу та дослідження високої ефективності роботи є зв'язок університету з виробництвом, а саме – із проблемами та перспективами розвитку залізничного транспорту. **Практична значимість.** Результати даного дослідження можуть бути використані при створенні історіо-

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

графічних праць і навчальних посібників з проблем вищої освіти; дослідженні питань становлення та розвитку вітчизняних наукових шкіл, традицій університетської науки України, в курсі лекцій з дисциплін «Історія розвитку залізничного транспорту», «Вступ до спеціальності», «Методологія інженерної діяльності»

Ключові слова: науковий потенціал; Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна; наукові школи; залізничний транспорт; інженерні кадри; професорсько-викладацький колектив; наукові дослідження; науковий супровід розвитку залізничної галузі

S. V. MYAMLIN¹, I. V. AHIENKO^{2*}

¹Dep. «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) 776 84 98, e-mail sergeymyamin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

^{2*}Dep. «Account, Audit and Intellectual Property», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St. 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 48 85 614, e-mail iva1407iva@ukr.net, ORCID 0000-0001-6935-5510

RETROSPECTIVE ANALYSIS OF THE SCIENTIFIC POTENTIAL FORMATION OF DNIPROPETROVSK NATIONAL UNIVERSITY OF RAILWAY TRANSPORT NAMED AFTER ACADEMICIAN V. LAZARYAN

Purpose. The study involves the analysis of stages, formation forms and methods of the scientific potential of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (DNURT) and contribution of its staff in the development of national and world science. **Methodology.** The use of historical and chronological, comparative, descriptive methods of research, systematization and analysis of archival documents of domestic and foreign funds allows identifying formation forms and means of scientific potential of DNURT over the 85 years of its existence. The periodization method makes it possible to distinguish the main stages and peculiarities of this process. The methods of analysis and synthesis as well as methods of expert assessments were applied. **Findings.** On the basis of a detailed analysis of the considerable archival documents array the basic stages of scientific potential formation of DNURT in the 85 years of its existence were highlighted. Their features with taking into account the historical and social conditions as well as contribution of university faculty generations (and some individuals) in this process were determined. The forms and methods of continuity of scientific personnel and the impact of their research within the academic schools, formed at the Dnipropetrovsk Institute of Engineers of Railway Transport (DIERT) were analyzed. Up to the present they play a significant role in strengthening the authority of DNURT as a leading national institution of higher education and principal scientific organization in the field of railway transport and transport construction. Main stages of the University formation beginning from specialized industry institution to the Polytechnic Research University with modern scientific base for theoretical and experimental research were highlighted. **Originality.** In the research context concerning reforming problems of higher education system as one of the areas of generation and translation of scientific knowledge, the analysis of the scientific potential formation of one of the largest national Universities is important. It is connected with the fact that the genesis of the Western European system of higher education has some other constraints of time and space, and the most importantly – it has completely different structural unit – the classical University. For the first time on the basis of periodization the forms and methods formation of the scientific potential of Industry University were focused, their uniqueness from the point of view of the prevailing historical conditions was revealed, the forming process of scientific schools as an important component in the development of national science was analyzed. On the base of the analysis of archival documents it was proved that in all periods of University history, the important determinant of its scientific potential increase and high performance achievements is the relationship between the University and production, and in this particular case – with the problems and future of railway transport development. **Practical value.** The results of the paper can be used at creation of historiographical papers and study guides on issues of higher education; research of formation and development the issues of national scientific schools and traditions of the University of Ukrainian science, in the course of lectures on disciplines «History of railway transport development», «Introduction to specialty», and «Methodology of engineering activity».

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

Keywords: scientific potential; Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan; scientific schools; railway transport; engineering skills; university faculty; research; scientific support for the development of the railway branch

REFERENCES

1. Barbas I.G., Ratnikova O.M., Filipyuk S.I. *Vsevolod Arutyunovich Lazaryan*. Akademiya nauk USSR [Academy of Sciences of the USSR]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1980. 67 p.
2. Dron M.A., Kaira A.O., Kalashnykova S.V., Popovych I.A. *Blokhin Yevhen Petrovych*. Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan Publ., 2014. 95 p. Available at: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/3471> (Accessed 16 March 2015).
3. Vstrecha друзей [Meeting of friends]. *Gudok – The hooter*, 1952, Febr., 19.
4. Kovalenko A.A., Kulbach Ye.P., Nazarenko L.G., Sushchenko M.V., Yunakovskaya V.V. *Dnepropetrovskiy natsionalnyi universitet zheleznodorozhnogo transporta : istoriya i sovremennost* [Dnipropetrovsk National University of Railway Transport: history and modernity]. Dnipropetrovsk, 2006. 270 p.
5. Dron M.A., Kaira A.O., Kalashnikova S.V., Kucherenko Yu.V., Popovich I.A. *Dnepropetrovskiy natsionalnyi universitet zheleznodorozhnogo transporta: sobyitiya, fakty, lichnosti* [Dnepropetrovsk National University of Railway Transport: events, facts, personality]. Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan Publ., 2013. 137 p. Available at: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/3470> (Accessed 16 March 2015).
6. Dron M.A., Kaira A.O., Kalashnykova S.V., Popovych I.A. *Dnepropetrovskiy natsionalnyi universitet zaliznychnoho transportu: podii, fakty, osobystosti* [Dnipropetrovsk National University of Railway Transport: events, facts, personalities]. Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan Publ., 2014. 27 p. Available at: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/3470> (Accessed 16 March 2015).
7. Dron M.A., Kaira A.O., Kalashnykova S.V., Popovych I.A. *Drukovanii pratsi Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. A. Lazariana* [Published works of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan]. Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan Publ., 2014. 215 p.
8. *Istoriya Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [The history of St. Petersburg State University of Communication Means]. Saint-Petersburg, PGUPS Publ., 2009. Vol I. 3 books. 534 p.
9. Karmazin G. Ukhodili dobrovoltsy: stranitsy geroicheskogo proshlogo [The volunteers left: the heroic pages of the past]. *Za kadry transporta – Transport resources*, 1961, Febr., 22. P. 1.
10. Myamlin S.V., Agiyenko I.V. *Dnepropetrovskiy natsionalnyi universitet zheleznodorozhnogo transporta im. V. Lazaryana: vekhi istorii i orientiry v budushcheye* [Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan: history milestones and benchmarks in the future]. *Vagonnyy park – Car Park*, 2010, no. 6, pp. 60–64.
11. Lisachuk G.V. *Natsionalnyi tekhnicheskii universitet «Kharkovskiy politekhnicheskii institut»* [National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»]. Kharkiv, National Technical University Kharkiv Polytechnic Institute, 2003. 120 p.
12. Razhda N.F. Opublikovannie raboty sotrudnikov Dnepropetrovskogo instituta inzhenerov zheleznodorozhnogo transporta: bibliografiya 1930–1960 gg [Published issues of employees of Dnipropetrovsk Institute of Railway Engineers: bibliography 1930–1960 years]. Dnipropetrovsk, 1964. 139 p.
13. Poliakov M.V., Savchuk V.S. *Klasychnyi universitet: evoliutsiia, suchasnyi stan, perspektivy* [Classic University: evolution, current status, prospects]. Kyiv, Heneza Publ., 2004. 416 p.
14. *Svidotstvo 61996 Ukraina. Svidotstvo na znak dlya tovariv i poslug* [Ukraine. Certificate of trademark for goods and service]. Dnipropetrovsk. № 20040707254; Byul. № 15, 1 p.
15. Myrhorodska A.I., Yunakovska V.V. *Serhii Vitaliiovich Miamlin*. Dnipropetrovsk, DNUZT Publ., 2014. 110 p. Available at: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/2350> (Accessed 16 March 2015).
16. Mikulinskiy S.R., Yaroshevskiy M.G., Kreber G., Shteyner G. *Shkoly v nauke* [Schools in Science]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 510 p.
17. Dorosh A.S., Demchenko Ye.B., Dron M.A., Kaira A.O., Kalashnykova S.V., Popovych I.A. *Yushchenko Mykola Romanovych*. Dnipropetrovsk, DNUZT Publ., 2014. 29 p. Available at: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/2753> (Accessed 16 March 2015).

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

18. Dhondt P., Tamul S. The University of Dorpat as a (n) (inter)national institution at its 50th anniversary in 1852. National, Nordic or European? Nineteenth-century university jubilees and Nordic cooperation, 2011, no. 25 (4), pp. 39-69. doi: 10.1163/9789004218307_004.
19. Jaspers K. Die Idee der Universität. – Reprint. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Publ, 1980. 131 p. doi: 10.1007/978-3-642-61848-2.
20. Myamlin S.V., Kolesnykova T.A. Development of Scientific School of Transport Mechanics: Artistic Legacy of Ye. P. Blokhin. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 1 (49), pp. 7-21. doi:10.15802/stp2014/22657.
21. Woggon W-D. Celebrating the 550th Anniversary of the University of Basel: Centuries of Excellence in Chemistry. *CHIMIA Intern. J. for Chemistry*, 2010, no. 64 (12), pp. 844-845. doi: 10.2533/chimia.2010.844.
22. Xuhong Q. Celebrating the 60th Anniversary of East China University of Science and Technology. *Chinese Journal of Chemistry*, 2012, vol. 30, issue 12, p. 2731. doi:10.1002/cjoc.201290036.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Бейгулом Олегом Алексеевичем (Украина)

Поступила в редколлегию 16.01.2015

Принята к печати 02.03.2015

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 625.151-047.38

С. Ю. БУРЯК^{1*}, В. И. ГАВРИЛЮК², О. А. ГОЛОЛОВОВА³, М. А. КОВРИГИН⁴

^{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 bsyur@mail.ru, ORCID 0000-0002-8251-785X

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 gvi_dr@mail.ru, ORCID 0000-0001-9954-4478

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 gololobova_oksana@i.ua, ORCID 0000-0003-1857-8196

⁴Каф. «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 Kovrygin_Mikhail@mail.ru, ORCID 0000-0001-5092-8307

ДИСТАНЦИОННОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ ПО ВРЕМЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ И СПЕКТРАЛЬНОМУ СОСТАВУ ТОКОВОЙ КРИВОЙ

Цель. Работа направлена на разработку и внедрение системы диагностирования стрелок, которая бы позволила дистанционно определять текущее состояние стрелочного перевода со всеми возможными неисправностями, постепенными и внезапными отказами, повреждениями, и в режиме реального времени сообщать об их появлении. **Методика.** Диагностирование состояния по анализу величин основных параметров стрелочных переводов предлагается осуществлять при помощи компьютера и аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Подключение для выполнения измерений целесообразно производить к шунту амперметра, установленного в рабочей цепи стрелочной питающей панели. АЦП преобразовывает аналоговый сигнал падения напряжения на шунте в цифровой вид и передает его на компьютер, который сохраняет полученные данные на собственном носителе информации с целью их дальнейшей обработки и хранения. При помощи специального программного обеспечения, способного восстанавливать сигнал и строить его временную характеристику, а также раскладывать его на спектральные составляющие, производится анализ полученных данных. Анализ позволяет диагностировать состояние стрелок по изменению характера, значений и составу кривой тока. **Результаты.** Метод компьютерной диагностики получил практическое подтверждение возможности определения неисправностей, которые связаны как с механической, так и с электрической частью стрелочного перевода. При этом контролируются такие параметры, как: величина тока нормального перевода при работе на фрикцию; длительность перевода; правильность регулировки гарнитуры и узлов крепления; состояние электродвигателя. **Научная новизна.** Применение вычислительной техники при диагностировании состояния стрелочных переводов в процессе их эксплуатации (для контроля текущих величин технических показателей, анализа и хранения данных для всех видов стрелочных электроприводов с различными видами двигателей как постоянного, так и переменного тока) происходит посредством оцифровывания и записи сигнала с измерительного шунта стрелочной питающей панели. **Практическая значимость.** Предложенный метод позволяет своевременно,

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

еще на начальных этапах образования дефектов деталей, неисправностей узлов или поломок механизмов, обнаруживать и устранять их. Кроме этого, он приводит к снижению загруженности электромехаников при выполнении графика технического обслуживания. Внедрение диагностического анализа состояния стрелочного перевода с использованием компьютерной техники позволит определять появление неисправностей на ранних этапах их образования и предотвращать развитие трудноустраняемых повреждений или необходимости их полной замены.

Ключевые слова: электропривод; стрелочный перевод; постоянный ток; переменный ток; анализ сигнала; диагностирование; временная зависимость; спектральный состав; панель питания

Введение

Железнодорожный транспорт со времен своего создания в IX веке по праву считается самым безопасным видом транспорта. Число несчастных случаев на железнодорожном транспорте во много раз меньше по отношению к количеству перевезенных пассажиров, чем у других видов транспорта.

Высокий показатель безопасности перевозок железнодорожным транспортом является результатом накопления многолетнего опыта обращения пассажирского движения и перевозок грузов, внедрения передовых принципов и тенденций развития, а также применения новых технологий. Но, несмотря на это, безопасность движения является комплексным показателем, поскольку на нее имеют влияние все без исключения системы, устройства и технические средства, которые принимают участие как в обеспечении движения поездов, так и во всего рода вспомогательных, восстановительных, ремонтных, эксплуатационных, снабженческих, хозяйственных и других видах деятельности, которые представляют собой сложный технологический процесс, направленный на функционирование системы в целом.

Технический прогресс, все чаще внедряющийся во всех областях и сферах деятельности железнодорожного транспорта, обеспечивает все больше возможностей по увеличению числа перевезенных пассажиров и объема грузовых перевозок посредством работы все меньшего числа людей, работающих в различных службах. С одной стороны, заменившие человека технологические средства повысили уровень безопасности всей системы железнодорожного сообщения в целом и сделали возможным повышение скоростей движения и объема грузовых перевозок. С другой же стороны, они стали причиной появления огромного количества инструкций, которым обязан следовать каждый

работник железной дороги. Согласно инструкциям у каждой из действующих служб железнодорожного транспорта, связанных с движением поездов, разработан и утвержден график технологического процесса. Выполнение данного графика включает в себя работы по обслуживанию технических средств, систем, установок, оборудования и прочих объектов, находящихся в хозяйствовании соответствующих служб с целью проведения комплекса мероприятий, направленных на поддержание, улучшение или исправление его текущего состояния.

Строгое соблюдение и выполнение в точности технологическим картам графика технологического процесса требуется согласно правилам, изложенным в инструкциях по эксплуатации и порядку выполнения работ, и контролируется ревизионным аппаратом. О выполнении различных работ, возложенных на сотрудника железной дороги должностными инструкциями, делается отметка в соответствующем журнале проведения работ. Легко при этом заметить, что важной особенностью в работе железнодорожного транспорта является дисциплинированность. Изо дня в день десятки тысяч людей по всей Украине выполняют одну и ту же работу по поиску и устранению неисправностей, обеспечению перевозочного процесса, ремонту и изготовлению деталей, машин, оборудования.

Складывается такая ситуация, что очень часто у работников железной дороги при выполнении графика технологического процесса просто не остается времени на устранение внезапных случайных отказов или повреждений. Работник бросается на устранение возникших неисправностей и не выполняет в данный момент график обслуживания, поскольку не может быть одновременно в двух местах. Чем дальше, тем более запущенным становится этот процесс, поскольку устройства и механизмы,

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

которые эксплуатируются на железных дорогах Украины, все больше и больше изнашиваются и устаревают, при этом число выходов из строя только растет.

Получается замкнутый круг. Технологический процесс выполнять нужно, чтобы все системы функционировали исправно, но в связи с их естественным старением делать это становится все тяжелее и тяжелее из-за увеличивающегося количества их отказов. К тому же, добавляется и человеческий фактор, так как человек, разочаровавшись в стремлении успеть все сделать в соответствии с предписаниями инструкций, может выполнять только ту работу, которую считает нужной, или вовсе прекратить что-либо делать. Зачастую на практике это означает лишь формальное заполнение журнала осмотра и проверки устройств без фактического выполнения каких-либо действий. К сожалению, многие факты свидетельствуют о том, что именно систематическое нарушение графика обслуживания устройств и становится причиной возникновения опасных ситуаций, которые приводят к выходу из строя оборудования, срыва графика движения поездов, повреждению подвижного состава и другим негативным явлениям, отрицательно сказывающимся как на безопасности перевозочного процесса, так и на охране труда.

При внедрении новых систем должен внедряться и новый подход к их обслуживанию, а также к обслуживанию тех систем, которые не изменяются качественно. Другими словами, переходом на новый уровень эксплуатации станет внедрение автоматизированных систем дистанционной диагностики и контроля параметров. С одной стороны, это позволит выполнять систематический контроль за состоянием объектов диагностирования и выдавать советы в случаях возникновения непредвиденных ситуаций, а с другой стороны обеспечит формирование цифрового отчета о выполнении графика технологического процесса на основании фактических действий ответственного работника.

Цель

Одной из основных задач работников службы сигнализации и связи является обеспечение работы и взаимосвязи сигналов и стрелок на

станции. Но если работа системы световых сигналов участникам движения зависит в основном от правильной работы элементов собственной схемы включения, то работа стрелочных переводов, кроме собственных схемных зависимостей и элементов системы, в очень высокой степени подвержена влиянию внешних факторов. К таким внешним факторам, прежде всего, относится эксплуатация в тяжелых условиях из-за непосредственной близости napольных устройств к пути следования подвижного состава, подверженность влиянию погодных условий, выпадениям и высыпаниям грузов, сходам подвижного состава и другим чрезвычайным ситуациям, приводящим к нарушению функционирования стрелочного перевода.

Стрелочный перевод подвержен высоким динамическим нагрузкам во время движения по нему экипажа, вызывающих возникновение продольных и поперечных сил и становящихся причиной появления вибрации. Кроме этого, как говорилось ранее, он эксплуатируется в условиях окружающей среды, а поэтому находится под воздействием атмосферных явлений, таких как дождь и снег, а также перепадов температур как суточных, так и сезонных. Столь неблагоприятные условия эксплуатации усложняются еще и загрязнением стрелок сыпучими грузами во время их рассыпания при перевозке в неисправных вагонах.

Работа по эксплуатационному обслуживанию стрелочных переводов не только связана с непосредственным выходом людей в зону движения поездов, но и расположена в габарите их движения, а поэтому представляет чрезвычайную опасность жизни и здоровью рабочих различных служб железнодорожного транспорта. Поскольку избежать выхода на путь и в габарит движения поездов рабочих во время обслуживания стрелочных переводов невозможно, то уменьшение времени их пребывания в этих опасных местах значительно повысит уровень безопасности движения поездов и охраны труда в целом.

Неизменным остается тот факт, что работники службы сигнализации и связи обладают только той информацией о состоянии объектов, которую они получают с периодичностью, указанной в картах технического обслуживания.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Этих данных вполне достаточно для выполнения текущего ремонта, то есть устранения неисправностей во время осмотра, но далеко не достаточно для изучения и отслеживания причин их возникновения. Эту проблему можно решить благодаря внедрению электронного журнала, в протоколах которого можно было бы в автоматизированном режиме проследить склонности к развитию тех или иных дефектов. Электронный журнал должен вестись без участия человека и фиксировать основные параметры стрелочного перевода.

Необходимо обеспечить получение большего объема информации за меньший период времени, чем это предусмотрено графиком обслуживания, о состоянии стрелочных переводов работниками службы сигнализации и связи для того, чтобы дать им возможность, основываясь на результаты данных, полученных в электронных протоколах журналов проверки, планировать свой рабочий день таким образом, чтобы не нарушать график технологического процесса и выполнять работы по устранению возникших неисправностей.

Следует разработать и внедрить такую систему, которая бы позволила дистанционно определять текущее состояние стрелочного перевода со всеми возможными неисправностями. Данная система должна определять как постепенные отказы, так и повреждения, которые возникают внезапно, и в режиме реального времени сообщать об их появлении.

Методика

В мировой практике находили применение в железнодорожном транспорте электро-, пневмо- и гидроприводы, реализующие различные производственные процессы по перемещению остриков и сердечников крестовин стрелочных переводов, подъему и опусканию бруса шлагбаума, повороту ударного рычага автостопа метро и работы других механизмов и зависимостей.

На железных дорогах Украины применяют электроприводы, которые для перевода стрелки из одного положения в другое преобразуют электрическую энергию в механическую. Стрелочные электроприводы бывают как постоянного, так и переменного тока, в зависимости от того, какого рода электродвигатель уста-

новлен в электроприводе.

В зависимости от источника получения электрической энергии питание рабочей цепи, то есть цепи, которая приводит в движение электродвигатель стрелочного электропривода, может быть центральным, магистральным или местным.

Сбор диагностической информации целесообразно вести именно при центральном питании, поскольку при такой организации подачи электрической энергии наиболее просто выполнять анализ поступающих данных из одного источника.

При центральном питании подача электрической энергии для перевода стрелок осуществляется с распределительной или стрелочной панели в зависимости от вида установленного оборудования питающих установок и размера станции. Для контроля тока перевода стрелок в рабочую цепь включается шунт номиналом обычно 0,3 Ом, или трансформатор тока, а параллельно ему – амперметр, который выводится на пульт дежурного по станции.

При установке маршрутов или выполнении маневровой работы, когда необходимо перевести стрелки, дежурный сотрудник службы движения наблюдает за показаниями амперметра и внимательно следит за тем, чтобы величина тока и длительность протекания его в рабочей цепи электродвигателя не превышали нормативных значений во время перевода стрелки. В случае, если это не так, и тот, или другой параметр превышает норму, то согласно порядку взаимодействия с другими подразделениями железнодорожного транспорта он должен сообщить сотрудникам службы сигнализации и связи и службы путевого хозяйства о возникшей неисправности в работе того или иного стрелочного перевода.

Ориентиром при определении соответствия нормативным значениям двух вышеприведенных параметров служат технические показатели стрелочных электроприводов (табл. 1), которые можно найти в паспорте станции.

По своим должностным обязанностям дежурный по станции не обязан пользоваться секундометром для измерения времени перевода стрелки, а также фиксировать точное значение тока перевода стрелок на станции на основании показаний амперметра, установленного на пульте. В его работу входит только лишь на-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

блюдение за показаниями стрелки амперметра с целью установления истинности замыкания цепей питания стрелочных электродвигателей, а также факта окончания их перевода, как одного из признаков фактического выполнения установки стрелок по маршруту движения. Данные, приведенные в сведенной табл. 1, могут служить лишь как справочный материал о величинах основных параметров и характеристик и пределах их значений, а не как шаблон для сверки соответствия параметров стрелочных переводов их эталонным значениям.

В табл. 1 приведены лишь ориентировочные значения параметров стрелочных переводов, которые касаются тока в рабочей цепи стрелки и времени ее перевода, поскольку они не учитывают длины проводов от поста электрической централизации (ЭЦ) до стрелки, а отражают только те значения данных параметров, которые справедливы лишь при прямом приложении нагрузки к стрелочному электроприводу [2, 7]. Естественно, что при большем удалении стрелки от поста ЭЦ требуется и увеличение длины проводов для их подключения, в связи с чем растет и их сопротивление протеканию электрического тока, что и становится причиной увеличения тока в рабочей цепи электродвигателя при таких же нагрузках, как у двигателей, находящихся в непосредственной близости от источника питания.

Выполняя измерения по принципу, рассмот-

ренному ранее [1, 3, 4], при подключении оборудования к выводам измерительной схемы рабочей цепи, которые подключены к амперметру на пульте дежурного по станции, можно диагностировать состояние стрелочного перевода при помощи анализа его временной зависимости и спектральной характеристики тока при переводе стрелки. Для преобразования сигналов из аналогового в цифровой вид с целью дальнейшей их обработки при помощи вычислительной техники, необходимо использовать аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). При проведении измерений использовался 4-канальный быстродействующий внешний модуль ввода-вывода на шину USB 2.0 E20-10 с разрядностью 14 бит и возможностью непрерывного сбора данных на частотах до 10 МГц. В качестве записывающего оборудования для фиксации, сохранения и дальнейшего анализа данных сигналов тока перевода стрелок может служить компьютер с установленным соответствующим программным обеспечением.

На рис. 1 показана схема подключения диагностического оборудования к измерительной части фрагмента схемы рабочей цепи стрелочных электроприводов постоянного тока при их подключении к устройствам электропитания постов ЭЦ промежуточных станций, т.е. станций с числом стрелок до 30 [5, 6].

Таблица 1

Table 1

Электромеханические характеристики электроприводов

Electromechanical characteristics of electric drives

Параметры	Тип электропривода	Напряжение питания, В	Тип электродвигателя	Значение характеристик в зависимости от нагрузки на шибере, кН								
				0	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6
Потребляемый ток, А	СП-3 СП-6	30	МСП-0,15	3,4	6,0	–	8,4	–	–	–	–	–
			МСП-0,1	3,8	6,6	–	9,0	–	11,4	13,4	–	–
			МСП-0,25	5,0	7,5	–	10,8	–	13,6	16,4	19,6	22,6
		110	МСП-0,15	0,9	1,7	–	2,3	–	3,0	3,6	4,2	4,7
		100	МСП-0,1	1,38	2,38	–	3,3	–	4,15	4,95	–	–
			МСП-0,25	1,3	2,32	–	3,36	–	4,25	5,2	6,1	7,0
		160	МСП-0,15	0,6	1,1	–	1,6	–	2,1	2,5	2,9	3,3

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Окончание табл. 1

End of table 1

Параметры	Тип электропривода	Напряжение питания, В	Тип электродвигателя	Значение характеристик в зависимости от нагрузки на шибере, кН								
				0	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6
Время перевода, с	СП-8	127	МСП-0,1	0,8	1,42	–	2,04	–	2,6	3,15	–	–
			МСП-0,25	1,2	1,69	–	2,31	–	2,9	3,51	4,05	4,6
			МСТ-0,25	1,55	1,87	2,05	2,3	2,6	2,95	3,5	–	–
				0,9	1,05	1,15	1,3	1,45	1,65	2,1	–	–
			МСТ-0,3	2,45	2,5	–	2,7	–	2,85	3,2	3,6	3,95
			МСТ-0,6	1,9	2,7	–	3,75	–	5,1	6,5	7,7	9,2
		190	МСТ-0,3	1,35	1,4	–	1,5	–	1,65	1,85	2,1	2,35
			МСТ-0,6	1,04	1,6	–	2,25	–	3,0	3,75	4,5	5,32
		30	МСП-0,15	2,2	3,31	–	4,54	–	–	–	–	–
			МСП-0,1	2,32	3,14	–	4,0	–	5,1	6,35	–	–
			МСП-0,25	1,66	2,15	–	2,63	–	3,15	3,66	4,19	4,86
			МСП-0,15	2,12	2,9	–	3,78	–	4,33	4,95	5,78	6,6
	СП-3 СП-6	100	МСП-0,1	1,7	2,26	–	2,83	–	3,44	4,29	–	–
			МСП-0,25	1,48	1,87	–	2,2	–	2,48	2,73	2,96	3,23
			МСП-0,15	1,93	2,8	–	3,6	–	4,2	4,8	5,5	6,35
			МСП-0,1	1,9	2,56	–	3,21	–	3,83	4,81	–	–
			МСП-0,25	1,35	1,69	–	1,98	–	2,26	2,5	2,68	2,87
			МСТ-0,25	2,57	2,75	2,81	2,95	3,1	3,25	3,94	–	–
	СП-8	220		2,58	2,75	2,83	2,93	3,05	3,23	3,81	–	–
			МСТ-0,3	3,84	4,0	–	4,15	–	4,3	4,5	4,72	5,01
			МСТ-0,6	1,33	1,38	–	1,42	–	1,47	1,52	1,58	1,67
			МСТ-0,3	3,83	4,0	–	4,15	–	4,33	4,45	4,6	4,9
			МСТ-0,6	1,32	1,38	–	1,41	–	1,45	1,51	1,56	1,63

Рабочие цепи стрелочных электроприводов постоянного тока питаются от выпрямителей Вп2 и Вп3. Выпрямитель Вп3 является резервным, его выход нормально отключен и автоматически включается тыловыми контактами реле ПВУ при неисправности Вп2. На рис. 2 показана схема подключения диагностического оборудования к измерительной части фрагмента схемы рабочей цепи стрелочных электроприводов переменного тока при их подключении к устройствам электропитания постов ЭЦ крупных станций, т.е. станций с числом стрелок более 30.

Существует два способа подачи питания от питающей панели к двигателю электропривода. Первым является последовательное поочередное подключение стрелок к источнику питания от ближайшей к посту стрелки к наиболее удаленной. Вторым – одновременная подача питания сразу в нескольких направлениях. Выбор способа организации питания по первому или второму принципу зависит от размеров выполняемых на станции операций. На крупных станциях с высокой степенью загрузки поездной работой для сокращения затрат времени на приготовле-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

ние маршрутов вместо отдельного, как это принято на малых станциях, применяют маршрутное управление с подключением источника питания одновременно ко всем стрелкам.

Для контроля перевода стрелок на пульте управления амперметрами РА1 и РА2 (на рис. 2 показана схема только для питания первой группы стрелок) имеются два трансформатора тока ТТ4 и ТТ5. В связи с тем, что ТТ4 и ТТ5 рассчитаны на номинальный ток 5 А, для ограничения тока и падения напряжения на нем при переводе стрелок параллельно ТТ4 и ТТ5 через тыловой контакт реле ПОС1 и ПОС2 включены резисторы $R1$ и $R2$, на которых установлены сопротивления 0,3 Ом.

Для измерения тока перевода одной стрелки на пульте управления нажимается кнопка ПОС1 (ПОС2) для возбуждения одноименного реле в панели. Контакт реле ПОС1 (ПОС2)

отключается резистор $R1$ ($R2$) и весь ток перевода стрелки проходит через трансформатор тока ТТ4 (ТТ5).

Измерения проводились в обоих случаях на малых станциях, в работе которых не требуется для экономии времени выполнения одновременно нескольких операций по формированию маршрутов. Следовательно, в таком случае возможна установка оборудования, рассчитанного на меньшую мощность, а поэтому менее дорогостоящего, так как стрелки переводятся одна за другой, и питающей установкой выдается величина тока, необходимая для перевода одной стрелки.

Подключение к рабочей цепи выполнялось посредством разъемного соединения в месте крепления амперметра на выносном табло при помощи электрических контактов зажимного типа (крокодил).

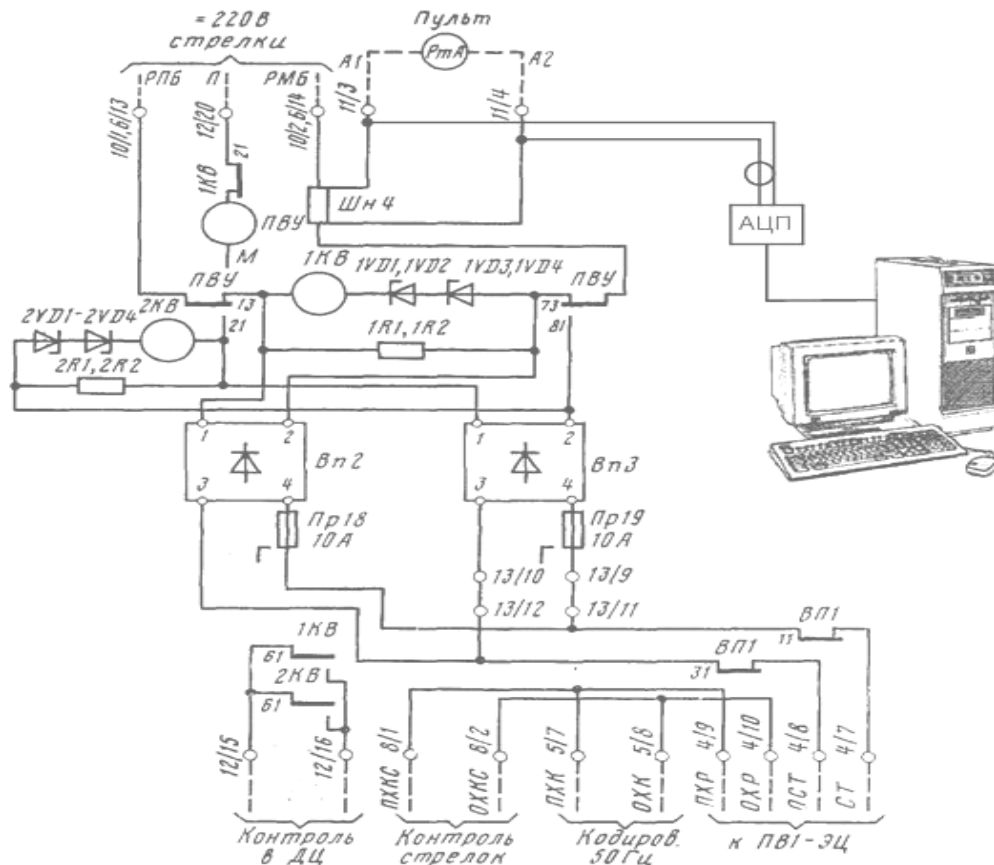


Рис. 1. Подключение измерительного устройства к схеме распределения питания по основным нагрузкам ЭЦ и включения основных приборов панели ПР-ЭЦ

Fig. 1. Connecting the measuring device to the power distribution circuit on the main loads of EC and the inclusions of the main instruments of the PR-EC

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

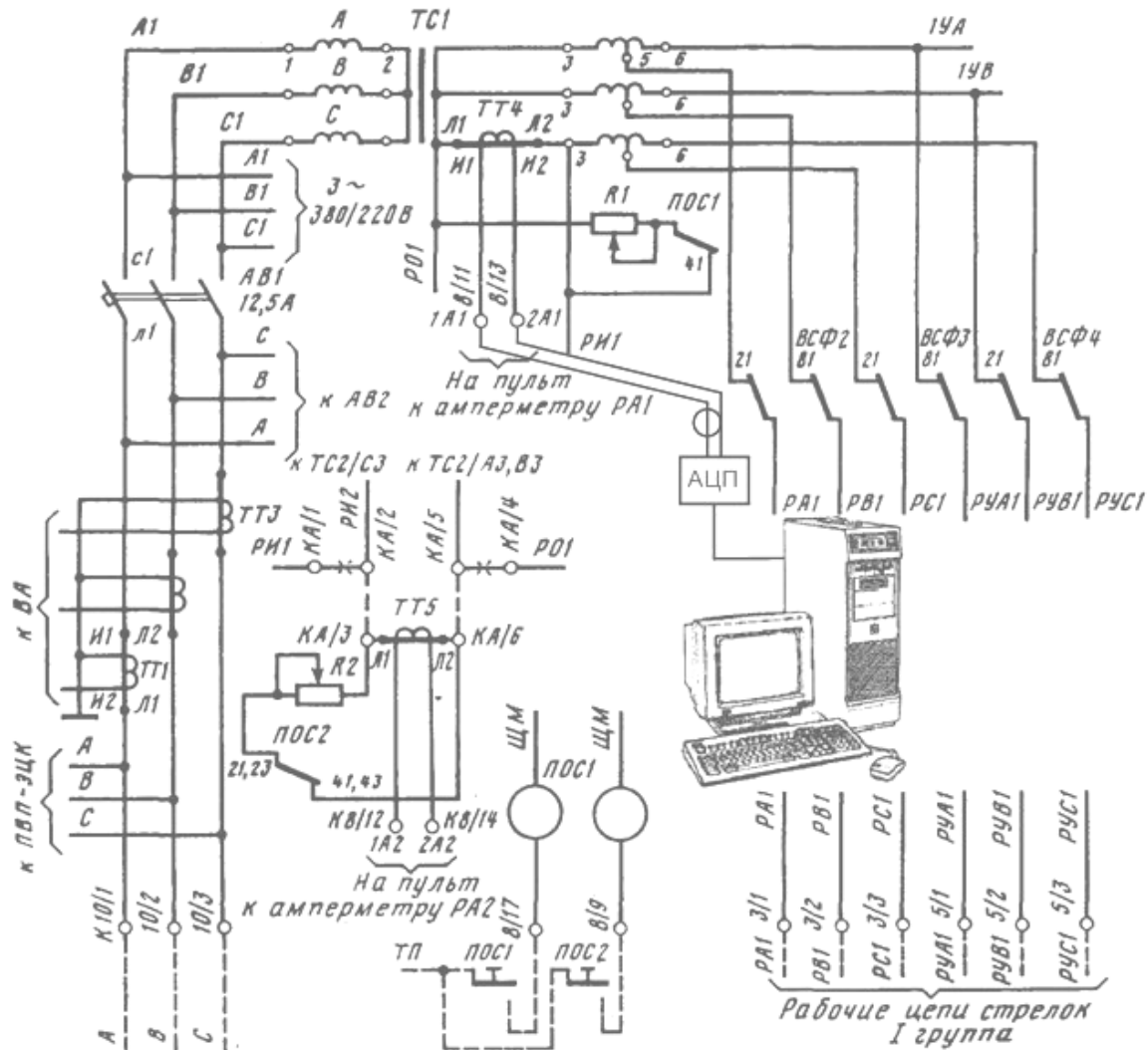


Рис. 2. Подключение измерительного устройства к схеме стрелочной панели ПСТ-ЭЦК

Fig. 2. Connecting the measuring device to the circuit switch panel PST-ETSK

Результаты

Экспериментальные измерения выполнялись на электроприводах постоянного и переменного тока соответственно со схемами, изображенными на рис. 1 и 2.

Опыты проводились на небольших станциях с высокой интенсивностью движения и большим числом оборота пассажирских и грузовых поездов.

При восстановлении временных характеристик тока в рабочей цепи двигателей стрелочных электроприводов применялась программа MATLAB [8, 9, 10, 11, 13, 14].

На станции с питанием стрелочных электроприводов от источников постоянного тока проводились измерения уровней сигналов и их спектрального состава согласно схеме, изображенной на рис. 1, на примере перевода стрелок, находящихся на боковых путях с маркой крестовины 1/9. Стрелочные переводы уложены на железобетонные и деревянные шпалы с использованием рельса тяжелого типа Р-65.

При измерениях тока в рабочих цепях стрелочных электроприводов постоянного тока рассматривалось одновременно несколько различных вариантов.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

В первом случае изучался сигнал при переводе спаренных стрелок. На дальней от поста электрической централизации (ЭЦ) стрелке установлен электропривод типа СП-3 с двигателем МСП-0,15. На ближней от поста ЭЦ – электропривод типа СП-6 с двигателем ДП-0,25.

Данные стрелочные переводы находились в идеальных условиях эксплуатации, то есть в исправном состоянии, а именно – башмаки смазаны, а острия опираются на подушки всей плоскостью поверхности соприкосновения, в масляных ваннах и редукторах залито масло до необходимого уровня, отсутствуют люфты во всех узлах и креплениях, установлены двигатели, которые были проверены на исправность специалистом ремонтно-технологического участка, зазоры между остриями и рамными рельсами соответствуют требованиям, отсутствует упор корней остриев. Перевод стрелок осуществлялся плавно и равномерно, без рывков, замедлений и резких ускорений, без заеданий и посторонних звуков, что также является признаком их исправного состояния.

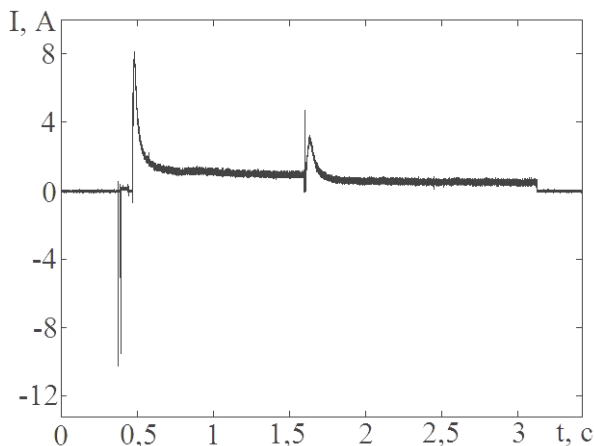


Рис. 3. Ток в рабочей цепи стрелочных электроприводов постоянного тока при переводе исправных спаренных стрелок

Fig. 3. The current in the working circuit of the DC electric turnout when switching of coupled railway points

Из результатов измерений (рис. 3) видно, что вначале перевода происходит всплеск тока обратной полярности вследствие перебрасывания контактов реле ППС (пусковое поляризованное стрелочное) в рабочей цепи электропривода, после этого ток прямой полярности на-

растает до величины трогания двигателя с места. С началом движения ротора электродвигателя происходит резкое снижение значения величины тока в рабочей цепи до уровня согласования вращающего момента на валу с нагрузкой, который и представляет собой рабочий ток. В конце перевода первой из спаренных стрелок, которая является ближайшей к посту ЭЦ, происходит переключение контактов автопереключателя, что сопровождается всплеском тока на отметке немного более 1,5 с после начала записи и является началом перевода второй стрелки. Характер убывания тока в рабочей цепи при подключении электродвигателя второй из спаренных стрелок аналогичен первому случаю. При этом ток перевода обеих стрелок практически одинаков, а время отличается. Это связано с применением различных типов стрелочных электроприводов и двигателей, установленных в них.

Во втором случае исследовался сигнал, полученный при переводе одиночной стрелки, на которой установлен привод типа СП-6М с электродвигателем МСП-0,25. Данный стрелочный перевод и установленный на нем электропривод имели все те же исходные данные, что и две предыдущие спаренные стрелки, то есть все узлы и крепления в исправном состоянии, трущиеся поверхности смазаны, расстояния и допуски выдержаны и любые другие недочеты отсутствуют.

Кривая тока перевода одиночной стрелки (рис. 4) практически не отличается от отдельно взятых токовых кривых при переводе спаренных стрелок, за исключением малого значения всплеска тока обратной полярности в начале перевода от перебрасывания контактов реле ППР.

При анализе большого числа полученных результатов измерений (рис. 4) было установлено, что, как и в предыдущем случае (рис. 3), вся кривая тока состоит из трех участков: ток пуска двигателя в ход, рабочий ток, ток окончания перевода. Данные три части сигнала являются ключевыми при анализе состояния стрелочных переводов. Этот вывод сделан на основании того, что работу электропривода можно разбить на три этапа.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

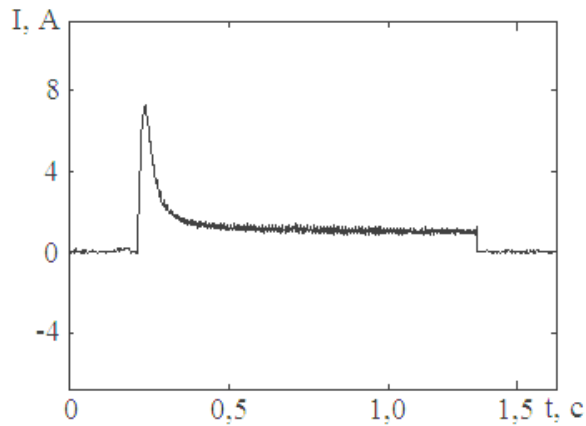


Рис. 4. Ток в рабочей цепи стрелочного электропривода постоянного тока при переводе исправной одиночной стрелки

Fig. 4. The current in the working circuit of the DC electric turnout when switching of a working single railway point

К первому этапу относится нарастание тока для пуска двигателя с места в ход и преодоления инерционности узлов системы. Второй этап представляет собой перемещение острия. Последний, третий этап является наиболее коротким и заключается в доведении второго острия стрелки к противоположному рамному рельсу и замыкании стрелки.

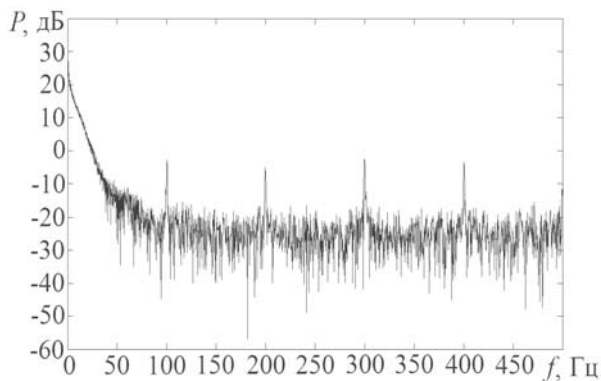


Рис. 5. Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода постоянного тока при переводе исправной одиночной стрелки

Fig. 5. Range of current in the working circuit of the DC electric turnout when switching of a working single railway point

Поскольку в данных двух измерениях опыты проводились на исправных стрелочных пе-

реводах, не имеющих отклонений от норм их содержания, на которых установлены исправные электроприводы, все показатели которых соответствуют требованиям их технического состояния, то полученные результаты (рис. 3 и рис. 4) можно принять за эталонные сигналы.

На рис. 5 приведен спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода постоянного тока при переводе исправной одиночной стрелки. Из рисунка видно, что наибольшее значение имеет постоянная составляющая и характерно присутствие гармоник, кратных выпрямленному току.

Стрелочный электропривод с коротким замыканием в обмотке якоря изображен на рис. 6. На первом участке после небольшого всплеска тока обратной полярности наблюдается всплеск тока прямой полярности с большой амплитудой с последующим появлением резкой токовой характеристики, являющейся началом движения вала двигателя, как на рис. 4. Последующая временная зависимость тока перевода стрелки на оси времени до отметки 1,5 с имеет большую ширину, чем на соответствующем участке рис. 4, что свидетельствует о различном сопротивлении обмотки якоря двигателя. Поскольку этого быть не должно, а обмотка ротора должна иметь одинаковое сопротивление по всей поверхности щеточно-коллекторного контакта, то широкая полоса токовой кривой во временной области подтверждает скачкообразный характер протекания тока и может свидетельствовать о присутствии такой неисправности, как короткое замыкание в обмотке якоря.

Между рамным рельсом и острием закладывался шуп толщиной 4 мм и в течение 2 следующих секунд работа двигателя осуществлялась на фрикцию, что отображено на рис. 4 увеличением тока свыше 2 А. Затем дежурный по станции переключением рукоятки возвращал стрелку в исходное положение, что на токовой характеристике во временной области отображено на отметке 3,5 с от начала измерений импульсом тока с дальнейшим появлением резкого изменения токовой кривой, являющегося признаком начала движения вала двигателя в другую сторону.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

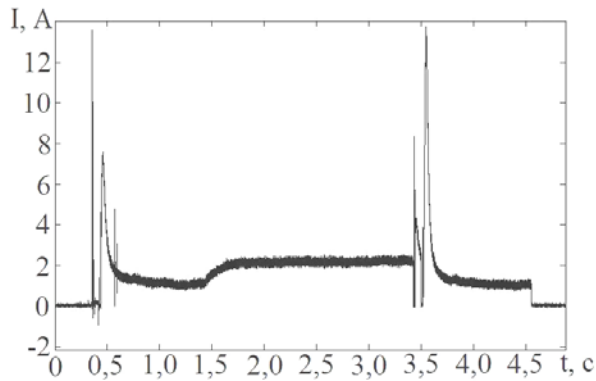


Рис. 6. Ток в рабочей цепи стрелочного электропривода постоянного тока при переводе одиночной стрелки с коротким замыканием в обмотке якоря в режиме работы на фрикцию

Fig. 6. The current in the working circuit of the DC electric turnout when switching of a single railway point with a short circuit in the armature winding in operation on the frictions

Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода постоянного тока при переводе одиночной стрелки с коротким замыканием в обмотке якоря (рис. 7) содержит гармоники тональной частоты (они не наблюдались на рис. 5) с наибольшим значением 400 Гц.

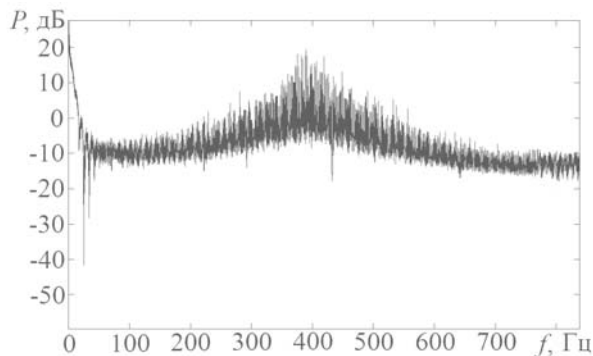


Рис. 7. Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода постоянного тока при переводе одиночной стрелки с коротким замыканием в обмотке якоря в режиме работы на фрикцию

Fig. 7. Range of current in the working circuit of the DC electric turnout when switching of a single point with a short circuit in the armature winding in operation on the frictions

Вторая часть измерений состояла из сигналов, записанных по описанной выше методике (рис. 2) для стрелочных электроприводов переменного тока.

Стрелочные переводы, на которых выполнялись измерения, расположены на боковых и главных путях станции, с маркой крестовины 1/9 на боковых путях и 1/11 по главному ходу. Уложены стрелки на железобетонные шпалы с использованием рельса тяжелого типа Р-65. На стрелках установлены стрелочные электроприводы типа СП-3 с электродвигателем переменного тока МСТ-0,3.

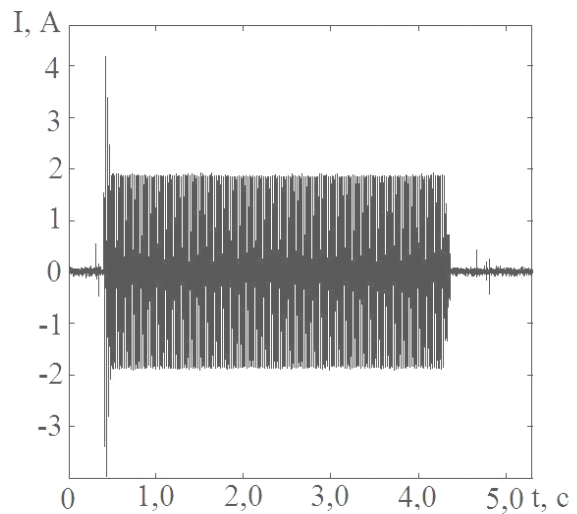


Рис. 8. Ток в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе исправной одиночной стрелки

Fig. 8. The current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a working single railway point

Кривая тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе исправной одиночной стрелки изображена на рис. 8. Из данной временной характеристики, которая практически ничем не отличается от полученной и разобранный ранее [3], можно установить три важнейших параметра: характер изменения кривой тока, величину тока перевода и его длительность. Аналогично случаю со стрелочными приводами постоянного тока, временную зависимость кривой тока перевода стрелки стрелочным электроприводом переменного тока можно разбить на три участка: пуск двигателя в ход с преодолением инерционности системы и размыканием стрелки, собственно перевод острия стрелки и доведение острия к противоположному равному рельсу с замыканием острия.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

На первом участке наблюдается небольшой всплеск тока, соответствующий перебрасыванию контактов ППС и значительное кратковременное увеличение тока, являющегося признаком трогания вала двигателя с места со сдвижением с места всех передаточных звеньев. Следующий участок характеризует движение механизмов привода с приведением в движение острьяков и их перемещением. На завершающем этапе перевода стрелки, когда происходит подвод острьяка к рамному рельсу, после замыкания стрелки наблюдается остаточное вращающее магнитное поле в статоре двигателя.

С изображения спектра тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе исправной одиночной стрелки (рис. 9) видно, что влияющими в спектре сигнала являются низкие частоты в диапазоне от 0 до 2 кГц. Поскольку они являются периодическими, то возьмем для удобства и наглядности лишь первые из них.

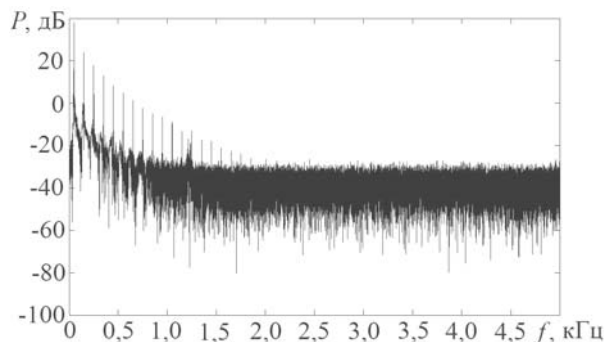


Рис. 9. Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе исправной одиночной стрелки

Fig. 9. Range of current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a working single railway point

Рассматривая спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе исправной одиночной стрелки на низких частотах (рис. 10), легко определить, что в сигнале присутствуют гармоники, кратные в нечетное число раз частоте питающего тока.

Ток в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с упором корня острьяка

(рис. 11) аналогичен рассмотренному ранее случаю для исправной стрелки (рис. 8) лишь на двух участках временной зависимости. На третьем участке токовой кривой наблюдается явно выраженное увеличение тока в цепи электродвигателя, которое является следствием увеличения сопротивления движению острьяков стрелки из-за упора корня их острьяков в рельс, лежащий за ними. На преодоление дополнительно возникшей силы электродвигатель развивает большую мощность, что вызывает увеличение тока в рабочей цепи.

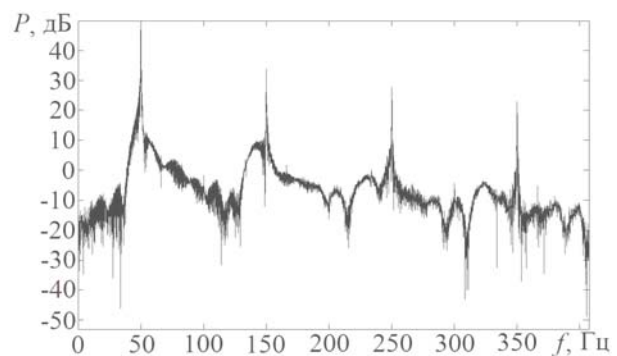


Рис. 10. Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе исправной одиночной стрелки на низких частотах

Fig. 10. Range of current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a working single railway point at low frequencies

Поскольку упор корня острьяка влияет только на амплитудное значение тока в рабочей цепи электродвигателя, то его можно зафиксировать только во временной области. Спектр же тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с упором корня острьяка (рис. 12) практически не отличается от спектра сигнала исправной стрелки (рис. 9) и не содержит отличных от нее частот.

В спектре тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с упором корня острьяка на низких частотах (рис. 13) просматривается подобность характеру спектра тока в исправной стрелке (рис. 10).

Следовательно, обнаружить упор корня ост-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

ряка стрелки можно при помощи анализа временной зависимости тока перевода, а при помощи спектрального анализа нельзя.

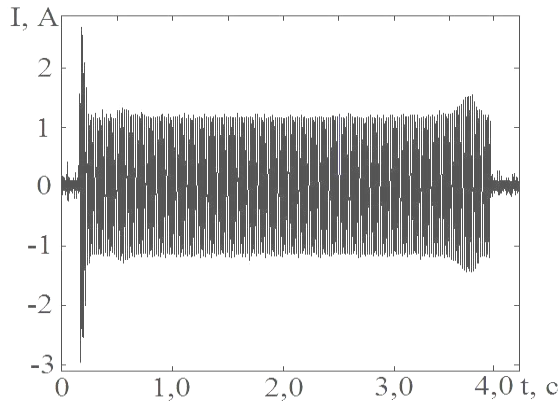


Рис. 11. Ток в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с упором корня остряка

Fig. 11. The current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a single railway point with an root wags emphasis

По времени протекания тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки (рис. 14) можно идентифицировать люфт в шарнирных соединениях рабочей тяги по увеличенной длительности перевода стрелки, которая значительно превышает аналогичный показатель исправной стрелки (рис 8).

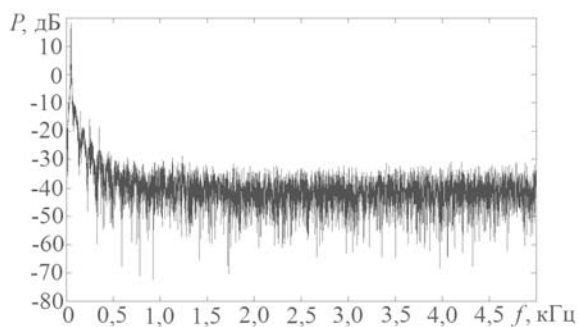


Рис. 12. Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с упором корня остряка

Fig. 12. Range of current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a single railway point with an root wags emphasis

Данный стрелочный перевод, на котором производились измерения, был восстановлен после схода на нем подвижного состава. В связи с этим многие элементы оснований и креплений имели на поверхности неровности и вмятины, а изгиб рабочей тяги привел к неполному прилеганию подошвы одного из острьяков к подушкам на шпальной поверхности и стал причиной подпружинивания и затруднительного перевода стрелки.

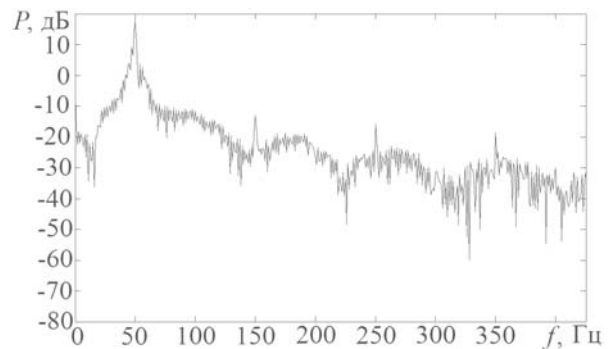


Рис. 13. Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с упором корня остряка на низких частотах

Fig. 13. Range of current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a single railway point with root wags emphasis at low frequencies

Первый участок кривой тока характеризуется пуском двигателя в ход и преодолением люфтов и зазоров в крепежных элементах. На втором участке наблюдается повышенное значение тока в цепи электродвигателя вследствие увеличенного сопротивления движению выровненных, но потерявших из-за изгибов прочность, деталей. Третий участок кривой тока свидетельствует о прекращении линейного передвижения остряков и иллюстрирует процесс протекания запираания стрелки с прижиманием подогнутого остряка.

Примечательным является тот факт, что спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с люфтом в шарнирных соединениях и изгибом рабочей тяги (рис. 15) не имеет никаких отличий от спектра тока перево-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

да исправной стрелки (рис. 9).

При более детальном рассмотрении спектра тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с люфтом в шарнирных соединениях и изгибом рабочей тяги на низких частотах (рис. 16) также не было никаких отличий от спектра тока перевода исправной стрелки (рис. 10).

Следовательно, по итогам рассмотрения предыдущих двух случаев можно сделать вывод, что неисправности, касающиеся механической части стрелочного перевода, можно установить по временной характеристике кривой тока перевода стрелки, а на основании спектрального анализа нельзя.

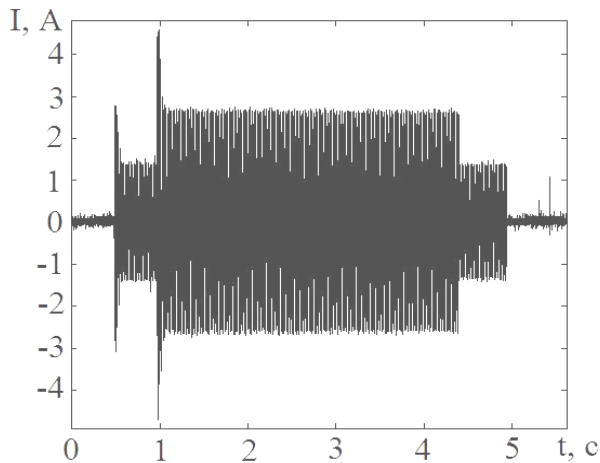


Рис. 14 Ток в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с люфтом в шарнирных соединениях и изгибом рабочей тяги

Fig. 14. The current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a single railway point with play in the hinge joints and bend the operating rod

В свою очередь ток в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с неисправным ротором (рис. 17) ничем не отличается от тока перевода исправной стрелки (рис. 8), хотя перевод стрелки сопровождается вибрацией и характерным высокочастотным стуком внутри двигателя. При осмотре двигателя было установлено повреждение стержня ротора типа «беличья клетка» с присутствием намагниченной металлической пыли.

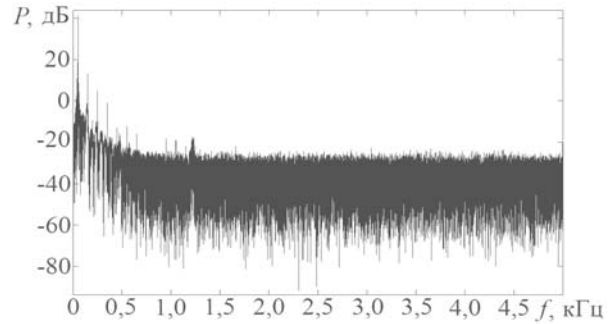


Рис. 15. Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с люфтом в шарнирных соединениях и изгибом рабочей тяги

Fig. 15. Range of current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a single railway point with play in the hinge joints and bend the operating rod

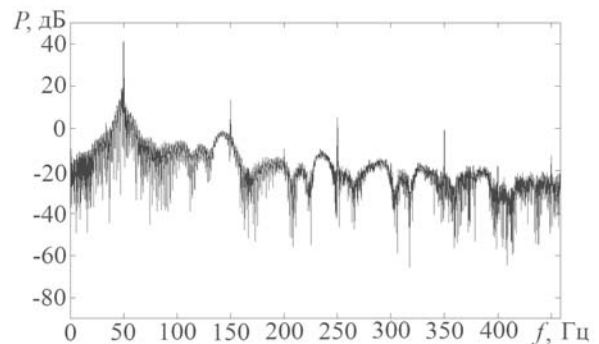


Рис. 16 Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с люфтом в шарнирных соединениях и изгибом рабочей тяги на низких частотах

Fig. 16. Range of current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a single railway point with play in the hinge joints and bend the operating rod at low frequencies

При изучении же спектра тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с неисправным ротором (рис. 18) было установлено, что если для спектра тока перевода стрелки в исправном состоянии (рис. 9) характерно наличие значимых частот в диапазоне от 0 до 2 кГц, то в данном случае наблюдался спектр сигнала с присутствием частот в области значений от 0 до 8 кГц.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

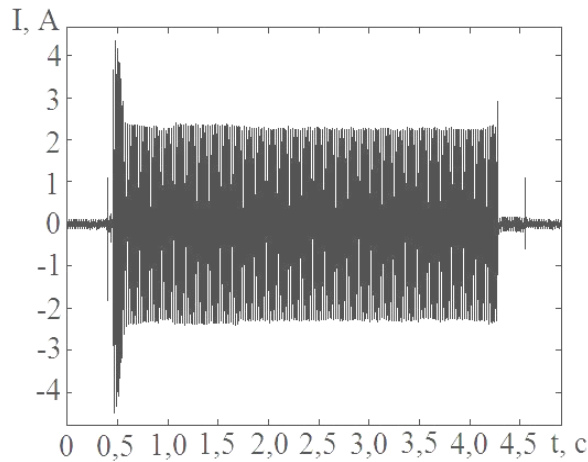


Рис. 17 Ток в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с неисправным ротором

Fig. 17. The current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a single railway point with a faulty rotor

Кроме этого, спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с неисправным ротором на низких частотах (рис. 19) содержал высокую постоянную составляющую, которой нет в спектре токовой кривой перевода исправной стрелки (рис. 10).

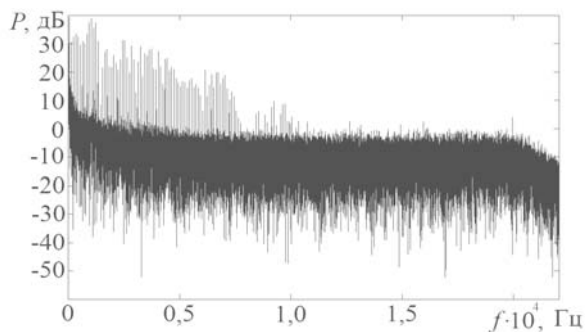


Рис. 18. Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с неисправным ротором

Fig. 18. Range of current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a single railway point with a faulty rotor

Таким образом, используя метод компьютерной диагностики можно определять такие неисправности, которые связаны как с механи-

ческой частью стрелочного перевода, так и с электрической его частью, контролируя при этом такие параметры, как величину тока нормального перевода и при работе электродвигателя на фрикцию, длительность перевода, правильность регулировки гарнитуры и узлов крепления, состояние электродвигателя.

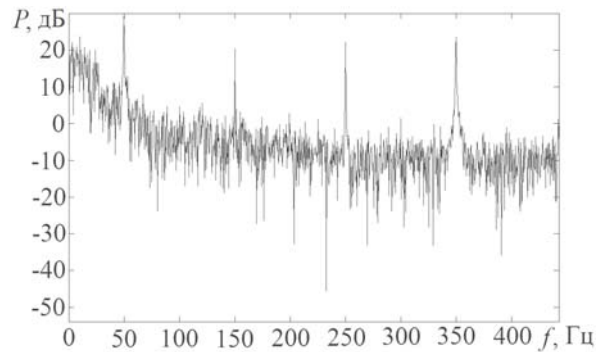


Рис. 19. Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с неисправным ротором на низких частотах

Fig. 19. Range of current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a single railway point with a faulty rotor at low frequencies

Научная новизна и практическая значимость

Применение вычислительной техники при диагностировании состояния стрелочных переводов в процессе их работы для анализа текущих величин технических показателей является прогрессивным методом контроля и оценивания степени соответствия исследуемого оборудования эксплуатационным нормам. Он позволяет своевременно, еще на начальных этапах образования дефектов деталей, неисправностей узлов или поломок механизмов обнаружить и путем оперативного вмешательства предотвратить дальнейший ущерб, к которому они могут привести.

Методика определения наличия или отсутствия неисправностей в процессе технической эксплуатации, предложенная в статье, в настоящее время не применяется в том виде, в котором она изложена, поэтому оценивание степени соответствия технологическим нормам и принятие решения о необходимости опера-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

тивного вмешательства происходит с запаздыванием.

Очень часто большая потеря времени приводит к образованию неустраняемых дефектов, которые ведут к значительным материальным затратам на замену вышедших из строя элементов. Кроме того, упущенный момент времени по определению появления первых признаков неисправностей в очень многих случаях сопровождается не только большими затратами средств на дорогостоящий ремонт значительно поврежденных устройств или на приобретение новых, но и становится причиной задержек движения. Выбывание поездов из графика движения приносит неудобства пассажирам и убытки компаниям-владельцам грузов, перевозимых железнодорожным транспортом. Ухудшается при этом и положение с главной задачей перевозочного процесса – обеспечением безопасности движения.

Предложенный метод диагностики состояния стрелочного перевода является относительно недорогим в применении, простым в использовании и довольно эффективным в определении неисправностей. Внедрение диагностического анализа состояния стрелочного перевода с использованием компьютерной техники позволит определять появление неисправностей на ранних этапах их образования и предотвращать их развитие.

Выводы

Проведенные экспериментальные исследования на различных станциях с разными типами стрелочных электроприводов как постоянного, так и переменного тока, на которых установлены различные типы двигателей для каждой из систем питания, подтверждают справедливость и обоснованность суждений о возможности производить дистанционное техническое диагностирование на основании анализа сигнала токовой кривой, которая протекает в рабочей цепи стрелочного электропривода при переводе стрелки.

Единство и общность выводов, сделанных на основании поставленных опытов, подтверждают достоверность и закономерность полученных результатов.

Получение информации о появлении неисправностей в цифровом виде позволит обеспе-

чить получение большего объема информации за меньший период времени, чем это предусмотрено графиком обслуживания, о состоянии стрелочных переводов работниками службы сигнализации и связи, что даст им возможность, основываясь на результаты данных, полученных в электронных протоколах журналов проверки, планировать свой рабочий день таким образом, чтобы не нарушать график технологического процесса и выполнять работы по устранению возникших неисправностей.

Разрабатываемая методика является основой системы, которая позволит дистанционно определять текущее состояние стрелочного перевода со всеми возможными неисправностями. Данная система сумеет определять как постепенные отказы, так и повреждения, которые возникают внезапно, и в режиме реального времени сообщать об их появлении.

Применение системы дистанционного диагностирования состояния стрелочных электроприводов в автоматизированном режиме позволит экономить время на поиски неисправностей, средства и объем работ по замене и ремонту вышедших из строя элементов оборудования, приведет к сокращению числа задержек поездов и значительному повышению безопасности движения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Буряк, С. Ю. Исследование временной зависимости и спектрального состава сигнала в цепи стрелочных электродвигателей переменного тока / С. Ю. Буряк, В. И. Гаврилюк, О. А. Гололобова // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 6 (54). – С. 7–22.
2. Исследование диагностических признаков стрелочных электроприводов переменного тока / С. Ю. Буряк, В. И. Гаврилюк, О. А. Гололобова, А. М. Безнарытний // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 4 (52). – С. 7–22.
3. Коган, Д. А. Аппаратура электропитания железнодорожной автоматики / Д. А. Коган, З. А. Эткин. – 2-е изд., перерераб. и доп. – Москва : Транспорт, 1987. – 256 с.
4. Коган, Д. А. Аппаратура электропитания железнодорожной автоматики / Д. А. Коган, М. М. Молдавский. – Москва : Академкнига, 2003. – 438 с.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

5. Резников, Ю. М. Электроприводы железнодорожной автоматики и телемеханики / Ю. М. Резников. – Москва : Транспорт, 1985. – 288 с.
6. Системы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира / Э. Андерс, Т. Берндт, И. Долгий [и др.] ; под ред. Г. Тега, С. Влащенко. – Гамбург : Интекст, 2010. – 488 с.
7. Buryak, S. Yu. Mathematical modeling of AC electric point motor / S. YU. Buryak // Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. – 2014. – № 2 (50). – P. 7–20.
8. Chaparro, L. F. Signals and Systems Using MATLAB / L. F. Chaparro // Dep. of Electrical and Computer Eng. Univ. of Pittsburgh. – Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sidney, Tokyo : Academic Press, 2011. – 752 p.
9. Corinthios, M. Signals, Systems, Transforms, and Digital Signal Processing with MATLAB. / M. Corinthios. – Boca Raton, London, New York : CRC Press Taylor & Francis Group, 2009. – 1316 p.
10. Leis, J. W. Digital Signal Processing Using MATLAB for Students and Researchers / J. W. Leis // Univ. of Southern Queensland. – New Jersey : John Wiley & Sons, 2011. – 382 p. doi : 10.1002/9781118033623.
11. Lui, J. Advanced Sliding Mode Control for Mechanical Systems. Design, Analysis and MATLAB Simulation / J. Lui, X. Wang – Beijing : Tsinghua University Press, 2012. – 366 p.
12. Swanson, D. C. Signal Processing for Intelligent Sensor Systems with MATLAB, Second Edition / D. C. Swanson. – Boca Raton : CRC Press Taylor & Francis Group, 2012. – 664 p.
13. Tervo, R. J. Practical Signals Theory with MATLAB Applications / R. J. Tervo. – Hoboken, New Jersey : Wiley, 2014. – 486 p.

С. Ю. БУРЯК^{1*}, В. І. ГАВРИЛЮК², О. О. ГОЛОЛОВА³, М. О. КОВРИГІН⁴

^{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, ел. пошта bsyur@mail.ru, ORCID 0000-0002-8251-785x

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 gvi_dp@mail.ru, ORCID 0000-0001-9954-4478

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 gololova_oksana@i.ua, ORCID 0000-0003-1857-8196

⁴Каф. «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 Kovrygin_Mikhail@mail.ru, ORCID 0000-0001-5092-8307

ДИСТАНЦІЙНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ЗА ЧАСОВОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ ТА СПЕКТРАЛЬНОЮ СКЛАДОВОЮ КРИВОЇ СТРУМУ

Мета. Робота спрямована на розробку та впровадження системи діагностування стрілок, яка б дозволила дистанційно визначати поточний стан стрілочного переводу з усіма можливими несправностями, поступовими та раптовими відмовами й пошкодженнями, і в режимі реального часу повідомляти про їхню появу. **Методика.** Діагностування стану за аналізом величин основних параметрів стрілочних переводів пропонується здійснювати за допомогою комп'ютера та аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Підключення для виконання вимірювань доцільно проводити до шунта амперметра, встановленого в робочій ланці стрілочної живильної панелі. АЦП перетворює аналоговий сигнал падіння напруги на шунт у цифровий вигляд та передає його на комп'ютер, який зберігає отримані дані на власному носії інформації з метою їх подальшої обробки та зберігання. За допомогою спеціального програмного забезпечення, здатного відновлювати сигнал та будувати його часову характеристику, а також розкласти його на спектральні складові, проводиться аналіз отриманих даних. Аналіз дозволяє діагностувати стан стрілок по зміні характеру, значень і складу кривої струму. **Результати.** Метод комп'ютерної діагностики отримав практичне підтвердження можливості визначення несправностей, котрі пов'язані як із механічною частиною

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

стрілочного перевodu, так і з електричною його частиною. При цьому контролюються такі параметри, як: величина струму нормального перевodu при роботі на фрикцію, тривалість перевodu, правильність регулювання гарнітури та вузлів кріплення; стан електродвигуна. **Наукова новизна.** Застосування обчислювальної техніки при діагностуванні стану стрілочних переводів у процесі їх експлуатації (для контролю поточних величин технічних показників, аналізу та зберігання даних для всіх видів стрілочних електроприводів із різними видами двигунів як постійного, так і змінного струму) відбувається за допомогою оцифровування та запису сигналу з вимірювального шунта стрілочної живильної панелі. **Практична значимість.** Запропонований метод дозволяє своєчасно, ще на початкових етапах утворення дефектів деталей, несправностей вузлів або поломок механізмів виявляти й усувати їх. Крім цього, він призводить до зниження навантаженості електромеханіків із виконання графіка технічного обслуговування. Впровадження діагностичного аналізу стану стрілочного перевodu з використанням комп'ютерної техніки дозволить визначати появу несправностей на ранніх етапах їх утворення та запобігати розвитку ушкоджень, які важко усунути, або необхідності їх повної заміни.

Ключові слова: електропривод; стрілочний перевід; постійний струм; змінний струм; аналіз сигналу; діагностування; часова залежність; спектральний склад; панель живлення

S. YU. BURYAK^{1*}, V. I. GAVRILYUK², O. O. HOLOLOBOVA³, M. O. KOVRYGIN⁴

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

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

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

⁴Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail Kovrygin_Mikhail@mail.ru, ORCID 0000-0001-5092-8307

REMOTE DIAGNOSTICS OF TURNOUTS STATE ON TIMING AND SPECTRAL COMPOSITION IN CURRENT CURVE

Purpose. Development and implementation the points system diagnostics that would allow determining remotely the current state of turnout with all possible faults, gradual and sudden failures, damages, and in real time to report about their appearance. **Methodology.** State diagnostics on the values analysis of turnout main parameters is proposed to carry out with the help of a computer and analog-to-digital converter (ADC). Connecting measurements performance is advisable to produce to a shunt ammeter, installed in the working circuit of the point feed panel. ADC converts the analog signal of lost volts at the shunt into digital form and transmits it to a computer which stores the received data on its own recording medium for their further processing and storage. There is special software that is capable to reconnect signal and construct its temporal characteristic as well as decompose it on the spectral components. Using it one can analyze the obtained data, which allows diagnosing state of points upon change the nature, values and composition of the current curve. **Findings.** The computer diagnosis method was confirmed in practice for possible indications of problems that are associated with both the mechanical part of the turnout and the electrical part of it, while controlling parameters such as the amount of current normal transition, when working on frictions, the duration of the transition, properly adjusted headset and attachment points, the state of the motor. **Originality.** The use of computer technology in the diagnosis of the state of turnouts during their operation to monitor the current values of technical indicators, analysis and storage for all types of electric switches with different types of engines both DC and AC occurs through digitization and recording signal from measuring shunt of point feeder panel. **Practical value.** The proposed method enables timely, still in the early stages of defect parts, damages or failures of nodes mechanisms to detect and eliminate them. In addition, it reduces the load on the electrical engineers during schedule maintenance. The introduction of a diagnostic analysis of the turnout using computer technology will allow defining the appearance of faults in the early stages of their formation and preventing development the difficult avoidable damages or necessity for their complete replacement.

Keywords: electric switch; turnout; DC; AC; signal analysis; diagnosis; time dependence; spectral composition; feeder panel

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

REFERENCES

1. Buryak S.Yu., Gavriluk V.I., Gololobova O.A. Issledovaniye vremennoy zavisimosti i spektralnogo sostava signala v tsepi strolochnykh elektrodvigately peremennogo toka [Study of time dependence and spectral composition of the signal in circuit of AC electric point motors]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 6 (54), pp. 7-22.
2. Buryak S.Yu., Gavriluk V.I., Gololobova O.A., Beznarytnyy A.M. Issledovaniye diagnosticheskikh priznakov strolochnykh elektropivodov peremennogo toka [Diagnostic features research of AC electric point motors]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 4 (52), pp. 7-22.
3. Kogan D.A., Etkin Z.A. *Aparatura elektropitaniya zheleznodorozhnoy avtomatiki* [Power equipment of railway automation]. Moscow, Transport Publ., 1987. 256 p.
4. Kogan D.A., Moldavskiy M.M. *Aparatura elektropitaniya zheleznodorozhnoy avtomatiki* [Power equipment of railway automation]. Moscow, IKTS Akademkniga Publ., 2003. 438 p.
5. Reznikov Yu.M. *Elektropivody zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [Electric drives of railway automatics and remote control]. Moscow, Transport Publ., 1985. 288 p.
6. Anders E., Berndt T., Dolgiy I. *Sistemy avtomatiki i telemekhaniki na zheleznykh dorogakh mira* [Systems of automation and telemechanics on the railways of the world]. Gamburg, Intekst Publ., 2010. 488 p.
7. Buryak S.Yu. Mathematical modeling of AC electric point motor. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 2 (50), pp. 7-20.
8. Chaparro L.F. Signals and Systems Using MATLAB. Dep. of Electrical and Computer Eng. Univ. of Pittsburgh. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sidney, Tokyo, Academic Press Publ., 2011. 752 p.
9. Corinthios M. Signals, Systems, Transforms, and Digital Signal Processing with MATLAB. Boca Raton, London, New York. CRC Press Taylor & Francis Group Publ., 2009. 1316 p.
10. Leis J.W. Digital Signal Processing Using MATLAB for Students and Researchers. Univ. of Southern Queensland. New Jersey, John Wiley & Sons Publ., 2011. 382 p. doi: 10.1002/9781118033623.
11. Lui J., Wang X. Advanced Sliding Mode Control for Mechanical Systems. Design, Analysis and MATLAB Simulation. Beijing, Tsinghua University Press Publ., 2012. 366 p.
12. Swanson D.C. Signal Processing for Intelligent Sensor Systems with MATLAB. Boca Raton, CRC Press Taylor & Francis Group Publ., 2012. 664 p.
13. Tervo R.J. Practical Signals Theory with MATLAB Applications. Hoboken, New Jersey, Wiley Publ., 2014. 486 p.

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

Поступила в редколлегию 25.01.2015

Принята к печати 18.03.2015

УДК 656.25.08

MAREK PAWLIK^{1*}^{1*}Vice Director of the Warsaw Railway Institute, Chłopickiego Józefa Street, 50, Warsaw, Poland, PL 04-275,
tel. +48 22 47 31 070, e-mail mpawlik@ikolej.pl, ORCID 0000-0003-3357-7706**CONTROL COMMAND SYSTEMS IMPACT ON
THE RAILWAY OPERATIONAL SAFETY**

Purpose. Safety is seen as a must, for railway transport market. However it is not so obvious what does safety exactly mean as it means different things for different experts. Showing safety ensured by control command systems as a component of the railway operational safety and pointing associated challenges especially those arising from subdivision of the national railway system into different entities. **Methodology.** To achieve this purpose control command and signalling systems keeping safe distances between trains, preventing setting conflicting train routs, locking of the mobile elements of the switches, protecting the level crossings, enabling safe incorporation of additional trains were analyzed. **Findings.** Article analyses how control command system influence operational safety taking into account safety of the control-command system itself, interfaces on one side between signalling systems and control command system and on the other side between control command system and vehicle control systems, transmission, maintenance, and operation in degraded modes of running. **Originality.** New and high-effective scope of tests which are necessary for putting new control command installation into service both track-side and on-board are proposed. **Practical value.** Control command implementations will significantly improve operational safety, however it is possible only when recommendations defined in this article are taken into account. This means that all the components including interfaces have to meet acceptable hazard rate 10E-9 and have to be properly design, constructed, assembled and maintained, all taking into account whole chain of functions performed and supervised by different railway entities.

Keywords: railway; safety; control command system; electrical equipment; signalling systems

Introduction

Railway vehicles and trains are very heavy – hundreds and thousands of tones – and therefore railway tracks must be stable and supportive. Heavy trains are also resulting in very long braking distances, which are much longer then braking distances for vehicles in other transport modes. Upshot train drivers can't see all the way which is necessary to stop the train in normal operational conditions. As a result railway engineers since railway very early beginnings assumed that safety is a must, for railway transport. All safety aspects were seen as very important. Solving related challenges was based, between others, by existence of single national railway companies with unified rules for permanent way construction and train characteristics as well as operational rules. In accordance with EU regulations Polish National Railway was split into many companies splitting also responsibility for safety. Keeping high railway safety requires much deeper analyses of risk subdivision between actors of the railway market.

This article is intended to show safety ensured by control command systems as a component of the railway operational safety and point associated challenges especially those arising from subdivision of the national railway system into different entities.

Purpose

Showing safety ensured by control command systems as a component of the railway operational safety and pointing associated challenges especially those arising from subdivision of the national railway system into different entities.

Methodology

To answer the key question what the safety means one can point that all the safety-critical components have to be designed, constructed, assembled and maintained in a way ensuring operational safety. This is the key statement however it is not so easy to point what does it really means.

The wheel/rail contact must meet the stability

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

requirements to ensure protection against derailments up to maximum authorised speed. Not only vertical but also horizontal forces along the tracks and horizontal forces perpendicular to tracks which are caused by vehicles can't excide related track limits. The parameters of brake equipment must guarantee that it is possible to stop within a given braking distance from the maximum authorised speed.

All components of the infrastructure as well as all components of the vehicles including all kind of interfaces inside infrastructure and inside trains must withstand normal and possible exceptional stresses during whole life cycle. The consequences of possible failures must be mitigated. All used materials must be chosen taking into account limiting the generation, propagation and effects of fire and smoke in the event of a fire. Materials can't cause in normal and degraded situations any health hazard.

All devices intended to be operated by railway personnel and passengers must be so designed as not to impair the safe operation of the devices or the health and safety of users if used in a foreseeable manner, albeit not in accordance with the posted instructions. Additionally prevention against access of intrusions into installations is also important for safety. Moreover, traction supply systems must not impair the safety either of trains or of persons.

The electrical equipment must not impair the safety and functioning of the control-command and signalling installations. The control-command and signalling systems and devices as well as related procedures have to ensure active protection in normal operation and in degraded one. Rolling stock – traction and non-traction vehicles for passengers and cargo, as well as specialised vehicles like track maintenance machines or bi-road vehicles for running on tracks and on roads and all the links between vehicles must be designed in such a way as to protect all kind of involved people even in the event of collision or derailment including passive safety by constructions taking over energy during collisions.

In passenger trains appropriate devices must enable passengers to inform the driver and accompanying staff about emergency and/or to impose emergency braking. However, passenger imposed braking should not lead to stop the train in

some locations e.g. in tunnels where panic may be extremely dangerous and fire may propagate faster. Access doors must incorporate an opening and closing system which guarantees passenger safety. Emergency exits must be provided and indicated.

Finally, last but not least operating rules and the qualifications of drivers and on-board staff and of the all kinds of the trackside staff must ensure safe operation. Maintenance of infrastructure and vehicles has to be carried in appropriate intervals by competent staff using appropriate equipment.

So, for one person safety is related to the parameters of rails and appropriate geometry of tracks, for another safety is related to competence and health of the drivers. For us in this article safety is related to control command systems based on classic signalling systems ensuring so called active protection.

Totally other thing is security although in many languages including Polish both are expressed in many situations by the same word.

Signalling systems are seen by the drivers as colour light signals (semaphores in old solutions) giving them permission to run with given speed and on defined restricted distance. For dispatchers signalling systems are monitors (cubic based pulpits in old solutions) ensuring safe setting and locking of train running paths and setting signals in appropriate position meaning displaying appropriate colour light signal aspects (semaphores positions in old solutions). For signalling engineers signalling systems are interlockings, block systems, level crossing protection systems, and other technical systems all ensuring vital verification of the permissions given by dispatchers, and automatic safety related technical systems to the drivers by colour light signal aspects.

The control command systems are seen by the drivers as detail information about running limits on the cab signalling. For dispatchers control command systems are nearly invisible except situations where control command systems provide means for larger areas serviced from a single location. For signalling engineers control command systems have to be subdivided into trackside components and on-board components. The trackside components are taking vital information in a vital way form vital technical signalling systems and transmitting it in defined

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

languages using vital transmission channels. The on-board components are receiving and verifying vital information from transmission channels, then proceeding vital computing of received information and displaying running permissions (only receiving, verifying and displaying limited information in old solutions) to the drivers.

Implementing contemporary European control command solution – the European Train Control System (ETCS) [1, 3, 4, 8, 9] and using European Global System for Mobile Railway Communication (GSM-R) [9, 11, 14, 15] for voice digital communication and as a digital channel for ETCS ensures higher safety but sets in front of the engineers new kind of challenges. As a result of implementing ETCS and GSM-R railway lines capacity is growing, border disruptions between railway systems of the neighbouring countries is lowering – additional traction units and additional tracks for shunting in many locations disappear, necessity of the different drives and different equipment in traction units is strongly minimised and as a result time needed to pass borders is limited significantly. Border disruptions starts to be comparable with other transport media. For better understanding of the different types of documents related to ETCS and GSM-R it is important to know that they are together called European Railway Transport Management System (ERTMS) [1, 5, 6, 8, 9].

To emphasise safety aspects related to signalling and control command systems it is necessary to point that signalling systems are verifying work of the dispatchers but not verifying work of the train drivers. Introducing control command systems ensures possibility to verifying whether train drivers drive the trains in accordance with the limits given by dispatchers. Together they provide active safety for train movements. This is extremely important as trains due to extremely big masses (up to over 3 000 tones and even more) and relatively high speeds (up to over 160 km/h and even more) gain high kinetic energy having at the same time adhesive coefficient about eight times lower than road vehicles. As a result braking distance for trains is long and each accident appearing inconsiderable may cause catastrophic consequences [2, 5, 7, 9, 10]. That is why railway movements are regulated by signalling and control command systems ensuring meeting following

safety related functionalities:

- keeping safe distances between trains running on the tracks between stations – train spacing management,
- preventing setting conflicting train routs for the trains running in to and out from the stations – train routing management,
- locking of the mobile elements of the switches for entire train runs in correct positions – preventing derailments caused by switch movements under trains,
- protection of the level crossings constituting by the roads and railway lines crossing at one level – ensuring automatic level crossing protection as well as putting appropriate signs on the rail and on the road side,
- enabling safe incorporation of additional trains from the branches, sidings, industrial tracks etc. without creating disturbances – train movement start-up procedures.

Findings

The safety related functions of the control command systems do not ensure safety of the control command system itself. As already pointed safety must be ensured not only in normal operational conditions but also in degraded ones. It is, therefore, important what will happen when control command system is malfunctioning or even when it is damaged.

Malfunctioning and damage must not cause so called wrong side failures which means that authorised speed can't be higher than the safe one and authorised running distance can't be longer than the safe one. The safe one meaning authorised by dispatcher, given by signalling system, reflecting current operational circumstances. It has to be accepted that all technical systems are not failure free, especially for ever. However, acceptable malfunctioning and damage are those which mean that certainly authorised speed is lower than the safe one and authorised running distance is shorter than the safe one [2, 7, 10, 12, 13].

The question is how to ensure that wrong side failures do not appear in a whole life cycle of the control command system. The old method which is still applied on a functional level is simulating failures by switching off single modules, verifying results of short-circuits in different places, switching off control command system power

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

supply. This is mainly done during construction and known as fail-safe principle. For electronic systems which are based on vital interfaces, vital transmission and vital data computing this is certainly not enough. It is necessary to verify consequences of failures in electronic hardware and software. This is also done during construction phase, but in that respect a safety integrity level (SIL) principle is applied. The SIL levels are defined in a European Standard EN 50 129. The levels are from zero to four. SIL 4 is the only one acceptable for control command systems. Usually SIL 4 is seen as an acceptable level of failures for one hour of working of the electronic system lower than $10E-9$. This is half true as it applies only in relation to hazard failures. Additionally the EN 50 129 for each safety integrity level defines principles which are intended to minimise so called systematic failures, which means failures caused during design, construction, assembly, maintenance – generally failures caused by people. Confirmation of safety of the electronic systems – vitality of the control command – is done by «safety evidence report». This is a document which is verified by independent safety assessor and seen as company commercial secret and kept only for limited staff of the companies and requiring keeping it secret by all involved people including assessor.

Is it enough to apply to control command system fail-safe principle and SIL 4 supported by safety evidence report. It is not. The fail-safe principle and SIL 4 are applied to the product itself, while control command system is connected to

a number of other systems by interfaces. The interfaces related failures may cause wrong side failures for a whole active safety system between dispatcher and train driver (dispatcher → vital signalling system e.g. interlocking → vital trackside control command e.g. ETCS → vital transmission system e.g. GSM-R → vital on-board systems e.g. braking system e.g. ETCS → train driver).

Originality and practical value

New and high-effective scope of tests which are necessary for putting new control command installation into service both track-side and on-board are proposed

Control command implementations will significantly improve operational safety, however it is possible only when recommendations defined in this article are taken into account. This means that all the components including interfaces have to meet acceptable hazard rate $10E-9$ and have to be properly design, constructed, assembled and maintained, all taking into account whole chain of functions performed and supervised by different railway entities.

Conclusions

Active safety system based on control command can support railway operational safety. However, it will not always support operational safety.

First of all trackside control command system is based on signalling system. It will not work if the signalling system is malfunctioning or damaged and if interfaces between signalling systems and control command are malfunctioning. Of course wrong side failure in signalling system must not cause authorised speed higher than the safe one or authorised running distance longer than the safe one.

Secondly, trackside control command system is connected to vital transmission system by vital interfaces. Control command system will not work if transmission itself or interfaces are malfunctioning or damaged. Of course wrong side failure in interfaces to transmission system and transmission system itself must not cause authorised speed higher than the safe one or authorised running distance longer than the safe one.

The same applies to all vital systems and interfaces constituting whole active safety system between dispatcher and train driver. Moreover, all systems and interfaces must ensure safety integrity level SIL 4. Any system with lower safety integrity level in a chain system structure will cause lowering safety integrity level of the whole active safety system between dispatcher and train driver to the level of such system. SIL 4 must be

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

therefore ensured for all components and all interfaces.

Additionally it is important to understand and to take into account that operational safety will not be supported in all situations when control command and/or transmission systems trackside and on-board will not be compatible. This constitutes

a challenge as all lines and all traction vehicles can't be equipped at the same time. First certification process have to be based on new trackside and new on-board control command equipment and assume that both are working correctly if all the tests are passed without problems. Then additional trackside equipment have to be tested using already accepted on-board equipment and additional on-board equipment have to be tested using already accepted trackside equipment. More and more trackside and on-board installations will require defining strategy as it is impossible to test new vehicles against all existing trackside installations and vice versa.

Control command implementations will certainly improve operational safety if all the components including interfaces are properly design, constructed, assembled and maintained, however operational safety depends on many other solutions and procedures.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Białoń, A. Polish national european railway traffic management system plan / A. Białoń, A. Toruń // Computer systems aided science and engineering work in transport, mechanics and electrical engineering. – Radom : Technical University of Radom, 2008. – P. 37–44.
2. Białoń, A. Problematyka analizy ryzyka w urządzeniach SRK / A. Białoń // Telekomun, Sterow, Ruchem, 2008. – № 2. – P. 17–21.
3. ERA/ERTMS/003204. Functional requirement specification, wersja 5.0, sygnatura. – Poland : ERTMS, 2010. – 98 p.
4. ETCS System Requirements Specification, version 3.2.0, reference UNISIG Subset 0-26.
5. ERTMS 04E117 ETCS/GSM-R Quality of Service – Operational Analysis, 2005.
6. ERTMS/ ETCS RAMS Requirements Specification / UIC ERTMS Users Group, 1998.
7. Pawlik, M. Bezpieczeństwo ruchu kolejowego w legislacji unijnej / M. Pawlik // Technika Sterowania Ruchem. – Warszawa, 2007. – № 4.
8. Pawlik, M. Polski Narodowy Plan Wdrażania Europejskiego Systemu Zarządzania Ruchem Kolejowym ERTMS / M. Pawlik // Technika Transportu Szynowego, 2007. – № 1–2.
9. Pawlik, M. Ruch i przewozy kolejowe. Sterowanie ruchem / M. Pawlik, A. Żurkowski // KOW, Warszawa. – 2010
10. Pawlik, M. Zarządzanie ryzykiem w transporcie kolejowym / M. Pawlik // Technika Transportu Szynowego. – 2013 – № 9. – P. 56–69.
11. Pushparatnam, L. GSM-R Implementation and Procurement Guide V 1.0 / L. Pushparatnam, T. Taylor. – 2009. UIC ISBN 978-2-7461-1631-3.
12. Siergiejczyk, M. Problemy zapewnienia bezpieczeństwa informacyjnego w sieci GSM-R / M. Siergiejczyk, S. Gago // Konferencja Transport XXIw. – 2014.
13. Siergiejczyk, M. Zagadnienia bezpieczeństwa systemu GSM-R w aspekcie wspomagania transportu kolejowego / M. Siergiejczyk, S. Gago // Logistyka. – Poznań : IliM, 2012. – № 6.
14. UIC CODE 950. GSM-R Functional Requirements Specification, version 7.3.0. – France : Intern. Union of Railways, 2012. – 111 p.
15. UIC CODE 951. GSM-R System Requirements Specification, version 15.3.0. – France : Intern. Union of Railways, 2012. – 170 p.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

М. ПАУЛІК^{1*}

^{1*}Заст. директора Варшавського інституту залізничного транспорту, вул. Chłopickiego Józefa, 50, Варшава, Польща, PL 04-275, тел. +48 22 47 31 070, ел.пошта mpawlik@ikolej.pl, ORCID 0000-0003-3357-7706

УПРАВЛІННЯ КОМАНДНИМИ СИСТЕМАМИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНУ БЕЗПЕКУ ЗАЛІЗНИЦІ

Мета. Безпека на залізничному транспорті – нагальна необхідність. Проте складно точно сказати, що означає поняття «безпека», оскільки для різних фахівців це можуть бути різні фактори. В роботі передбачається розкриття аспектів безпеки національної залізниці, що забезпечуються командними системами управління в якості компонента експлуатації залізниць, та описання проблем, пов'язаних із ними. **Методика.** Для досягнення поставленої мети проаналізовані системи сигналізації та управління залізничним рухом. Розглянуто такі аспекти: безпечні відстані між поїздами в міжпідстанційних зонах; запобігання установці суперечливих маршрутів для поїздів, що прибувають та відправляються зі станцій; блокування рухомих елементів перемикачів поїзда в правильному положенні; забезпечення безпеки на залізничних переїздах, що знаходяться на одному рівні з залізницею. Проаналізовано також забезпечення безпечного руху та запобігання перешкодам для поїздів, які курсують по під'їзним та промисловим шляхам. **Результати.** В статті зроблений аналіз системи командного контролю за управлінням безпекою з урахуванням наступних чинників: безпеки самої системи командного контролю; взаємодії між системами сигналізації й управління, з однієї сторони, та адміністративно-командної системи управління і системи управління поїздом, – з іншої. Розглянуті також питання передачі, технічного обслуговування, режимів експлуатації. **Наукова новизна.** Запропоновано нові високоефективні випробування, необхідні для здачі в експлуатацію нової системи контролю. **Практична значимість.** Реалізація командного управління підвищить експлуатаційну безпеку, якщо рекомендації, визначені у цій статті, будуть враховані. Це означає, що всі компоненти, включаючи з'єднання, повинні відповідати допустимому ступеню ризику 10E-9, бути правильно сконструйованими, виготовленими, зібраними, збереженими (з урахуванням всього ланцюжка виконаних функцій) та контролюватися різними залізничними організаціями.

Ключові слова: залізниця; безпека; система контролю команд; електрообладнання; система сигналізації

М. ПАУЛИК^{1*}

^{1*}Зам. директора Варшавського інституту залізничного транспорту, вул. Chłopickiego Józefa, 50, Варшава, Польща, PL 04-275, тел. +48 22 47 31 070, ел.почта mpawlik@ikolej.pl, ORCID 0000-0003-3357-7706

УПРАВЛЕНИЕ КОМАНДНЫМИ СИСТЕМАМИ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИМИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Цель. Безопасность на железнодорожном транспорте – насущная необходимость. Однако сложно точно сказать, что означает понятие «безопасность», поскольку для разных специалистов это могут быть различные факторы. В работе предполагается раскрыть аспекты безопасности национальной железной дороги, которые обеспечиваются командными системами управления в качестве компонента эксплуатации железных дорог, и описать проблемы, связанные с ними. **Методика.** Для достижения поставленной цели проанализированы системы сигнализации и управления железнодорожным движением. Рассмотрены следующие аспекты: безопасные расстояния между поездами в межподстанционных зонах; предотвращение установки противоречивых маршрутов для поездов, прибывающих и отправляющихся со станций; блокировка подвижных элементов переключателей поезда в правильном положении. Проанализировано также обеспечение безопасности на железнодорожных переездах, находящихся на одном уровне с железной дорогой; обеспечение безопасного движения и предотвращение препятствий для поездов, которые курсируют по подъездным и промышленным путям. **Результаты.** В работе сделан анализ системы командного контроля управлением безопасностью с учетом следующих факторов: безопасности самой системы командного контроля; взаимодействия между системами сигнализации и управления,

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

с одной стороны, и административно-командной системой управления и системой управления поездом, – с другой. Рассмотрены также вопросы передачи, технического обслуживания, режимов эксплуатации. **Научная новизна.** Предложены новые высокоэффективные испытания, необходимые для сдачи в эксплуатацию новой системы контроля. **Практическая значимость.** Реализация командного управления повысит эксплуатационную безопасность, если рекомендации, определенные в этой статье, будут учтены. Это означает, что все компоненты, включая соединения, должны соответствовать допустимой степени риска $10E-9$, быть правильно сконструированными, изготовленными, собранными, сохраненными (с учетом всей цепочки выполненных функций) и контролироваться различными железнодорожными организациями.

Ключевые слова: железная дорога; безопасность; система контроля команд; электрооборудование; система сигнализации

REFERENCES

1. Białoń A. Torun A. Polish national european railway traffic management system plan. Computer systems aided science and engineering work in transport, mechanics and electrical engineering. Radom, Technical University of Radom Publ., 2008, pp. 37-44.
2. Białoń A. Problematyka analizy ryzyka w urządzeniach SRK. *Telekomun, Sterow, Ruchem*, 2008, no. 2, pp. 17-21.
3. ERA/ERTMS/003204. Functional requirement specification, wersja 5.0, sygnatura. Poland, ERTMS, 2010. 98 p.
4. ETCS System Requirements Specification, version 3.2.0, reference UNISIG Subset 0-26.
5. ERTMS 04E117 ETCS/GSM-R Quality of Service – Operational Analysis, 2005.
6. ERTMS/ ETCS RAMS Requirements Specification / UIC ERTMS Users Group, 1998.
7. Pawlik M. Bezpieczeństwo ruchu kolejowego w legislacji unijnej. *Technika Sterowania Ruchem*. Warszawa, 2007, no. 4.
8. Pawlik M. Polski Narodowy Plan Wdrażania Europejskiego Systemu Zarządzania Ruchem Kolejowym ERTMS. *Technika Transportu Szynowego*, 2007, no. 1-2.
9. Pawlik M., Żurkowski A. Ruch i przewozy kolejowe. Sterowanie ruchem. KOW, Warszawa, 2010.
10. Pawlik M. Zarządzanie ryzykiem w transporcie kolejowym. *Technika Transportu Szynowego*. Warszawa, 2013, no. 9, pp. 56-69.
11. Pushparatnam L., Taylor T. GSM-R Implementation and Procurement Guide V 1.0. 2009. UIC ISBN 978-2-7461-1631-3.
12. Siergiejczyk M., Gago S. Problemy zapewnienia bezpieczeństwa informacyjnego w sieci GSM-R. Konferencja Transport XXIw. 2014.
13. Siergiejczyk M., Gago S. Zagadnienia bezpieczeństwa systemu GSM-R w aspekcie wspomagania transportu kolejowego. *Logistyka*. Poznań, IliM. 2012, no. 6.
14. UIC CODE 950. GSM-R Functional Requirements Specification, version 7.3.0. France, International Union of Railways Publ., 2012. 111 p.
15. UIC CODE 951. GSM-R System Requirements Specification, version 15.3.0. France, International Union of Railways Publ., 2012. 170 p.

Dr. hab., Prof. V. G. Kuznetsov (Ukraine) recommended this article to be published

Received: Feb. 03, 2015

Accepted: Apr. 15, 2015

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 502.3:504.5:656.085.6

Т. И. РУСАКОВА^{1*}

^{1*}Каф. «Аэрогидромеханика и энергомассоперенос», Днепропетровский национальный университет имени О. Гончара, ул. Казакова, 18, корп. № 14, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 776 82 05, эл. почта rusackovat@yandex.ru, ORCID 0000-0001-5526-3578

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПРИ АВАРИЯХ НА ДОРОГАХ ГОРОДА

Цель. В работе рассмотрен вопрос о создании математического аппарата для оценки экологической ситуации при авариях на дорогах города (взрывах). Прежде всего это касается разработки численной модели для расчета уровня загрязнения атмосферного воздуха при эмиссии химически опасного вещества с учетом метеорологических параметров окружающей среды. Предполагается также выявление участков, где наблюдается превышение предельно допустимой концентрации по данному загрязнителю (в нашем случае, – по аммиаку), и участков, благоприятных для населения. **Методика.** В исследовании применялась разработанная методика численного расчета концентрации загрязнения воздушной среды при выбросе химически опасного вещества (аммиака), которая основана на совместном решении гидродинамической задачи и задачи по переносу примеси в атмосфере. Решение гидродинамической задачи базируется на методе дискретных вихрей с учетом различной геометрии зданий и их взаимного расположения, а решение задачи по переносу загрязнителя – на уравнении конвективно-диффузионного переноса примеси с использованием неявных разностных схем. **Результаты.** На основе разработанной численной модели проведен ряд вычислительных экспериментов. В результате выполненных расчетов были получены: вихревые структуры, которые формируются при обтекании зданий; поле скорости ветрового потока вблизи зданий; картина линий тока в области течения. Рассчитаны концентрации химически опасного вещества (аммиака) во всей исследуемой области; проведен сравнительный анализ с предельно допустимой концентрацией (ПДК) по данному загрязнителю; установлены закономерности по изменению концентрации аммиака с наветренной и подветренной стороны зданий. **Научная новизна.** Создана численная модель, которая позволяет наглядно воссоздать и проанализировать структуру потока, наличие застойных зон, областей возвратного течения при различной геометрии зданий и их взаимном расположении, что оказывает влияние на распространение загрязняющего вещества в атмосфере. **Практическая значимость.** Полученные результаты позволят проводить оценку уровня токсичного поражения людей при авариях (взрывах) на дорогах города с учетом влияния геометрии зданий на гидродинамическую структуру потока и рассеивание загрязнителя.

Ключевые слова: химически опасное вещество; интенсивность выброса загрязнителя; концентрация загрязняющего вещества; метод дискретных вихрей; уравнение переноса примеси; численная модель

Введение

Аварии на химически опасных объектах (ХОО) при транспортировке опасных грузов, а также при терактах приводят к поступлению в атмосферу различных веществ, многие из которых могут вызвать поражение людей. Украин-

на имеет хорошо развитую химическую промышленность и большое количество промышленных объектов, где используются химически опасные вещества. Кроме этого, ежедневно осуществляется транспортировка химически опасных веществ различными видами транспорта. Все это создает угрозу химического за-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

гязнення окружающей среды при чрезвычайных ситуациях на таких объектах.

На основе данных, предоставленных МЧС в Днепропетровской области, был выполнен анализ чрезвычайных ситуаций, при которых произошла эмиссия химически опасных веществ и в период с 2006 г. по 2013 г. Этот анализ показал, что наиболее часто эмиссия химически опасных веществ происходила [2]:

- при транспортировке химически опасных грузов железнодорожным транспортом;
- при транспортировке химически опасных грузов автомобильным транспортом;
- непосредственно на химически опасных предприятиях в г. Днепропетровске, расположенных в жилых зонах или на городских сетях.

За рубежом количество аварий, сопровождающихся эмиссией химически опасных веществ, очень велико, что связано с широким развитием химической промышленности. Так, в период с 1998 г. по 2008 г., в США произошло порядка 170 тыс. аварий только при транспортировке опасных грузов. Кроме этого, опасность токсичного поражения людей исходит от терактов с применением химического оружия (например, Сирия, август 2013 г.). Нестабильная обстановка в ряде районов Украины создает огромный потенциальный риск химического загрязнения атмосферы, поскольку в этих районах располагаются крупные химические производства.

Следует подчеркнуть, что при чрезвычайных ситуациях, сопровождающихся эмиссией химически опасных веществ или биологических загрязнителей наиболее быстро наступает поражение за счет ингаляции опасных веществ, что обусловлено быстрым их распространением в воздушной среде [18–19].

Достаточно часто аварийные ситуации, сопровождающиеся выбросом (разливом) химически опасных веществ, возникают на следующих объектах: пункты заправки; прирельсовые склады; базовые склады; полевые емкости; цеха по производству опасных веществ; цеха, где используются опасные вещества в технологическом процессе; железнодорожные сортировочные станции.

Следует отметить, что крайне опасны аварии на складах, где могут быть сосредоточены большие объемы химически опасных веществ,

а также на железнодорожных сортировочных станциях, где имеют место маневровые работы с крупнотоннажными грузами (цистерны по 60 и 120 т). При авариях на ХОО с участием железнодорожного транспорта может происходить сход цистерн, нарушение целостности их оболочки и вылив значительного количества опасного груза. Даже при небольшой эмиссии ХОВ, вследствие атмосферной диффузии, создается большая зона загрязнения. Однако, хорошо известно, что даже при относительно невысокой концентрации загрязнителя в атмосфере, но достаточно длительном времени экспозиции может наступить токсическое поражение людей.

Теракты являются чрезвычайной ситуацией, в результате которой может произойти умышленная эмиссия опасных веществ (в первую очередь, химических или биологических, реже – радиоактивных) в воздушную среду.

В настоящее время риск осуществления терактов с химическими и биологическими агентами – очень велик [2, 14, 18–19]. При терактах на промышленных объектах и транспорте возможна эмиссия опасных веществ в атмосферу в очень больших количествах. При терактах на улицах городов – в жилой зоне, возможно поступление в атмосферу хоть и меньшего количества опасного вещества, чем при теракте на ХОО, но риск поражения остается крайне высоким. Это связано с тем, что опасное вещество может быть «доставлено» непосредственно близко к объекту атаки и при отсутствии систем «опознавания опасности и своевременного оповещения» привести к массовому поражению людей. Эмиссия опасных веществ при терактах, ставит крайне важную задачу в области экологической безопасности – быструю минимизацию концентрации опасного вещества в атмосферном воздухе с целью защиты людей от токсичного поражения. Особенно важно организовать такую защиту для людей, находящихся в зданиях. Это связано с тем, что в последнее время целью террористов являются именно здания, как жилые, так и административные [18–19].

В связи с этим возникает важная задача оценки уровня токсичного поражения людей на улицах при аварийных происшествиях на дорогах города. Для решения этой задачи необходимо иметь модели прогноза уровня загрязне-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

ния воздушной среды. В настоящее время используется несколько классов математических моделей для решения данных задач. Как правило, это аналитические модели – модель Гаусса [5, 9] и численные модели [2–4, 7, 10–15, 17–20]. Аналитические модели позволяют оперативно рассчитать поле концентрации загрязняющего вещества при мгновенном источнике выброса (теракт). Большим недостатком этих моделей является то, что они не учитывают влияние зданий на улицах на процесс формирования зоны загрязнения. При использовании численных моделей, которые основаны на уравнениях Навье-Стокса требуется значительное количество компьютерного времени (порядка нескольких суток) и наличие универсальной модели турбулентности для данного класса задач. Даже общеизвестные модели турбулентности [16] дают достаточно плохие результаты при моделировании обтекания зданий. Нормативная методика, которая используется в Украине для расчета зон поражения с химически опасными веществами, также не учитывает влияние зданий на перенос загрязняющих веществ в атмосфере.

Цель

Целью данной работы является создание математического аппарата для оценки экологической ситуации при авариях на дорогах города (взрывах), а именно разработка численной модели для расчета уровня загрязнения атмосферного воздуха при эмиссии химически опасного вещества с учетом метеорологических параметров окружающей среды. Выявление участков, где наблюдается превышение предельно допустимой концентрации по данному загрязнителю (в данном случае по аммиаку), и участков благоприятных для населения.

Методика

Гидродинамическая модель. В данной работе рассматривается процесс нестационарного отрывного обтекания зданий с изломами образующей (рис. 1) в двухмерной постановке. Постройки имеют основные геометрические размеры: длины – ℓ_1, ℓ_2 ; высоты – h_1, h_2 ; расстояние между зданиями $\Delta\ell$.

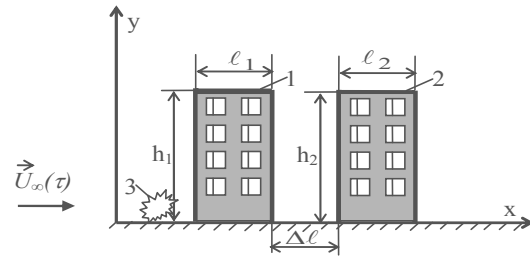


Рис. 1. Схема расчетной области:

1, 2 – здания;

3 – взрыв химически опасного вещества

Fig. 1. The computational domain diagram:

1, 2 – buildings;

3 – explosion of chemically dangerous substance

Параметры $h_1, h_2, \ell_1, \ell_2, \Delta\ell$ могут варьироваться в зависимости от высоты зданий и способа их расположения. Ветровой поток набегаёт со скоростью $\vec{U}_\infty(\tau)$ вдоль положительной оси Ox . За характерный размер принята величина $\ell = h_1$, где h_1 – высота первого здания; за характерную скорость – значение скорости набегающего потока $\vec{U}_\infty(\tau)$, где τ – безразмерное время, которое определяется, как $\tau = U_\infty(\tau) \cdot t / \ell$; t – физическое время.

Моделирование процесса обтекания зданий потоком воздуха основано на применении гидродинамической модели идеальной жидкости. В основе данной модели лежит метод дискретных вихрей [1, 7].

Для моделирования процесса обтекания данных сооружений у поверхности земли используются основная и зеркально отображенная вихревые системы. Каждая из них состоит из присоединенных дискретных вихрей, циркуляции которых Γ_μ равны по величине и противоположны по знаку, и свободных $\delta_1^\tau, \delta_2^\tau, \delta_3^\tau, \delta_4^\tau$ вихревых пелен, сходящих с изломов поверхностей в каждый момент времени τ рис. 2. Движение последних в обеих вихревых системах происходит симметрично. При таком разбиении на линии симметрии Ox автоматически в любой момент времени выполняется условие непротекания, что равносильно присутствию здесь поверхности земли. Схема разбиения поверхностей сооружений включает: n контрольных точек, где выполняется граничное условие непротекания и n дискретных вихрей, которые

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

ми моделюється непроницаема поверхність зданий. Первіє розполагаються на лініях v , а вторіє – на лініях μ между контрольними точками как в основній, так и зеркально отобразенной вихревых системах, рис. 2.

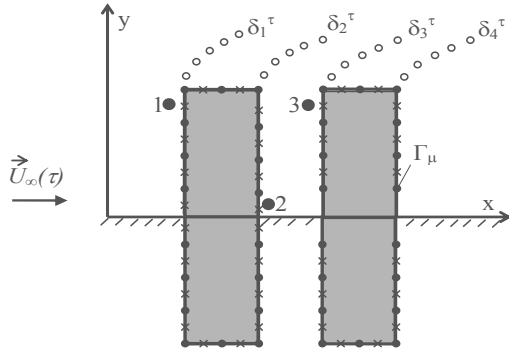


Рис. 2. Моделирование поверхностей зданий системой дискретных вихрей (•) и контрольных точек (х):
1, 2, 3 – точки наблюдения

Fig. 2. Surface modeling of buildings system of discrete vortices (•) and control points (х):
1, 2, 3 – watchpoints

Циркуляції присоединенных вихрей Γ_μ на k -ом шаге по времени определяются из решения системы линейных алгебраических уравнений (1), которая выражает собой условие непротекания поверхностей зданий и условие бесциркуляционного обтекания.

$$\sum_{v=0}^n \left[\sum_{\mu=0}^n \Gamma_\mu (a_{v\mu} - a'_{v\mu}) = -\cos(\vec{U}_\infty, \vec{n})_v \right] - \sum_{kk=1}^4 \sum_{i=1}^k \delta_{kk\ i} (a_{kk\ i} - a'_{kk\ i})_v, \quad (1)$$

где Γ_μ – циркуляция μ -ого присоединенного вихря; $a_{v\mu}$, $a'_{v\mu}$ – нормальные составляющие скорости в v -ой контрольной точке от μ -ого присоединенного вихря основной и зеркально отображенной вихревых систем; $(a_{kk\ i})_v$, $(a'_{kk\ i})_v$ – нормальные составляющие скорости в v -ой контрольной точке от i -ого свободного вихря основной и зеркально отображенной вихревых систем; kk – порядковый номер вихревой пелены; k – количество свободных вихрей в потоке в момент времени τ в соответствующей вихревой пелене kk ;

$\cos(\vec{U}_\infty, \vec{n})_v$ – косинус угла между вектором скорости потока $\vec{U}_\infty(\tau)$ и нормалью \vec{n} к поверхности тела в каждой контрольной точке. Вычисленные значения циркуляций присоединенных дискретных вихрей Γ_μ в местах излома поверхностей определяют циркуляции свободных вихрей δ_1^i , δ_2^i , δ_3^i , δ_4^i в расчетные моменты времени τ , $i=1, \dots, k$.

Новое положение свободных вихрей определяется согласно методу Эйлера по соотношениям (2), (3).

$$x_{kk\ i}^{\tau+1} = x_{kk\ i}^\tau + \left[\sum_{\mu=0}^n (V_{xi\mu} - V'_{xi\mu}) + \sum_{j=1}^k (V_{xij} - V'_{xij}) + U(\tau) \right] \cdot \Delta t, \quad (2)$$

$$y_{kk\ i}^{\tau+1} = y_{kk\ i}^\tau + \left[\sum_{\mu=0}^n (V_{yi\mu} - V'_{yi\mu}) + \sum_{j=1}^k (V_{yij} - V'_{yij}) \right] \cdot \Delta t \quad (3)$$

$$i = 1, \dots, k; \quad kk = 1, \dots, 4;$$

где $V_{xi\mu}$, $V'_{xi\mu}$ – x -е составляющие скорости в расчетной точке i от присоединенного вихря μ , основной и зеркально отображенной вихревых систем; $V_{yi\mu}$, $V'_{yi\mu}$ – y -е составляющие скорости в расчетной точке i от присоединенного вихря μ , основной и зеркально отображенной вихревых систем; V_{xij} , V'_{xij} – x -е составляющие скорости в расчетной точке i от свободного вихря j , основной и зеркально отображенной вихревых систем; V_{yij} , V'_{yij} – y -е составляющие скорости в расчетной точке i от свободного вихря j , основной и зеркально отображенной вихревых систем. Эти компоненты скорости можно найти из соотношений (4), (5).

$$V_{xik} = \frac{1}{2\pi} \frac{y_k - y_i}{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2}, \quad (4)$$

$$V_{yik} = -\frac{1}{2\pi} \frac{x_k - x_i}{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2}, \quad (5)$$

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

где k – расчетная точка, в которой определяется скорость; i – вихрь, который индуцирует скорость.

Для расчета поля скорости используются основные зависимости [1, 7] (6) – (7).

$$V_{xi} = \sum_{\mu=0}^n \Gamma_{\mu} (V_{xi\mu} - V'_{xi\mu}) + \sum_{r=1}^p \sum_{j=1}^k \Gamma_{\delta_r} (V_{xj\delta_r} - V'_{xj\delta_r}) + U_{\infty}(\tau), \quad (6)$$

$$V_{yi} = \sum_{\mu=0}^n \Gamma_{\mu} (V_{yi\mu} - V'_{yi\mu}) + \sum_{r=1}^p \sum_{j=1}^k \Gamma_{\delta_r} (V_{yj\delta_r} - V'_{yj\delta_r}), \quad (7)$$

где Γ_{μ} – циркуляция μ -ого присоединенного вихря, Γ_{δ_r} – циркуляция свободного вихря r -ой вихревой пелены; $U_{\infty}(\tau)$ – скорость набегающего потока; V_{xi} , V_{yi} – компоненты скорости в рассматриваемой точке плоскости (x_i, y_i) , которые можно рассчитать как сумму соответствующих компонент скорости от всей вихревой системы: присоединенных вихрей μ_r (компоненты $V_{xi\mu}$, $V_{yi\mu}$), которыми моделируются поверхности зданий, и свободных вихрей δ_r (компоненты $V_{x\delta_r}$, $V_{y\delta_r}$), сошедших с острых кромок, на данный момент времени τ основной и зеркально отображенной вихревой системы.

Разработанная численная модель была применена для расчета структуры вихревого потока, линий тока и поля скорости при обтекании зданий ветровым потоком. Эта модель позволяет получить гидродинамическую картину обтекания зданий на улице, что является крайне важным для дальнейшей оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха при эмиссии химически опасного вещества. Наличие плотной и высотной застройки усложняет движение воздушных масс в приземном слое атмосферы города, приводит к торможению воздушных потоков, к резкому ухудшению проветривания городской территории, к увеличению концентрации вредных атмосферных загрязнений. В условиях города поле скорости ветра имеет очень сложный вид, оно

изменяется почти в каждой точке пространства, как по абсолютной величине, так и по направлению. Даже при обтекании ветром одного отдельного дома или сооружения возникает заторможенный поток вокруг любой части преграды, ускоренный поток на боковых поверхностях и над крышей, отрывные течения на подветренной стороне объекта.

Модель массопереноса. При эмиссии химически опасных веществ на улице крайне важно рассчитать динамику изменения концентрации опасного вещества в различных точках на улице на пешеходном уровне или на уровне различных этажей. Для решения этой задачи используется уравнение переноса примеси (8) [5, 10].

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \sigma C = \text{div}(\mu \text{grad} C) + \sum_{i=1}^N Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i), \quad (8)$$

где C – концентрация химически опасного вещества; u, v – компоненты вектора скорости ветра; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коэффициент турбулентной диффузии; Q – интенсивность выброса химически опасного вещества (аммиака); $\delta(x - x_i)(y - y_i)$ – дельта-функция Дирака; x_i, y_i – координаты источника выброса химически опасного вещества; σ – коэффициент, учитывающий химический распад химически опасного вещества; t – время.

На практике для определения уровня опасности химического загрязнения воздушной среды используется несколько подходов. Одним из подходов является оценка уровня загрязнения воздушной среды с помощью предельно допустимой концентрации (ПДК). В табл. 1 представлено значение ПДК для некоторых химических веществ, широко применяемых на химически опасных объектах Украины.

Из табл. 1 видно, что ПДК в рабочей зоне значительно выше такого показателя, как максимально разовая ПДК, поэтому для экспресс оценки опасности уровня загрязнения воздушной среды при чрезвычайных ситуациях можно использовать значение ПДК в рабочей зоне как «отправную» точку. Это особенно важно, когда нет информации о значении смертельной концентрации для вещества.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Таблица 1

Значение ПДК для некоторых химически опасных веществ

Table 1

MPC value for some chemical dangerous substances

Вещество	ПДК в рабочей зоне, мг/м ³	Максимально разовая ПДК, мг/м ³
Аммиак	20	0,2
Хлор	1	0,1
Оксид углерода	20	5
Сероуглерод	1	0,03
Сероводород	10	0,008

Предельно допустимая концентрация (ПДК) аммиака составляет в воздухе населенных пунктов: среднесуточная 0,04 мг/м³, максимальная разовая 0,2 мг/м³. В воздухе рабочей зоны производственных помещений 20 мг/м³. В воде водоемов 2 мг/м³. Порог восприятия запаха 0,5 мг/м³. При концентрации 40–80 мг/м³ наблюдается резкое раздражение глаз, верхних дыхательных путей, головная боль, при 1200 мг/м³ – кашель, возможен отек легких. Смертельными считаются концентрации 1 500–2 700 мг/м³, действующими в течение 0,5–1 часа. Максимально допустимая концентрация аммиака для фильтрующих промышленных и гражданских противогазов составляет 15 000 мг/м³.

Метод решения. Постановка краевых условий для уравнения (1) рассмотрена в работах [2–4, 7–8]. Для формирования вида расчетной области положения зданий, их формы используем метод маркирования расчетной области. Расчет выполняется на прямоугольной разностной сетке. Используя данный метод, можно формировать любую форму зданий на улицах и выбирать их взаимное расположение.

Для интегрирования уравнения переноса примеси (6) применяется попеременно-треугольная разностная схема расщепления [8, 10]. Обозначаем δ_{ij} – число «1» или «0», в зависимости от того, расположен или нет в разностной ячейке « ij » источник выброса химически опасного вещества. Значение Q_{ij} равно интенсивности Q_k соответствующего k -ого

источника, размещенного в разностной ячейке « ij », деленной на площадь этой ячейки $Q_{ij} = Q_k / (\Delta x \cdot \Delta y)$. В разностном аналоге уравнение переноса расщепляем на четыре разностных уравнения так, чтобы на каждом шаге учитывалось лишь одно направление переноса возмущений, определяемое знаком при конвективной производной [7].

Практическая реализация модели. Построена численная модель распространения химически опасного вещества на улице. Данная модель позволяет учитывать следующие факторы: наличие зданий и их взаимное расположение; скорость и направление ветра; атмосферную диффузию; местоположение и интенсивность выброса химически опасного вещества.

Ставится задача изучения динамики загрязнения атмосферного воздуха при эмиссии опасного вещества (аммиака) на улице интенсивностью $Q=1000$ г/с. Полагается, что выброс осуществляется в течение короткого промежутка времени, порядка нескольких секунд $t=5$ с (рис. 1). Расчет выполняется при следующих параметрах: размеры расчетной области 150 м на 84 м; скорость ветра 6 м/с; коэффициент диффузии $\mu=3$ м²/с; здания одинаковой длины $\ell_1 = \ell_2=12$ м и высоты $h_1=h_2=21$ м, расстояние между зданиями $\Delta\ell=36$ м.

Результаты расчета структуры вихревого потока и поля скорости представлены на рис. 3–4. Видно формирование застойных зон и зон возвратного течения.

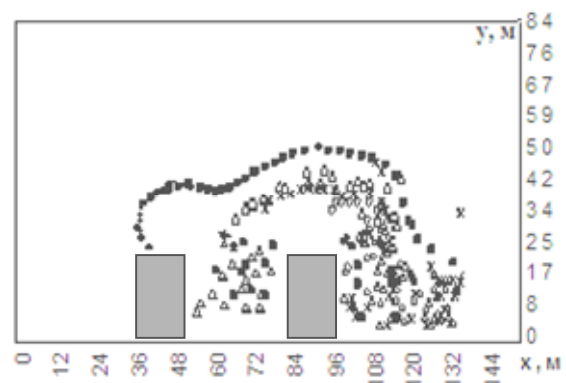


Рис. 3. Вихревая структура при обтекании зданий ветровым потоком

Fig. 3. Vortex structure in the flow around buildings wind flow

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

На рис. 5–8 показана динамика формирования зон загрязнения на улице в различные моменты времени $t=10, 20, 30, 40$ с. На этих рисунках значение концентрации представлено в процентах от величины максимальной концентрации на данный расчетный момент времени.

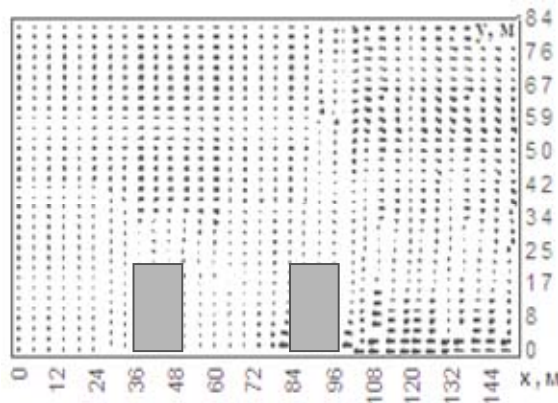


Рис. 4. Поле скорости при обтекании зданий ветровым потоком

Fig. 4. The velocity field in the flow around buildings wind flow

Хорошо видно, как с течением времени формируется сложная зона загрязнения, вызванная влиянием зданий, которые являются препятствиями при распространении химически опасного вещества. Облако загрязнения очень быстро охватывает оба здания, создавая тем самым угрозу токсического поражения людей на улице.

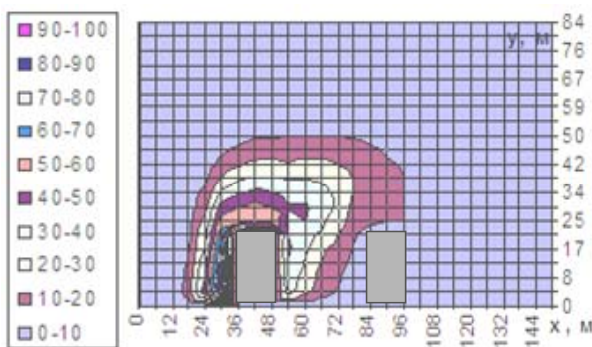


Рис. 5. Зона загрязнения атмосферного воздуха для $t=10$ с, $C_{\max}=1,093$ г/м³

Fig. 5. Zone air pollution for $t = 10$ s, $C_{\max} = 1.093$ g/m³

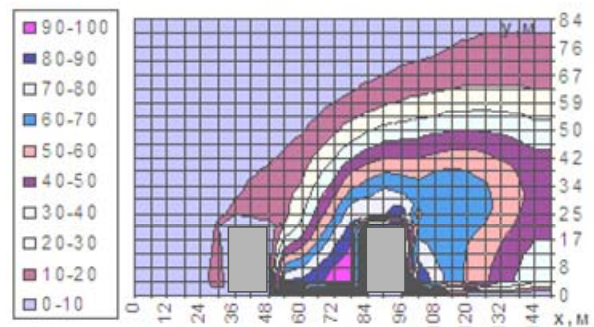


Рис. 6. Зона загрязнения атмосферного воздуха для $t=20$ с, $C_{\max}=0,289$ г/м³

Fig. 6. Zone air pollution for $t = 20$ s, $C_{\max} = 0.289$ g/m³

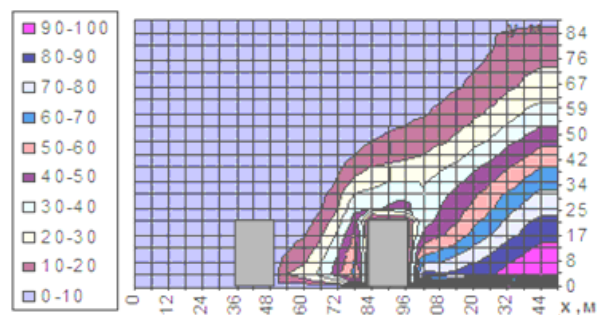


Рис. 7. Зона загрязнения атмосферного воздуха для $t=30$ с, $C_{\max}=0,159$ г/м³

Fig. 7. Zone air pollution for $t = 30$ s, $C_{\max} = 0.159$ g/m³

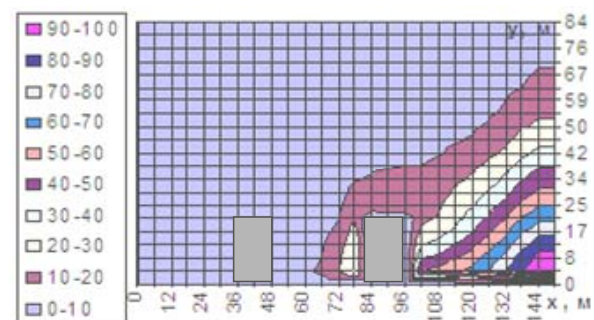


Рис. 8. Зона загрязнения атмосферного воздуха для $t=40$ с, $C_{\max}=0,061$ г/м³

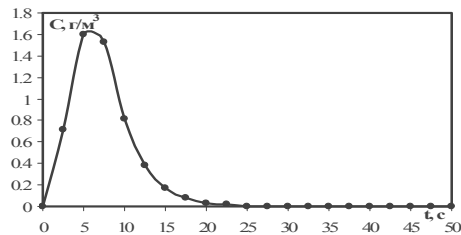
Fig. 8. Zone air pollution for $t = 40$ s, $C_{\max} = 0.061$ g/m³

Для оценки уровня угрозы токсического поражения людей рассчитана концентрация химически опасного вещества (аммиака) в различных точках на улице (показанных кружочком на рис. 2), а именно: точка 1 – наветренная сторона первого здания (место размещения

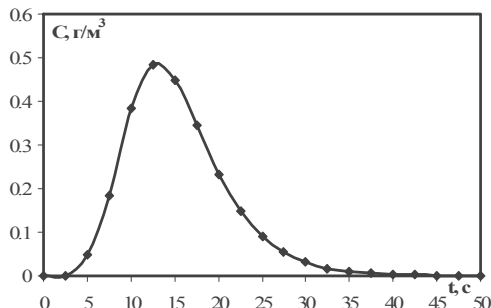
ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

воздухо-заборника); точка 2 – пешеходный уровень (подветренная сторона первого здания); точка 3 – наветренная сторона второго здания (место размещения воздухо-заборника). На рис. 9 показано изменение концентрации в этих точках с течением времени.

a–a



б–б



в–в

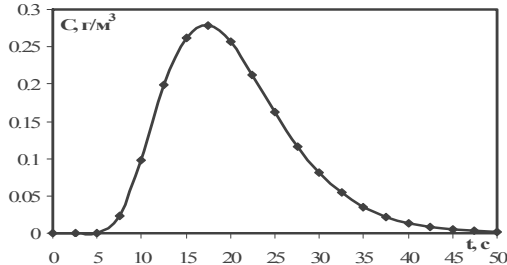


Рис. 9. График изменения концентрации аммиака в течение первых 50 с:
a – точка 1; *б* – точка 2; *в* – точка 3

Fig. 9. Changes in the concentration of ammonia in the first 50 seconds:
a – point 1; *b* – point 2; *c* – point 3

Анализируя данные, представленные на рис. 9, видно, что максимальное значение концентрации в точке 1 достигается в первые 6 с и по величине в 2–5 раз выше, чем в точках 2 и 3, так как эта точка наблюдения находится с наветренной стороны первого здания. Так как здания являются препятствиями при распространении химически опасного вещества, то и максимальное значение концентрации в точках 2 и 3 достигается 12 и 17 с, т. е. значительно позже, чем в точке 1. Сравнение с ПДК=20 мг/м³

(рабочая зона производственных помещений) показывает, что превышение будет более чем в 100 раз. Токсическое поражение людей, находящихся на улице, произойдет в ближайшую минуту времени после момента взрыва.

Научная новизна и практическая значимость

Создана численная модель на основе совместного решения гидродинамической задачи и задачи массопереноса. Разработан пакет вычислительных программ, который позволяет провести достаточное количество численных экспериментов, чтобы наглядно увидеть и проанализировать структуру потока, наличие застойных зон, областей возвратного течения при различной геометрии зданий, их взаимном расположении, что оказывает влияние на распространение загрязняющего вещества в атмосфере. Полученные результаты позволяют легко проанализировать интенсивность загрязнения атмосферного воздуха в любой части расчетной области, что является важным для оценки уровня угрозы токсического поражения людей и принятия решения. А именно, за зданиями формируется область с пониженной концентрацией опасного вещества. Это обусловлено тем, что здания служат своего рода препятствиями при распространении химически опасного вещества.

Выводы

На основе разработанной численной модели, основанной на базе метода дискретных вихрей и уравнения конвективно-диффузионного переноса примеси, можно оценить уровень загрязнения атмосферного воздуха на улицах города с учетом эмиссии химически опасного вещества при известных метеорологических условий и выявить участки, где наблюдается превышение ПДК по данному загрязнителю (в данном случае по аммиаку), и участки благоприятные для населения.

Расчеты, проведенные для данного класса задач, необходимы в случае оценки экологической ситуации при авариях на дорогах города (что приводит к попаданию в атмосферу химически опасных веществ и возникновению угрозы токсического поражения людей) и разработки мероприятий по защите населения.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Белоцерковский, С. М. Математическое моделирование плоскопараллельного отрывного обтекания тел / С. М. Белоцерковский, В. Н. Котовский, М. И. Ништ. – Москва : Наука, 1988. – 232 с.
2. Беляев, Н. Н. Защита зданий от проникновения в них опасных веществ / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, Н. В. Росточило. – Днепропетровск : Акцент ПП, 2014. – 136 с.
3. Беляев, Н. Н. Моделирование локальной защиты зданий (shelter in-place) с учетом сорбции опасного вещества на поверхностях внутри помещений / Н. Н. Беляев, Н. В. Росточило, Ф. В. Недопекин // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2014. – № 4 (52). – С. 23–36.
4. Беляев, Н. Н. Моделирование нестационарных процессов аварийного загрязнения атмосферы / Н. Н. Беляев, А. В. Берлов, П. Б. Машихина. – Днепропетровск : Акцент ПП, 2014. – 127 с.
5. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г. И. Марчук. – Москва : Наука, 1982. – 320 с.
6. Пляцук, Л. Д. Оцінка впливу поля вітру та коефіцієнта турбулентності при моделюванні розповсюдження викидів в атмосфері / Л. Д. Пляцук, В. В. Бойко // Вісн. КНУ ім. М. Остроградського. – Київ, 2011. – Вип. 1, № 66. – С. 141–144.
7. Русакова, Т. И. Прогнозирование загрязнения воздушной среды от автотранспорта на улицах и в микрорайонах города / Т. И. Русакова // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – № 6 (48). – С. 32–44.
8. Самарский, А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. – Москва : Наука, 1983. – 616 с.
9. Светличная, С. Д. Оценка полученной токсодозы при распространении первичного облака токсического вещества / С. Д. Светличная // Пробл. надзвич. ситуацій. – Харків : УЦЗУ, 2011. – Вип. 13. – С. 127–132.
10. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – Київ : Наук. думка, 1997. – 368 с.
11. Biliaiev, M. M. Expert Systems for Assessing Disaster Impact on the Environment / M. M. Biliaiev, M. M. Kharytonov, N. V. Rostochilo // Improving Disaster Resilience and Mitigation – IT Means and Tools, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. – 2014. – P. 153–165. doi: 10.1007/978-94-017-9136-6_10.
12. Boudier, F. Risk Perception and Communication / F. Boudier // Improving Disaster Resilience and Mitigation – IT Means and Tools, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. – 2014. – P. 45–62. doi: 10.1007/978-94-017-9136-6_3.
13. Chen, Q. Protecting buildings from chemical and biological warfare agent attacks – a long journey / Q. Chen // Editorial, HVAC&R Research. – 2004. – Vol. 10. – Iss. 4. – P. 389–391. doi: 10.1080/10789669.2004.10391110.
14. Development of Building Resolving Atmospheric CFD Code Taking into Account Atmospheric Radiation in Complex Geometries / Y. Qu, M. Millez, L. Musson-Genon, B. Carissimo // Air Pollution Modeling and its Application XXI, NATO SPS Series C: Environmental Security. – 2012. – P. 75–80. doi: 10.1007/978-94-007-1359-8_13.
15. Kitada, T. Episodic High Surface Ozone in Central Japan in Warm Season: Relative Importance of Local Production and Long Range Transport / T. Kitada // Air Pollution Modeling and its Application, NATO SPS Series C: Environmental Security. – 2010. – P. 233–239. doi: 10.1007/978-94-007-1359-8_39.
16. Murakami, S. Comparison of «k-ε» model, ASM and LES with wind tunnel test for flow field around cubic model / S. Murakami, A. Mochida, H. Yoshihiko // 8th Intern. Conf. on Wind Engineering. – Western Ontario, 1991. – № 12. – P. 3.
17. Persily, A. Building Retrofits for Increased Protection Against Airborne Chemical and Biological Releases [Електронний ресурс] / A. Persily, R. Chapman, J. S. Emmerich // National Institute of Standards and Technology. Technology Administration. U.S. Department of Commerce. – 2007. – P. 1–179. – Режим доступа: <http://fire.nist.gov/bfrl-pubs/build07/PDF/b07006.pdf>. – Загл. с экрана. – Проверено : 12.03.2015.
18. Protecting Buildings Occupants and Operations from Biological and Chemical Airborne Threats [Електронний ресурс] // Committee on Protecting Occupants of DOD Buildings from Chemical and Biological Release. – 2007. – P. 3–152. – Режим доступа: http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=11965&page=R2. – Загл. с экрана. – Проверено : 12.03.2015.
19. Roberto, F. Transport and Dispersion of Biological Agents/Toxins [Електронний ресурс] / F. Roberto, D. J. Rodi // SCAPA. Biosafety Working Group. – 2009. – P. 1–25. – Режим доступа: <http://orise.orau.gov/emi/scapa/files/TransportandDispersion.pdf>. – Загл. с экрана. – Проверено : 12.03.2015.
20. Sathe Yogesh, V. Air Quality Modeling in Street canyons of Kolhapur City / V. Sathe Yogesh // Universal J. of Environmental Research and Technology. – 2012. – Vol. 2. – Iss. 2. – P. 97–105.

Т. І. РУСАКОВА^{1*}

^{1*}Каф. «Аерогідромеханіка та енергомасоперенос», Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара, вул. Казакова, 18, корп. № 14, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 776 82 05, ел. пошта rusackovat@yandex.ru, ORCID 0000-0001-5526-3578

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ СИТУАЦІЇ ПРИ АВАРІЯХ НА ДОРОГАХ МІСТА

Мета. В роботі розглянуто питання щодо створення математичного апарату для оцінки екологічної ситуації при аваріях на дорогах міста (вибухах). Перш за все це стосується розробки чисельної моделі для розрахунку рівня забруднення атмосферного повітря при емісії хімічно небезпечної речовини з урахуванням метеорологічних параметрів навколишнього середовища. Передбачається також виявлення ділянок, де спостерігається перевищення гранично допустимої концентрації за даним забруднювачем (у нашому випадку, – за аміаком), і ділянок, безпечних для населення. **Методика.** У роботі використано розроблену методику чисельного розрахунку концентрації забруднення повітряного середовища при викиді хімічно небезпечної речовини (аміаку), яка ґрунтується на одночасному вирішенні гідродинамічної задачі та задачі по перенесенню домішки в атмосфері. Рішення гідродинамічної задачі базується на методі дискретних вихорів із урахуванням різної геометрії будівель та їх взаємного розташування, а рішення задачі по перенесенню забруднювача – на рівнянні конвективно-дифузійного переносу домішки з використанням неявних різницевих схем. **Результати.** На основі розробленої чисельної моделі проведено ряд обчислювальних експериментів. В результаті виконаних розрахунків були отримані: вихрові структури, які формуються при обтіканні будівель; поле швидкості вітрового потоку поблизу будівель; структура ліній струму в області течії. Розраховано концентрацію хімічно небезпечної речовини (аміаку) в усій досліджуваній області; проведено порівняльний аналіз із гранично допустимою концентрацією (ГДК) за даним забруднювачем; встановлені закономірності по зміні концентрації аміаку з різних сторін будівель. **Наукова новизна.** Створена чисельна модель, яка дозволяє наочно відтворити і проаналізувати структуру потоку, наявність застійних зон, областей зворотної течії при різній геометрії будівель та їх взаємному розташуванні, що впливає на поширення забруднюючої речовини в атмосфері. **Практична значимість.** Отримані результати дозволять проводити оцінку рівня токсичного ураження людей при аваріях (вибухах) на дорогах міста з урахуванням впливу геометрії будівель на гідродинамічну структуру потоку та розсіювання забруднювача.

Ключові слова: хімічно небезпечна речовина; інтенсивність викиду забруднювача; концентрація забруднюючої речовини; метод дискретних вихорів; рівняння переносу домішки; чисельна модель

Т. І. RUSAKOVA^{1*}

^{1*}Dep. «Aerohydrodynamics and Mass transfer», Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Kazakov St., 18, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 776 82 05, e-mail rusackovat@yandex.ru, ORCID 0000-0001-5526-3578

EVALUATION OF ECOLOGICAL SITUATION IN CASE OF ACCIDENTS ON TOWNSHIP ROADS

Purpose. The paper examines the question of creation a mathematical apparatus for estimation the ecological situation in case of accidents on township roads (explosions). First of all the development of numerical model to calculate the level of air pollution in the emission of toxic chemical, taking into account meteorological parameters of the environment. Identifying areas where the maximum allowable concentration of this pollutant (in this case, ammonia) is exceeded and favorable areas for the population. **Methodology.** The developed method of numerical calculation of the air pollution concentration in case of toxic chemical (ammonia) was used, which is based on the coordinated decision of the hydrodynamic task and task of the pollutants transfer in the atmosphere. Hydrodynamic solution is based on the method of discrete vortices with the different geometry of buildings and their relative position, and solution of the task about transfer the pollutant is based on convection-diffusion equation of pollutant transfer using implicit difference schemes. **Findings.** Several computational experiments were made on the base of the developed numerical model. As a result of the calculations the vortex structures were obtained, which are

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

formed in the flow around buildings; the velocity field of the wind flow around buildings and picture of the streamlines in the flow were come out; the concentration of the toxic chemical (ammonia) in research domain was calculated; the comparative analysis with the maximum permissible concentration (MPC) for this pollutant were made; the regularities of changing the ammonia concentration from different sides of the building were determined.

Originality. A numerical model that allows visually reconstructing and analyzing the flow pattern, the presence of dead zones, areas of reverse flow at different geometry of buildings and their relative position that influences the distribution of pollutant in the atmosphere was calculated. **Practical value.** The obtained results will allow evaluating the level toxic shock to persons in case of accidents (explosions) on township roads with taking into account the influence of the buildings geometry on the hydrodynamic flow structure and dispersion of pollution.

Keywords: chemically hazardous substance; emission of pollutant intensity; concentration of the pollutant; the method of discrete vortices; equation of transfer impurity; the numerical model

REFERENCES

1. Belotserkovskiy S.M., Kotovskiy V.N., Nisht M.I. *Matematicheskoye modelirovaniye ploskoparallelnogo ot-ryvnoy obtekaniya tel* [Mathematical modeling of plane-parallel separated flow around bodies]. Moscow, Nauka Publ., 1988. 232 p.
2. Belyayev N.N., Gunko Ye.Yu., Rostochilo N.V. *Zashchita zdaniy ot proniknoveniya v nikh opasnykh veshchestv* [Protection of buildings against the penetration of hazardous substances]. Dnipropetrovsk, Akcent PP Publ., 2014. 136 p.
3. Belyayev N.N., Rostochilo N.V., Nedopekin F.V. *Modelirovaniye lokalnoy zashchity zdaniy (shelter in-place) s uchetom sorbtzii opasnogo veshchestva na poverkhnostyakh vnutri pomeshcheniy* [Modeling of the building local protection (shelter in-place) including sorbtion of hazardous contaminant on indoor surfaces]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, No. 4 (52), pp. 23-36.
4. Belyayev N.N., Berlov A.V., Mashikhina P.B. *Modelirovaniye nestatsionarnykh protsessov avariynogo zagryazneniya atmosfery* [Simulation of nonstationary processes of accidental pollution in the atmosphere]. Dnipropetrovsk, Akcent PP Publ., 2014. 127 p.
5. Marchuk G.I. *Matematicheskoye modelirovaniye v probleme okruzhayushhey sredy* [Mathematical modeling in the environmental problem]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 320 p.
6. Pliatsuk L.D., Boiko V.V. *Otsinka vplyvu polia vitru ta koefitsiienta turbulentnosti pry modeliuvanni roz-povsiudzhennia vykydiv v atmosferi* [Impact assessment of wind field and turbulence factor at simulation of emission atmospheric propagation]. *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho* [Bulletin of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University], 2011, no. 66, vol. 1, pp. 141-144.
7. Rusakova T.I. *Prognozirovaniye zagryazneniya vozdushnoy sredy ot avtotransporta na ulitsakh i microrayonakh goroda* [Prediction of air pollution from moto transport on city streets and districts]. *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. 32-44.
8. Samarskiy A.A. *Teoriya raznostnykh skhem* [The theory of difference schemes]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 616 p.
9. Svetlichnaya S.D. *Otsenka poluchennoy toksodozy pri rasprostraneniі pervichnogo oblaka toksicheskogo veshchestva* [Evaluation of the toxic dose during the primary cloud propagation of toxic substance]. *Problemy nadzvychaynykh sytuatsii – Problems of Emergencies*, 2011, issue, 13, pp. 127-132.
10. Zgurovskiy M.Z., Skopetskiy V.V., Khrushch V.K., Belyayev N.N. *Chislennoye modelirovaniye rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushchey srede* [Numerical modelling of pollution in the environment]. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 1997. 368 p.
11. Biliaiev M. M., Rostochilo N. V., Kharytonov M.M. *Expert systems for assessing disaster impact on the environment. Improving Disaster Resilience and Mitigation – IT Means and Tools*, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, 2014, pp. 153-165. doi: 10.1007/978-94-017-9136-6_10.
12. Boudier F. *Risk Perception and Communication. Improving Disaster Resilience and Mitigation – IT Means and Tools*, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, 2014. pp. 45-62. doi: 10.1007/978-94-017-9136-6_3.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

13. Chen Q. Protecting buildings from chemical and biological warfare agent attacks– a long journey. *Editorial, HVAC&R Research*, 2004, vol. 10, issue 4, pp. 389-391. doi: 10.1080/10789669.2004.10391110.
14. Qu Y., Millez M., Musson-Genon L., Carissimo B. Development of Building Resolving Atmospheric CFD Code Taking into Account Atmospheric Radiation in Complex Geometries. *Air Pollution Modeling and its Application XXI, NATO SPS Series C: Environmental Security*, 2012, pp. 75-80. doi: 10.1007/978-94-007-1359-8_13.
15. Kitada T. Episodic High Surface Ozone in Central Japan in Warm Season: Relative Importance of Local Production and Long Range Transport. *Air Pollution Modeling and its Application, NATO SPS Series C: Environmental Security*, 2010, pp. 233-239. doi: 10.1007/978-94-007-1359-8_39.
16. Murakami S., Mochida A., Yoshihiko H. Comparison of «k-ε» model, ASM and LES with wind tunnel test for flow field around cubic model. 8th Intern. Conf. on Wind Engineering. Western Ontario, 1991, no. 12, p. 3.
17. Persily A., Chapman R., J. S. Emmerich Building Retrofits for Increased Protection against Airborne Chemical and Biological Releases. National Institute of Standards and Technology. Technology Administration. U.S. Department of Commerce, 2007, pp. 1-179. Available at: [http:// fire.nist.gov/bfrlpubs/build07/PDF/b07006.-pdf](http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build07/PDF/b07006.pdf) (Accessed 12 March 2015).
18. Protecting Buildings Occupants and Operations from Biological and Chemical Airborne Threats. Committee on Protecting Occupants of DOD Buildings from Chemical and Biological Release, 2007, pp. 1-152. Available at: http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=11965&page=R2 (Accessed 12 March 2015).
19. Roberto F., Rodi D.J. Transport and Dispersion of Biological Agents/Toxins. SCAPA. Biosafety Working Group, 2009, pp. 1-25. Available at: [http://orise.orau.gov/emi/scapa/files/ Transportand Dispe- rsion.pdf](http://orise.orau.gov/emi/scapa/files/TransportandDispersion.pdf) (Accessed 12 March 2015).
20. Sathe Yogesh V. Air Quality Modeling in Street canyons of Kolhapur City. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, 2012, vol. 2, issue 2, pp. 97-105.

Статья рекомендована к публикации д.физ.-мат.н., проф. О. Г. Гоманом (Украина); д.т.н., проф. Н. Н. Беляевым (Украина)

Поступила в редколлегию 1.02.2015

Принята к печати 25.03.2015

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

УДК 656.2.073-027.15

О. І. ХАРЧЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (050) 734 27 43, ел. пошта kharchenko-o@mail.ru, ORCID 0000-0003-2068-0640

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ КАПІТАЛОВКЛАДЕНЬ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЦЬ

Мета. Теоретичним та практичним питанням сталого розвитку залізничного транспорту з кожним роком приділяється все більше уваги, але на сьогоднішній день мало вивчені механізми фінансового забезпечення цього явища. Метою даної роботи є визначення оптимального розподілу капіталовкладень для забезпечення сталого розвитку залізниць на прикладі Державного підприємства «Придніпровська залізниця» та створення передумов для розробки математичної моделі. **Методика.** Задача забезпечення сталого розвитку залізниці вирішується на основі інтегрального критерію ефективності сталого розвитку та визначається як максимізація значення цього критерію. Для підвищення значень складових інтегрального критерію ефективності пропонується проводити оптимізаційні заходи технологічного характеру. Це заходи: оптимізація парку маневрових та поїзних локомотивів; оптимізація потужності вантажо-розвантажувальних механізмів та інших засобів механізації технологічних процесів; оптимізація маршрутів доставки вантажу в рамках транспортної мережі залізниці. З цією ж метою пропонується проводити заходи технічного характеру: модернізація шляхів сполучення в рамках залізниці в напрямку їх електрифікації, модернізація ходової частини та зчепних пристроїв рухомого складу з метою зниження впливу рівня шуму на навколишнє середовище. **Результати.** В роботі визначено оптимальний розподіл капіталовкладень для забезпечення сталого розвитку. Даний розподіл дозволяє забезпечити такий варіант розвитку Державного підприємства «Придніпровська залізниця», при реалізації якого функціонування залізниці характеризується максимальним значенням інтегрального показника ефективності. **Наукова новизна.** У роботі було розглянуто та запропоновано новий підхід до визначення оптимального розподілу капіталовкладень для забезпечення сталого розвитку залізниць. **Практична значимість.** Структурна реформа залізничного транспорту України, яка проводиться у теперішній час, вимагає в найкоротші терміни вирішення задач й підвищення ефективності роботи галузі. Запропонований алгоритм розподілу капіталовкладень дозволить забезпечити такий варіант розвитку залізниці, реалізація якого призведе до підвищення ефективності функціонування Державного підприємства «Придніпровська залізниця», що, в свою чергу, отримає позитивне відображення на роботі залізничного транспорту в цілому.

Ключові слова: залізничний транспорт; підвищення ефективності; функціонування залізничного транспорту; сталий розвиток; фінансове забезпечення

Вступ

Останнім часом в усьому світі ідеям сталого розвитку приділяється особлива увага [19].

Україна також бере активну участь у міжнародному процесі щодо впровадження політики сталого розвитку з метою комплексного вирішення завдань охорони довкілля та економічного зростання людства на глобальному рівні.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Основні положення сталого розвитку офіційно сформульовані у постановах, програмах розвитку та концепції сталого розвитку України [3, 4, 9]. Теоретично передбачено, що сталий економічний розвиток в кожній країні забезпечується всім національним господарським комплексом, відповідно кожною його галуззю та напрямом діяльності. В багатьох країнах, і в Україні також, однією із важливих підгалузей, що сприяє розвитку національного господарського комплексу, а також забезпечує власний сталий розвиток, є залізничний транспорт [17]. Потреба в забезпеченні сталого розвитку залізничного транспорту України викликана не тільки всесвітніми тенденціями економічного розвитку людства, але й станом самої галузі [10].

Залізничний транспорт є самим безпечним видом транспорту, але за останні роки у галузі спостерігається низка проблем, наприклад, збільшення зношеності технічних засобів, погіршення їх структури, що створює потенційну загрозу безпеці руху поїздів. У роботах [15, 16] виконано ретельний аналіз порушень безпеки руху поїздів на залізничному транспорті та зазначено, що 75 % випадків транспортних подій сталися з причин: несправності технічних засобів, несправності локомотива, сходження рухомого складу при маневрах та невірних дій причетних працівників. Це не дозволяє підвищити ефективність функціонування галузі, що є однією з пріоритетних задач реформування залізничного транспорту.

Досить вагомим є вплив залізничного транспорту на довкілля. У відпрацьованих газах двигунів локомотивів, крім парів води, знаходиться більше 200 хімічних елементів та сполук, але залізничний транспорт все одно має величезні переваги серед інших видів транспорту. А в країнах Європи електричний залізничний транспорт називають «зеленим транспортом» [18].

Також важливою складовою розвитку залізничного транспорту є соціальна складова, оскільки більше ніж 300 тисяч працівників цілодобово забезпечують його безперебійну роботу.

Отже, проблема сталого розвитку залізничного транспорту є надзвичайно актуальною. Тільки на основі балансу складових сталого розвитку можливо прискорити реформування залізничного транспорту. Цьому є підтвер-

дження в офіційних документах, наприклад, одним з пріоритетів Транспортної стратегії є: «Стимулювання сталого розвитку транспорту, надання переваги екологічно чистим та енергоефективним видам транспорту, зниження технологічного навантаження транспорту на довкілля» [11].

У роботі [12] було виконано дослідження підходів до підвищення функціонування підрозділів залізничного транспорту з позиції сталого розвитку, в результаті якого було відмічено, що у більшості робіт за критерій ефективності (цільової функції) використовуються комплексні показники економічного характеру [6, 7, 8]. У деяких працях враховують екологічну складову [5, 14], але ця задача вирішується відокремлено від задачі підвищення економічної ефективності технологічних процесів. Вагомий внесок у дослідження галузевих особливостей соціально-економічного розвитку залізничного транспорту внесли такі науковці, як Ю. С. Бараш та О. І. Зоріна [1, 2].

Теоретичним та практичним питанням сталого розвитку залізничного транспорту з кожним роком приділяється все більше уваги, але на сьогодні мало вивчені механізми фінансового забезпечення сталого розвитку. У зв'язку з цим виникає необхідність теоретичного розгляду питання фінансового забезпечення сталого розвитку залізничного транспорту, як однієї з основних галузей економіки.

Мета

Метою статті є визначення оптимального розподілу капіталовкладень для забезпечення сталого розвитку на прикладі Державного підприємства «Придніпровська залізниця» та створення передумов для розробки математичної моделі.

Методика

У роботі [13] в результаті формування системи показників сталого розвитку підрозділів залізничного транспорту було отримано інтегральний показник, який відображає основний принцип сталого розвитку та наведений у вигляді арифметичної суми:

$$E_{\text{інт}} = E_{\text{рес}} + E_{\text{ек}} + E_{\text{соц}} + E_{\text{як}},$$

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

де $E_{\text{рес}}$ – показник, який характеризує розвиток підрозділів залізничного транспорту у напрямку ресурсозбереження; $E_{\text{ек}}$ – екологічна складова сталого розвитку підрозділів залізничного транспорту; $E_{\text{соц}}$ – соціальна складова процесу функціонування підрозділів залізничного транспорту з позиції сталого розвитку; $E_{\text{як}}$ – показник сталого розвитку за напрямком підвищення якості обслуговування.

Задача забезпечення сталого розвитку ДП «Придніпровська залізниця», як одного із підрозділів залізничного транспорту, на основі запропонованого інтегрального критерію ефективності визначається як максимізація значення критерію, тобто:

$$E_{\text{інт}} = E_{\text{рес}} + E_{\text{ек}} + E_{\text{соц}} + E_{\text{як}} \rightarrow \max. \quad (1)$$

Для підвищення значень складових інтегрального критерію для ДП «Придніпровська залізниця» необхідно проводити оптимізаційні заходи технологічного та технічного характерів. До оптимізаційних заходів технологічного характеру, які забезпечують підвищення критерію ефективності, відносяться:

- оптимізація кількості поїзних та маневрових локомотивів на ділянках та станціях залізниці;
- оптимізація потужності вантажо-розвантажувальних механізмів на станціях та інших механізмів у складі ДП «Придніпровська залізниця»;
- оптимізація маршрутів пересування поїздодопотоків по транспортній мережі в межах ДП «Придніпровська залізниця».

До заходів з підвищення ефективності сталого розвитку залізниці, які мають технічний характер, відносяться:

- модернізація шляхів сполучення в межах залізниці у напрямку їх електрифікації;
- модернізація ходової частини та зчепних пристроїв рухомого складу, а також засобів механізації сортувальних пристроїв на станціях з метою зниження рівня шуму на навколишнє середовище.

Реалізація заходів з удосконалення технології функціонування, які визначають значення $E_{\text{рес}}$, $E_{\text{ек}}$ та $E_{\text{як}}$, а також соціальні відрахування здійснюються за рахунок прибутку ДП «Придніпровська залізниця» за попередній період. На підставі частки грошових коштів $\delta_{\text{ср}}$, які від-

раховуються на забезпечення сталого розвитку підрозділу, сума коштів на розвиток визначається за формулою:

$$C_{\text{ср}}^t = \Pi_{\text{ДП}}^{(t-1)} \cdot \delta_{\text{ср}}, \quad (2)$$

де $C_{\text{ср}}^t$ – фінансові кошти, які відраховуються на забезпечення сталого розвитку залізниці, у період t , грн; $\Pi_{\text{ДП}}^{(t-1)}$ – чистий прибуток ДП «Придніпровська залізниця» за період $(t - 1)$, грн.

$C_{\text{ср}}^t$ складає грошові кошти, які відраховуються за напрямками сталого розвитку: на розвиток ресурсозберігаючих технологій ($\Delta_{\text{рес}}$), на зниження впливу на навколишнє середовище ($\Delta_{\text{ек}}$), на соціальну складову функціонування ($\Delta_{\text{соц}}$) та на підвищення якості обслуговування ($\Delta_{\text{як}}$). При цьому кожний напрямок характеризується різною еластичністю капіталовкладень – відношенням відповідних складових критерію ефективності до суми відрахованих коштів. Критерій ефективності з урахуванням розподілу відрахованих коштів за напрямками сталого розвитку можна подати у такому вигляді:

$$E_{\text{інт}} = \Delta_{\text{рес}} \cdot \varepsilon_{\text{рес}} + \Delta_{\text{ек}} \cdot \varepsilon_{\text{ек}} + \Delta_{\text{соц}} \cdot \varepsilon_{\text{соц}} + \Delta_{\text{як}} \cdot \varepsilon_{\text{як}} \rightarrow \max, \quad (3)$$

де $\varepsilon_{\text{рес}}$, $\varepsilon_{\text{ек}}$, $\varepsilon_{\text{соц}}$, $\varepsilon_{\text{як}}$ – функції еластичності капіталовкладень за напрямками розвитку ресурсозберігаючих технологій, зниження шкідливого впливу на навколишнє середовище, забезпечення соціальної складової функціонування залізниці та підвищення якості обслуговування відповідно.

Якщо сума грошових коштів, які відраховуються на сталий розвиток протягом періоду t , не змінюється ($C_{\text{ср}}^t = \text{const}$), то цільову функцію $F_{\text{ц}}$ задачі забезпечення найбільш ефективного варіанта сталого розвитку ДП «Придніпровська залізниця» можна подати так:

$$F_{\text{ц}} = \frac{E_{\text{інт}}}{C_{\text{ср}}} = \delta_{\text{рес}} \cdot \varepsilon_{\text{рес}} + \delta_{\text{ек}} \cdot \varepsilon_{\text{ек}} + \delta_{\text{соц}} \cdot \varepsilon_{\text{соц}} + \delta_{\text{як}} \cdot \varepsilon_{\text{як}} \rightarrow \max, \quad (4)$$

де $\delta_{\text{рес}}$, $\delta_{\text{ек}}$, $\delta_{\text{соц}}$, $\delta_{\text{як}}$ – частка грошових коштів у загальному об'ємі за напрямками розвитку

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ресурсозберігаючих технологій, зниження шкідливого впливу на навколишнє середовище, забезпечення соціальної складової функціонування залізниці та підвищення якості обслуговування відповідно.

Слід зазначити, що $\delta_{\text{рес}} = \frac{\Delta_{\text{рес}}}{C_{\text{ср}}}$, $\delta_{\text{ек}} = \frac{\Delta_{\text{ек}}}{C_{\text{ср}}}$, $\delta_{\text{соц}} = \frac{\Delta_{\text{соц}}}{C_{\text{ср}}}$ та $\delta_{\text{як}} = \frac{\Delta_{\text{як}}}{C_{\text{ср}}}$ є безрозмірними показниками, як і величина $F_{\text{ц}}$.

Обмеженням під час розв'язання задачі (4) є повне використання суми грошових коштів, які відраховуються на сталий розвиток. Це обмеження можна записати у вигляді:

$$\delta_{\text{рес}} + \delta_{\text{ек}} + \delta_{\text{соц}} + \delta_{\text{як}} = 1. \quad (5)$$

Наявність інших обмежень пов'язано з тим, що у множині функцій еластичності капіталовкладень $\epsilon_{\text{рес}}$, $\epsilon_{\text{ек}}$ и $\epsilon_{\text{як}}$ існують пари функцій, значення яких визначаються загальними параметрами, що характеризують технологічні процеси функціонування залізниці.

Загальний вигляд функції еластичності капіталовкладень ϵ_i по i -ому напрямку забезпечення сталого розвитку такий:

$$\epsilon_i = \frac{E_i}{K_i}, \quad (6)$$

де E_i – ефект, отриманий від заходів; K_i – сума, яку відраховано та використано для проведення оптимізаційних заходів.

Для напрямку забезпечення соціальної складової функціонування залізниці як ефект виступає безпосередньо сума відрахованих грошових коштів, тому $\epsilon_{\text{соц}} = 1$.

Напрямки впровадження ресурсозберігаючих технологій та підвищення якості обслуговування клієнтів реалізується за рахунок оптимізаційних заходів технологічного характеру: оптимізації парку маневрових та поїзних локомотивів, оптимізації потужності вантажорозвантажувальних механізмів та інших засобів механізації технологічних процесів, а також оптимізації маршрутів доставки вантажу у рамках транспортної мережі залізниці. Можливі капіталовкладення на реалізацію цих заходів необхідні для придбання додаткової кількості маневрових та поїзних локомотивів, вантажорозвантажувальних механізмів та інших засобів механізації технологічних процесів.

Якщо відомі середньозважені балансові вартості локомотивів B_1 та B_g , то капіталовкладення на впровадження ресурсозберігаючих технологій $K_{\text{рес}}$ та підвищення якості обслуговування, то $K_{\text{як}}$ можна визначити наступним чином:

$$K_{\text{рес}} = K_{\text{як}} = \begin{cases} \Delta N_1 \cdot B_1 + \Delta N_g \cdot B_g, & \text{при } \Delta N_1 \geq 0 \text{ та } \Delta N_g \geq 0, \\ \Delta N_1 \cdot B_1, & \text{при } \Delta N_1 \geq 0 \text{ та } \Delta N_g < 0, \\ \Delta N_g \cdot B_g, & \text{при } \Delta N_1 < 0 \text{ та } \Delta N_g \geq 0, \\ 0, & \text{при } \Delta N_1 < 0 \text{ та } \Delta N_g < 0, \end{cases}$$

де ΔN_1 , ΔN_g – приріст маневрових та поїзних локомотивів, а також вантажо-розвантажувальних механізмів та інших засобів механізації відповідно по всіх вантажних станціях ДП «Придніпровська залізниця» для різниці між значеннями показників для поточного стану системи та оптимізованого за кількістю одиниць, які обслуговують вагонопотоки, од.

Капіталовкладення $K_{\text{ек}}$ на реалізацію заходів із забезпечення екологічної безпеки функціонування ДП «Придніпровська залізниця» включає витрати на електрифікацію ділянок транспортної мережі і технічне оснащення парку вагонів та локомотивів, а також сортувальних засобів пристосуваннями, які знижують шумове забруднення навколишнього середовища під час виконання технологічних операцій:

$$K_{\text{ек}} = n_{\text{рс}}^{\text{мод}} \cdot d_{\text{шум}}^{\text{рс}} + n_{\text{сп}}^{\text{мод}} \cdot d_{\text{шум}}^{\text{сп}} + L_{\text{шс}}^{\text{ел}} \cdot d_{\text{ел}}, \quad (8)$$

де $n_{\text{рс}}^{\text{мод}}$ – кількість рухомого складу, оснащеного у поточному періоді обладнанням, яке знижує шумове забруднення, ваг.; $n_{\text{сп}}^{\text{мод}}$ – кількість сортувальних пристроїв, оснащених у поточному періоді обладнанням, які знижують шумове забруднення, од.; $L_{\text{шс}}^{\text{ел}}$ – протяжність шляхів сполучення у межах залізниці, які електрифіковані у поточному періоді, км; $d_{\text{шум}}^{\text{рс}}$ – вартість оснащення вагона обладнанням, яке понижує рівень шуму під час виконання технологічних операцій, грн/ваг.; $d_{\text{шум}}^{\text{сп}}$ – вартість оснащення сортувальних пристроїв станції обладнанням, яке знижує рівень шуму під час виконання технологічних операцій, грн/од.; $d_{\text{ел}}$ – вартість електрифікації 1 км ділянки транспортної мережі у межах залізниці, грн/км.

Зміна сумарного часу роботи локомотивів

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

$\Delta T_{\text{лок}}$ унаслідок оптимізації парку функціонально залежить від кількості локомотивів, які використовуються для виконання маневрових робіт на вантажних технічних станціях:

$$\Delta T_{\text{лок}} = \sum_{i=1}^{N_c} \left[t_{\text{pi}}^{\text{лок}}(N_1^t) - t_{\text{pi}}^{\text{лок}}(N_1^{t-1}) \right], \quad (9)$$

де N_c – кількість вантажних технічних станцій у складі ДП «Придніпровська залізниця»; $t_{\text{pi}}^{\text{лок}}(N_1^t)$ – функціональна залежність сумарного часу роботи маневрових локомотивів від кількості N_1^t для i -ої вантажної станції залізниці, год.

Зміна сумарного часу роботи вантажо-розвантажувальних та інших механізмів ΔT_m оцінюється аналогічно – на основі функціональних залежностей сумарного часу роботи механізмів t_{pi}^m від їх кількості для кожної із станцій залізниці:

$$\Delta T_m = \sum_{i=1}^{N_c} \left[t_{\text{pi}}^m(N_1^t, N_g^t) - t_{\text{pi}}^m(N_1^{t-1}, N_g^{t-1}) \right]. \quad (10)$$

Сумарний час роботи вантажо-розвантажувальних та інших механізмів станції залежить також від кількості маневрових локомотивів, які обслуговують вагонопотік, тому функції t_{pi}^m є функціями двох аргументів.

Зміна викидів шкідливих речовин у атмосферу $E_{\text{вик}}$ може бути забезпечено за рахунок електрифікації окремих ділянок транспортної мережі, а також за рахунок використання під час обробки вагонів на станціях ДП «Придніпровська залізниця» оптимальної кількості маневрових локомотивів та потужності вантажо-розвантажувальних машин. Тоді:

$$E_{\text{вик}} = E_{\text{ел}}(L_{\text{ел}}^t) + E_{\Delta T}(N_1^t, N_g^t), \quad (11)$$

де $E_{\text{ел}}(L_{\text{ел}}^t)$ – екологічна ефективність заходів з електрифікації у t -ому періоді ділянок транспортної мережі довжиною $L_{\text{ел}}^t$, грн; $E_{\Delta T}(N_1^t, N_g^t)$ – екологічна ефективність заходів з оптимізації у t -ому періоді кількості виробничих потужностей N_1^t та N_g^t на вантажних станціях залізниці, грн.

Екологічна ефективність заходів з електрифікації, як функції протяжності електрифікованих ділянок шляхів сполучення, може бути визначена таким чином:

$$E_{\text{ел}} = c_{\text{ек}} \cdot m_{1\text{км}} \cdot \sum_{i=1}^{N_{\text{ел}}} \left[(L_{\text{ели}})^2 \cdot \frac{\lambda_i}{V_{\text{ди}}} \right], \quad (12)$$

де $m_{1\text{км}}$ – питома наведене значення викидів шкідливих речовин у повітря під час переміщення залізничного состава тепловозом, умов. т/км; $N_{\text{ел}}$ – кількість електрифікованих ділянок транспортної мережі; λ_i – середнє значення інтенсивності руху на i -ій ділянці, од./год; $V_{\text{ди}}$ – середня ділянична швидкість поїзда на i -ій ділянці, км/год.

Екологічна ефективність заходів з оптимізації кількості виробничих потужностей досягається за рахунок скорочення сумарної тривалості роботи маневрових та поїзних локомотивів під час обслуговування вагонопотоку на станціях:

$$\begin{aligned} E_{\Delta T} &= c_{\text{ек}} \cdot m_{1\text{год}} \cdot \Delta T_{\text{лок}} = \\ &= c_{\text{ек}} \cdot m_{1\text{год}} \cdot \sum_{i=1}^{N_c} \left[t_{\text{pi}}^{\text{лок}}(N_1^t) - t_{\text{pi}}^{\text{лок}}(N_1^{t-1}) \right], \end{aligned} \quad (13)$$

де $m_{1\text{год}}$ – питома наведене значення викидів шкідливих речовин у повітря за 1 год роботи маневрових локомотивів, умов. т/год.

Складова критерію ефективності $E_{\text{шум}}$, яка враховує зміну шумового забруднення від роботи рухомого складу залізничного транспорту, може бути оцінена таким чином:

$$\begin{aligned} E_{\text{шум}} &= c_{\text{шум}} \cdot \left[\Delta D_{\text{шум}}^{\text{сп}} \cdot \sum_{i=1}^{N_c} N_{\text{сп}i} + \right. \\ &\quad \left. + \Delta D_{\text{шум}}^{\text{ваг}} \cdot \sum_{i=1}^{N_c} \frac{n_{\text{ваг}i}^{\text{мод}}}{n_{\text{ваг}i}} \cdot t_{\text{обр}i}^{\text{ваг}}(N_1^t, N_g^t) \right], \end{aligned} \quad (14)$$

де $\Delta D_{\text{шум}}^{\text{сп}}$ – наведена зміна шумового забруднення за рахунок модернізації сортувальних пристроїв на станціях, дБА; $N_{\text{сп}i}$ – кількість модифікованих сортувальних пристроїв на i -ій станції залізниці; $\Delta D_{\text{шум}}^{\text{ваг}}$ – питома зміна шумо-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

вого забруднення під час обслуговування вагонів за рахунок технічного удосконалення ходової частини вагонів, дБА/ваг.·год; $n_{\text{ваг}i}^{\text{мод}}$ – кількість вагонів з модифікованою ходовою частиною, яка обслуговується на i -ій станції ДП «Придніпровська залізниця», ваг.; $n_{\text{ваг}i}$ – загальна кількість вагонів, які обслуговуються на i -ій станції залізниці, ваг.; $t_{\text{обр}i}^{\text{ваг}}(N_l^t, N_g^t)$ – функціональна залежність сумарного часу обробки вагонів на i -ій станції від кількісних характеристик переробної спроможності станції, ваг.·год.

Складова ефективності, як функція від характеристик виробничих ресурсів, визначається таким чином:

$$E_{\text{як}} = c_{\text{ваг}} \cdot \left[\sum_{i=1}^{N_c} (t_{\text{обр}i}^{\text{ваг}}(N_l^t, N_g^t) - t_{\text{обр}i}^{\text{ваг}}(N_l^{t-1}, N_g^{t-1})) + T_m \cdot \overline{n_b} \cdot \sum_{j=1}^{N_d} \frac{L_{dj}}{v_{dj}} \cdot (\lambda_j^t - \lambda_j^{t-1}) \right], \quad (15)$$

де T_m – тривалість періоду часу, для якого розглядається процес функціонування ДП «Придніпровська залізниця», год; $\overline{n_b}$ – середнє по залізниці значення кількості вантажних вагонів у залізничному составі, ваг.; N_d – кількість ділянок транспортної мережі у межах залізниці; L_{dj} – протяжність j -ої ділянки транспортної мережі, км; λ_j^t –інтенсивність руху вантажних составів на j -ій ділянці транспортної мережі у t -ому періоді, од./год.

Виробничими ресурсами вантажних станцій ДП «Придніпровська залізниця», які забезпечують обробку вагонопотоку, є маневрові локомотиви, вантажно-розвантажувальні механізми і засоби механізації та автоматизації сортувальних робіт. Кількість засобів механізації та автоматизації сортувальних робіт визначається на основі кількісних характеристик вторинного попиту на послуги вантажних станцій – потреб, які виникають у процесі обслуговування вхідного вагонопотоку на станціях. При цьому задоволення первинного попиту забезпечується за рахунок переміщення вагонів по території станції та їх обслуговування на вантажних фронтах. Таким чином можна стверджувати, що для вантажних станцій кількість засобів механізації та автоматизації сортувальних робіт

на станціях функціонально залежить від кількості вагонів, які подають на переробку, а це означає – від кількості маневрових локомотивів та вантажно-розвантажувальних машин.

Зазначені залежності дозволяють стверджувати, що числові характеристики виробничих ресурсів залізниці є аргументами функцій еластичності капіталовкладень $\varepsilon_{\text{рес}}$, $\varepsilon_{\text{ек}}$ і $\varepsilon_{\text{як}}$:

$$\begin{cases} \varepsilon_{\text{рес}} = f(N_l, N_g), \\ \varepsilon_{\text{ек}} = f(N_l, N_g), \\ \varepsilon_{\text{як}} = f(N_l, N_g), \end{cases} \quad (16)$$

де N_l , N_g – вектори кількості маневрових локомотивів та вантажно-розвантажувальних машин на вантажних станціях залізниці відповідно:

$$\begin{aligned} N_l &= |N_{l1} \ N_{l2} \ \dots \ N_{lN_c}|, \\ N_g &= |N_{g1} \ N_{g2} \ \dots \ N_{gN_c}|. \end{aligned} \quad (17)$$

Із сукупності функціональних залежностей (16) числові характеристики виробничих ресурсів можуть бути виражені через відповідні протилежні функції:

$$\begin{cases} N_l = \varphi(\varepsilon_{\text{рес}}), N_g = \psi(\varepsilon_{\text{рес}}), \\ N_l = \varphi(\varepsilon_{\text{ек}}), N_g = \psi(\varepsilon_{\text{ек}}), \\ N_l = \varphi(\varepsilon_{\text{як}}), N_g = \psi(\varepsilon_{\text{як}}), \end{cases} \quad (18)$$

де $\varphi(\cdot)$, $\psi(\cdot)$ – функціональні залежності векторів кількості маневрових локомотивів та вантажно-розвантажувальних машин від значень функцій еластичності капіталовкладень відповідно.

Оскільки значення елементів векторів N_l та N_g повинно бути однаковим для сукупності функцій (17), то під час розв'язання задачі забезпечення найбільш ефективного варіанта сталого розвитку ДП «Придніпровська залізниця» необхідно враховувати систему таких пар обмежень:

$$\begin{cases} \varphi(\varepsilon_{\text{рес}}) = \varphi(\varepsilon_{\text{ек}}), \psi(\varepsilon_{\text{рес}}) = \psi(\varepsilon_{\text{ек}}), \\ \varphi(\varepsilon_{\text{рес}}) = \varphi(\varepsilon_{\text{як}}), \psi(\varepsilon_{\text{рес}}) = \psi(\varepsilon_{\text{як}}), \\ \varphi(\varepsilon_{\text{ек}}) = \varphi(\varepsilon_{\text{як}}), \psi(\varepsilon_{\text{ек}}) = \psi(\varepsilon_{\text{як}}). \end{cases} \quad (19)$$

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Система обмежень (19) використовується при оптимізації цільової функції задачі (4) відносно векторів виробничих ресурсів N_l та N_g .

Оптимізація цільової функції (4) відносно змінних $\delta_{\text{рес}}$, $\delta_{\text{ек}}$, $\delta_{\text{соц}}$ та $\delta_{\text{як}}$ (визначення розподілу фінансових ресурсів за напрямками сталого розвитку) повинно здійснюватися з урахуванням сукупності обмежень по нижній ненульовій межі змінних.

З урахуванням обмеження (5) система обмежень для розв'язання задачі оптимального розподілу грошових коштів, які виділяються на забезпечення сталого розвитку ДП «Придніпровська залізниця», виглядає таким чином:

$$\begin{cases} \delta_{\text{рес}} + \delta_{\text{ек}} + \delta_{\text{соц}} + \delta_{\text{як}} = 1, \\ \delta_{\text{рес}} \geq \delta_{\text{рес}}^{\min}, \\ \delta_{\text{ек}} \geq \delta_{\text{ек}}^{\min}, \\ \delta_{\text{соц}} \geq \delta_{\text{соц}}^{\min}, \\ \delta_{\text{як}} \geq \delta_{\text{як}}^{\min}, \end{cases} \quad (20)$$

де δ_i^{\min} – встановлена нижня межа частки грошових відрахувань на забезпечення i -ого напрямку сталого розвитку ДП «Придніпровська залізниця».

Результати

Таким чином у вказаній постановці задачу (4) з обмеженнями (20) можна віднести до класу задач лінійного програмування.

У загальному вигляді задача лінійного програмування визначається як максимізація цільової функції F за наявності обмежень, які виражені системою нерівностей:

$$F = \mathbf{c}^T \cdot \mathbf{x} \rightarrow \max : \mathbf{A} \cdot \mathbf{x} \leq \mathbf{b}, \forall \mathbf{x} \geq 0, \quad (21)$$

де \mathbf{c} – вектор цільових елементів; \mathbf{x} – вектор керуючих змінних; \mathbf{A} – матриця системи обмежень; \mathbf{b} – вектор системи обмежень.

Вектор цільових елементів у задачі оптимального розподілу капіталовкладень на забезпечення сталого розвитку є набором числових значень функцій еластичності капіталовкладень $\varepsilon_{\text{рес}}$, $\varepsilon_{\text{ек}}$, $\varepsilon_{\text{соц}}$ та $\varepsilon_{\text{як}}$, які визначаються для невідомих векторів N_l та N_g :

$$\mathbf{c} = \left| \varepsilon_{\text{рес}} \quad \varepsilon_{\text{ек}} \quad 1 \quad \varepsilon_{\text{як}} \right| \quad (22)$$

Як керуючі змінні при цьому виступають значення часток грошових коштів за напрямками:

$$\mathbf{x} = \left| \delta_{\text{рес}} \quad \delta_{\text{ек}} \quad \delta_{\text{соц}} \quad \delta_{\text{як}} \right|.$$

У вигляді $\mathbf{A} \cdot \mathbf{x} \leq \mathbf{b}$ систему обмежень (20) можна представити наступним чином:

$$\begin{cases} \delta_{\text{рес}} + \delta_{\text{ек}} + \delta_{\text{соц}} + \delta_{\text{як}} \leq 1, \\ -\delta_{\text{рес}} - \delta_{\text{ек}} - \delta_{\text{соц}} - \delta_{\text{як}} \leq -1 \\ -\delta_{\text{рес}} \geq -\delta_{\text{рес}}^{\min}, \\ -\delta_{\text{ек}} \geq -\delta_{\text{ек}}^{\min}, \\ -\delta_{\text{соц}} \geq -\delta_{\text{соц}}^{\min}, \\ -\delta_{\text{як}} \geq -\delta_{\text{як}}^{\min}. \end{cases} \quad (23)$$

Таким чином, матриця системи обмежень \mathbf{A} та вектор \mathbf{b} для задачі, яка розглядається, набуває такого вигляду:

$$\mathbf{A} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix}, \mathbf{b} = \begin{vmatrix} 1 \\ -1 \\ -\delta_{\text{рес}}^{\min} \\ -\delta_{\text{ек}}^{\min} \\ -\delta_{\text{соц}}^{\min} \\ -\delta_{\text{як}}^{\min} \end{vmatrix}. \quad (24)$$

Отже, розв'язання задачі оптимального розподілу капіталовкладень на забезпечення сталого розвитку ДП «Придніпровська залізниця» у приведеній постановці здійснюється симплекс-методом та дозволяє забезпечити такий варіант розвитку залізниці, під час реалізації якого функціонування ДП «Придніпровська залізниця» характеризується максимальним значенням інтегрального показника ефективності.

Наукова новизна та практична значимість

В роботі було розглянуто та запропоновано новий підхід до визначення оптимального розподілу капіталовкладень для забезпечення сталого розвитку ДП «Придніпровська залізниця».

Структурна реформа залізничного транспорту України, яка здійснюється у цей час, вимагає у найкоротші терміни розв'язання задач

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

з підвищення ефективності роботи галузі. Запропонований алгоритм розподілу капіталовкладень дозволить забезпечити такий варіант розвитку ДП «Придніпровська залізниця», реалізація якого призведе до підвищення ефективності функціонування залізниці, що, в свою чергу, позитивно відобразатиметься на роботі залізничного транспорту в цілому.

Висновки

Реформування залізничного транспорту повинно здійснюватися з урахуванням потреби комплексного розвитку, який можливий за рахунок концепції сталого розвитку. Тому розподіл капіталовкладень на забезпечення сталого розвитку має дуже важливе значення. Запропонований підхід до забезпечення фінансування сталого розвитку створено на підставі концепції сталого розвитку та зосереджено на достатньому об'ємі фінансових коштів та забезпеченні їх повного використання за напрямками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бараш, Ю. С. Роль залізничного транспорту України в забезпеченні сталого розвитку суспільства / Ю. С. Бараш, І. П. Корженевич // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 24 – С. 201–206.
2. Зоріна, О. І. Фактори підвищення рівня соціально-економічного розвитку підприємств залізничного транспорту / О. І. Зоріна // Вісн. економіки трансп. і пром-сті. – Харків, 2014. – Вип. 45. – С. 73–78.
3. Економічна оцінка стану з безпеки руху поїздів [Електронний ресурс] / В. В. Шевченко, О. М. Пшінько, С. В. Мямлін, Д. М. Козаченко // Економіка трансп. комплексу. – 2010. – Вип. 15. – С. 114–124. – Режим доступу: http://nb-uv.gov.ua/j-pdf/ektk_2010_15_14.pdf. – Назва з екрана. – Перевірено : 25.03.2015.
4. Комплексная программа реализации на национальном уровне решений, принятых на Всемирном саммите по устойчивому развитию на 2003–2015 гг. [Електронний ресурс] : офіц. текст : [утвержден. пост. Каб. Министров Украины от 26 апр. 2003 г. № 634]. – Режим доступу: <http://www.rada.kiev.ua>. – Назва з екрана. – Перевірено : 11.03.2015.
5. Концепція переходу України до сталого розвитку (проект) від 2 червня 2006 № 355 «Про підготовку проекту Концепції переходу України до сталого розвитку» // Вісн. НАН України. – 2007. – № 2. – С. 14–44.
6. Кузина, Е. Л. Эколого-экономическая стратегия устойчивого развития системы железнодорожного транспорта : моногр. / Е. Л. Кузина. – Ростов на Дону : РГСУ, 2009. – 150 с.
7. Ломотько, Д. В. Метод оцінки та відбору нечіткої інформації при формуванні систем підтримки прийняття рішень у підрозділах залізниць / Д. В. Ломотько // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2007. – № 2. – С. 3–9.
8. Макаренко, М. В. Підвищення ефективності функціонування залізниць / М. В. Макаренко, О. В. Левченко, М. М. Сергієнко // Зб. наук. пр. КУЕТТ. Сер. «Економіка і управління». – 2003. – Вип. 4. – С. 60–63.
9. Позднякова, Л. А. Новые подходы к проблеме управления эксплуатационными расходами грузовых перевозок железнодорожного транспорта / Л. А. Позднякова, В. И. Куделя // Вісн. економіки трансп. і пром-ті. – 2005. – № 9–10. – С. 183–189.
10. Про Концепцію сталого розвитку населених пунктів [Електронний ресурс] : Постанова Верховної Ради України від 24.12.1999 р. № 1359-XIV. – Режим доступу: <http://www.rada.kiev.ua>. – Назва з екрана. – Перевірено : 11.03.2015.
11. Системний економічний підхід до безпеки руху поїздів / В. В. Шевченко, О. М. Пшінько, С. В. Мямлін, Д. М. Козаченко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 26. – С. 236–238.
12. Сташишен, М. С. Проблеми сталого економічного розвитку залізничного транспорту України [Електронний ресурс] / М. С. Сташишен, О. В. Ярмоліцька // Сучасні тенденції розвитку наук. думки. – Режим доступу: <http://gisar.eu/gu/node/243>. – Назва з екрана. – Перевірено : 11.03.2015.
13. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Електронний ресурс] : Розпорядження Каб. Міністрів України від 20 жов. 2010 № 2174. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua>. – Назва з екрана. – Перевірено 11.03.2015.
14. Харченко, О. И. Новые направления повышения эффективности функционирования подразделений железнодорожного транспорта с позиции устойчивого развития / О. И. Харченко // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 4 (52). – С. 52–59.
15. Харченко, О. І. Формування системи показників сталого розвитку підрозділів залізничного трансп.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

- порту / О. І. Харченко // Заліз. трансп. України. – 2015. – № 1. – С. 18–21.
16. Чеховська, М. М. Механізм організаційно-економічного розвитку залізничного транспорту України : моногр. / М. М. Чеховська // Держ. екон.-технол. ун-т трансп. – Київ : Кондор, 2012. – 249 с.
 17. Lazaroiu, G. C. Scheduling for Sustainable Urban Development in Italy [Електронний ресурс] / G. C. Lazaroiu, M. Longo, M. Roscia // Research J. of Applied Sciences, Engineering and Technology. – 2014. – Vol. 7. – Iss. 12. – P. 2463–2468. – Режим доступу: <http://www.maxwellsci.com/jp/abst-ract.php?jid=RJASET&no=418&abs=11>. – Назва з екрана. – Перевірено : 11.03.2015.
 18. Mogila, V. The use of biofuel on the railway transport [Електронний ресурс] / V. Mogila, I. Vasyliiev, E. Nozhenko // Transport Problems: an Intern. Scientific J. – 2012. – Vol. 7. – Iss. 1 – P. 21–26. – Режим доступу: http://www.transportproblems.pdsl.pl/pl-Archiwum/2012/zeszyt1/2012t7z1_02.pdf. – Назва з екрана. – Перевірено : 11.03.2015.
 19. Szász, T. The sustainable development [Електронний ресурс] / T. Szász // Debreceni Muszaki Kozlemenyek. – 2010. № 1. – P. 31–42. – Режим доступу: http://www.eng.unideb.hu/user-dir/dmk-docs/20101/0_1_04.pdf. – Назва з екрана. – Перевірено : 11.03.2015.

О. И. ХАРЧЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 776 85 95, эл. почта kharchenko-o@mail.ru, ORCID 0000-0003-2068-0640

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Цель. Теоретическому и практическому вопросу устойчивого развития железнодорожного транспорта с каждым годом уделяется все больше внимания, но на сегодняшний день мало изучены механизмы финансового обеспечения этого явления. Поэтому целью данной статьи является определение оптимального распределения капиталовложений для обеспечения устойчивого развития железных дорог на примере Государственного предприятия «Приднепровская железная дорога» и создание предусловий для разработки математической модели. **Методика.** Задача обеспечения устойчивого развития железной дороги решается на основе интегрального показателя эффективности устойчивого развития и определяется как максимизация этого критерия. Для повышения значений составляющих интегрального критерия эффективности предлагается проводить оптимизационные мероприятия технологического характера. Это такие мероприятия как: оптимизация количества поездных и маневровых локомотивов, оптимизация мощности погрузо-разгрузочных механизмов и других средств механизации технологических процессов; оптимизация маршрутов доставки грузов в рамках транспортной сети железной дороги. С этой же целью предлагается проводить мероприятия технического характера: модернизация путей сообщения в рамках железной дороги в направлении их электрификации; модернизация ходовой части и сцепных устройств подвижного состава с целью снижения уровня шумовых воздействий на окружающую среду. **Результаты.** В работе определено оптимальное распределение капиталовложений для обеспечения устойчивого развития Государственного предприятия «Приднепровская железная дорога». Это позволяет обеспечивать такой вариант развития железной дороги, при реализации которого функционирование Государственного предприятия «Приднепровская железная дорога» характеризуется максимальным значением интегрального показателя эффективности. **Научная новизна.** В работе был рассмотрен и предложен новый подход к определению оптимального распределения капиталовложений для обеспечения устойчивого развития железных дорог. **Практическая значимость.** Структурная реформа железнодорожного транспорта Украины требует в кратчайшие сроки решения задач по повышению эффективности работы отрасли. Предложенный алгоритм распределения капиталовложений позволит обеспечить такой вариант развития Государственного предприятия «Приднепровская железная дорога», реализация которого приведет к повышению эффективности функционирования железной дороги, что, в свою очередь, положительно отобразится на работе отрасли в целом.

Ключевые слова: устойчивое развитие; железнодорожный транспорт; повышение эффективности; функционирование железнодорожного транспорта; финансовое обеспечение

O. I. KHARCHENKO^{1*}

^{1*}Dep. «Management of Operational Work», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, e-mail kharchenko-o@mail.ru, ORCID 0000-0003-2068-0640

DETERMINATION OF THE OPTIMAL CAPITAL INVESTMENTS TO ENSURE THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE RAILWAY

Purpose. Every year more attention is paid for the theoretical and practical issue of sustainable development of railway transport. But today the mechanisms of financial support of this development are poorly understood. Therefore, the aim of this article is to determine the optimal investment allocation to ensure sustainable development of the railway transport on the example of State Enterprise «Prydniprovsk Railway» and the creation of preconditions for the mathematical model development. **Methodology.** The ensuring task for sustainable development of railway transport is solved on the basis of the integral indicator of sustainable development effectiveness and defined as the maximization of this criterion. The optimization of measures technological and technical characters are proposed to carry out for increasing values of the integral performance measure components. To the optimization activities of technological nature that enhance the performance criteria belongs: optimization of the number of train and shunting locomotives, optimization of power handling mechanisms at the stations, optimization of routes of train flows. The activities related to the technical nature include: modernization of railways in the direction of their electrification and modernization of the running gear and coupler drawbars of rolling stock, as well as means of separators mechanization at stations to reduce noise impacts on the environment. **Findings.** The work resulted in the optimal allocation of investments to ensure the sustainable development of railway transportation of State Enterprise «Prydniprovsk Railway». This allows providing such kind of railway development when functioning of State Enterprise «Prydniprovsk Railway» is characterized by a maximum value of the integral indicator of efficiency. **Originality.** The work was reviewed and the new approach was proposed to determine the optimal allocation of capital investments to ensure sustainable development of the State Enterprise «Prydniprovsk Railway». **Practical value.** Structural reform of Ukrainian railway transport demands to solve problems to improve the efficiency of the industry in the shortest time. The proposed algorithm of investment allocation provides for such a directorate development, the implementation of which will lead to increase of functioning efficiency of the railway transportation directorate, which in turn will positively affect on the industry as a whole.

Keywords: sustainable development; railway transport; efficiency increase; functioning of rail transport; financial support; railway transport directorate

REFERENCES

1. Barash Yu.S., Korzhenevych I.P. Rol zaliznychnoho transportu Ukrainy v zabezpechenni staloho rozvytku suspilstva [The role of railway transport in the sustainable development of society]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 24, pp. 201–206.
2. Zorina O.I. Faktory pidvyshchennia rivnia sotsialno-ekonomichnoho rozvytku pidpriemstv zaliznychnoho transportu [Level enhancing factors of the social and economic development of the railway transport enterprises]. *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti* [Bulletin of Transport Economics and Industry], 2014, issue 45, pp. 73–78.
3. Shevchenko V.V., Pshinko O.M., Myamlin S.V., Kozachenko D.M. Ekonomichna otsinka stanu z bezpeky rukhu poizdiv [Economic assessment of the trains movement safety]. *Ekonomika transportnoho kompleksu – The economy of the Transport Complex*, 2010, issue 15, pp. 114–124. Available at: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/ektk_2010_15_14.pdf (Accessed 25 March 2015).
4. Kompleksnaya programma realizatsii na natsionalnom urovne resheniy, prinyatykh na Vsemirnom sammite po ustoychivomu razvitiyu na 2003 – 2015 gg. [A comprehensive program of national implementation of the decisions adopted at the World Summit on Sustainable Development for 2003 – 2015]. Available at: <http://www.rada.kiev.ua> (Accessed 11 March 2015).
5. Kontseptsii perekhodu Ukrainy do staloho rozvytku [The concept of Ukraine transition to sustainable development]. *Visnyk natsionalnoi akademii nauk Ukrainy – Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 2007, no. 2, pp. 14–44.
6. Kuzina E.L. *Ekologo-ekonomicheskaya strategiya ustoychivogo razvitiya sistemy zheleznodorozhnogo transporta* [Ecological and economic sustainable development strategy of railway transport system]. Rostov-on-Don, RGSU Publ., 2009. 150 p.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

7. Lomotko D.V. Metod otsinky ta vidboru nechitkoi informatsii pry formuvanni system pidtrymky pryiniattia rishen u pidrozdilakh zaliznyts [Method of evaluation and selection of fuzzy information in the formation of decision-making systems support in departments of railways]. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti – Information and control systems on the railway transport*, 2007, no. 2, pp. 3-9.
8. Makarenko M.V., Levchenko O.V., Serhiienko M.M. Pidvyshchennia efektyvnosti funktsionuvannia zaliznyts [The increasing of railways effective functioning]. *Zbirnyk naukovykh prats KUETT, seriia «Ekonomika i Upravlinnia»* [Proc. of Kyiv University of Economics and Technology. Series «Economics and Management»], 2003, issue 4, pp. 60-63.
9. Pozdnyakova L.A., Kudelya V.I. Novyye podkhody k probleme upravleniya ekspluatatsionnymi raskhodami gruzovykh perevozok zheleznodorozhnogo transporta [New approaches to manage operating expenses on cargo transportations of railway transport]. *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti – Bulletin of Transport Economy and Industry*, 2005, no. 9-10, pp. 183-189.
10. *Pro Kontseptsiiu staloho rozvytku naselenykh punktiv* [About the concept of sustainable human settlements development]. Available at: <http://www.rada.kiev.ua> (Accepted 11 March 2015).
11. Shevchenko V.V., Pshinko O.M., Myamlin S.V., Kozachenko D.M. Systemnyi ekonomichnyi pidkhid do bezpeky rukhu poizdiv [A systematic economic approach to the safe movement of trains]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 26, pp. 236-238.
12. Stasyshen M.S., Yarmolitska O.V. Problemy staloho ekonomichnoho rozvytku zaliznychnoho transportu Ukrainy [The problem of sustainable economic development of Ukrainian railway transport]. *Suchasni tendentsii rozvytku naukovoï dumky – Modern trends in the development of scientific thought*. Available at: <http://gisap.eu/ru/node/243> (Accessed 11 March 2015).
13. *Transportna stratehiia Ukrainy na period do 2020 roku* [The transport strategy of Ukraine for the period till 2020 y.]. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua> (Accessed 11 March 2015).
14. Kharchenko O.I. Novyye napravleniya povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya podrazdeleniya zheleznodorozhnogo transporta s pozitsii ustoychivogo razvitiya [Research of approaches to increase the efficiency of functioning of railway transport subdivisions from the point of view of sustainable development]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 4 (52), pp. 52-59.
15. Kharchenko O.I. Formuvannia systemy pokaznykiv staloho rozvytku pidrozdiliv zaliznychnoho transportu [The formation of an indicators system for sustainable development of railway transport units]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Ukrainian Railway Transport*, 2015, no. 1, pp. 18-21.
16. Chekhovska M.M. *Mekhanizm orhanizatsiino-ekonomichnoho rozvytku zaliznychnoho transportu Ukrainy*. [The mechanism of organizational and economic development of Ukrainian railway transport]. Kyiv, Kondor Publ., 2012. 249 p.
17. Lazaroiu G.C., Longo M., Roscia M. Scheduling for Sustainable Urban Development in Italy. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 2014, vol. 7, issue 12, pp. 2463-2468 Available at: <http://www.maxwellsci.com/jp/abstract.php?jid=RJASET&no=418&abs=11> (Accessed 11 March 2015).
18. Mogila V., Vasyliiev I., Nozhenko E. The use of biofuel on the railway transport. *Transport Problems: an Intern. Scientific Journal*. 2012, vol. 7, issue 1, pp. 21-26. Available at: http://www.transport-problems.pdsl.pl/pl/Archiwum/2012/zeszyt1/2012t7z1_02.pdf (Accessed 11 March 2015).
19. Szász T. The sustainable development. *Debreceni Muszaki Kozlemenyeek*. 2010, no. 1, pp. 31-42. Available at: http://www.eng.unideb.hu/userdir/dmk/docs/20101/0_1_04.pdf (Accessed 11 March 2015).

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Д. М. Козаченком (Україна); д.т.н. В. С. Наумовим (Україна)

Надійшла до редколегії 25.02.2015
Прийнята до друку 13.04.2015

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 629.4.072.5:519.17

Т. В. БУТЬКО¹, О. М. ГОРОБЧЕНКО^{2*}

¹Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61000, тел. +38 (057) 730 10 89, ел. пошта uetmp@ukr.net, ORCID 0000-0003-4027-3030

^{2*}Каф. «Експлуатація і ремонт рухомого складу», Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61000, +38 (063) 580 27 13, ел. пошта superteacher@yandex.ru, ORCID 0000-0002-9868-3852

МОДЕЛЮВАННЯ КЕРУЮЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ МАШИНІСТА ЛОКОМОТИВА ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ ГРАФІВ

Мета. Підвищення ефективності та безпеки управління локомотивом є важливою та актуальною науково-прикладною проблемою. Кожен машиніст при веденні поїзда спирається на свій досвід і знання, тому узагальнення та виявлення найбільш раціональних способів управління локомотивом є одним із етапів розробки заходів щодо зниження собівартості перевезень. Метою статті є формалізація опису процесу управління локомотивом та визначення параметрів якості цього процесу. **Методика.** Для досягнення поставленої мети в роботі використана теорія нечітких ймовірнісних графів. Вершини графа відповідають подіям початку та закінчення операцій із управління поїздом. Дуги графа описують операції із управління поїздом. Граф складається з тринадцяти вершин, відповідних основним керуючим діям машиніста. Вагові коефіцієнти переходів між вершинами задані нечіткими числами. Їх значення отримані методом експертних оцінок. Нечіткі значення ймовірності та часу переходу представлені у вигляді чисел із трапецієподібною функцією приналежності. **Результати.** За допомогою послідовного об'єднання паралельних дуг, усунення петель та вершин отримано еквівалентний нечіткий граф управління поїздом та відповідна йому L -матриця. Еквівалентний граф окремо враховує діяльність машиніста при нормальній експлуатації та при виникненні нештатних ситуацій. **Наукова новизна.** У роботі розроблені теоретичні основи формалізації опису процесу та отримана модель керуючої діяльності машиніста локомотива за допомогою нечіткого ймовірнісного графа. Отримано параметри, що характеризують процеси прийняття рішень машиністом. У подальшому ця модель може бути використана для оцінки ефективності локомотивних систем підтримки прийнятих рішень. **Практична значимість.** За допомогою отриманої моделі можливо оцінити наявні резерви підвищення якості управління локомотивом. Зниження часу для прийняття рішень наблизить поточний режим управління до раціонального та знизить витрати на тягу поїздів. А зменшення часу на ідентифікацію нештатних ситуацій призведе до підвищення безпеки руху шляхом реалізації заходів раннього реагування на небезпеку.

Ключові слова: безпека руху; локомотивна бригада; нечіткий граф; поїзд; прийняття рішень

Вступ

Постановка проблеми. Керуюча діяльність машиніста під час ведення поїзда є стохастичним процесом. Кожен робітник має своє уявлення про ефективне керування, свій набір по-

слідовних дій, що ґрунтується на його особистому досвіді та баченні поїзних ситуацій. В будь-якому депо є передові машиністи, показники роботи яких відрізняються від основної маси в кращий бік. Однак методи та прийоми

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ведення поїздів і серед них можуть значно відрізнятися, хоча призводять до схожих результатів: економія палива (енергії), тривалий час уникання транспортних подій та інше. У зв'язку з цим постає проблема узагальнення практики раціонального керування поїздом шляхом побудови такої моделі, що враховує досвід роботи локомотивних бригад і дозволить знайти шляхи до підвищення якості їх роботи [13].

Аналіз досліджень та публікацій. Підвищення якості керування об'єктами залізничного транспорту є актуальним завданням, на яке постійно звертають увагу вітчизняні [4, 12] та закордонні дослідники [7, 9]. Аналізуючи доступні публікації, можна сказати, що питання моделювання діяльності машиніста локомотива під час ведення поїзда розроблені не достатньо. Для моделювання керуючої діяльності людини-оператора широко використовується теорія графів [2, 11]. Кінцевою метою керуючої діяльності машиніста є отримання корисного результату – спрямування поїзда до пункту призначення з мінімізацією ризику виникнення транспортної події [1]. Мета досягається поетапно, шляхом розв'язання часткових завдань. В нашому дослідженні розглянемо алгоритм діяльності людини-оператора [3].

Мета

Найважливішим елементом управляючої діяльності машиніста є прийняття рішення. Щоб виконати моделювання цього процесу, потрібно врахувати всі фактори та дії, що передують прийняттю рішень, та визначити логічні зв'язки між ними. Найбільш природно для цієї задачі використати методи теорії графів.

Методика

Алгоритм дій машиніста локомотива під час керування поїздом подамо у вигляді нечіткого імовірнісного графа [8], що зображений на рис. 1. Специфіка об'єкта моделювання дозволяє визначити основні властивості імовірнісного графа таким чином:

- вершини графа відповідають подіям, що ототожнюються з початком та закінченням операцій з керування поїздом;
- дуги графа ототожнюються операціями з керування поїздом;

– ваги дуг відповідають часу та імовірності виконання операції;

- ваги дуг передбачаються незалежними;
- вершини графа мають вихід типу «АБО»;
- граф може мати петлі і замкнуті контури, що відповідають циклічно повторюваним сукупностям операцій з керування поїздом;
- для будь-якої j -ї вершини імовірнісного графа виконується умова стохастичності:

$$\sum_{i=1}^n p_{ji} = 1, \quad (1)$$

де p_{ji} – імовірність переходу з j -ої вершини в i -ту; n – кількість дуг, що виходять з j -ї вершини.

Завдання аналізу процесу керування поїздом зводиться до укрупнення графа, зображеного на рис. 1, з використанням правил еквівалентних перетворень для послідовних та паралельних дуг, і для дуг-петель.

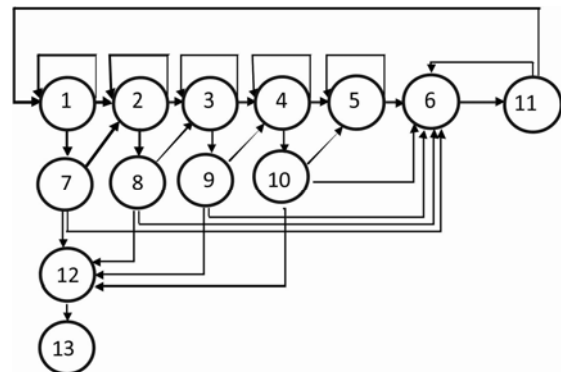


Рис. 1. Нечіткий імовірнісний граф алгоритму діяльності машиніста локомотива під час ведення поїзда

Fig. 1. Fuzzy probabilistic graph of algorithm of engine-driver's activity during the train-handling

Вершинами цього графа є операції, що виконуються машиністом, а логічними умовами – зважені нечіткі імовірнісно-часові характеристики переходу від однієї операції до іншої. Цей граф складається з таких операцій:

- 1 – контроль стану та зайнятості колії попереду;
- 2 – контроль стану сигналів попереду;
- 3 – контроль стану локомотива;
- 4 – контроль стану поїзда;
- 5 – аналіз відповідності режиму керування поточним умовам ведення поїзда (план та про-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

філь колії, швидкісний режим, відстані до сигналів або небезпечних місць, погодні умови та інше);

6 – прийняття керуючого рішення;

7 – оцінка стану колії попереду;

8 – оцінка значення сигналу;

9 – оцінка стану технічного локомотива;

10 – оцінка стану поїзда;

11 – оцінка ефективності прийнятого рішення з керуванням поїздом;

12 – ідентифікація небезпечної ситуації;

13 – перехід керування в режим усунення нештатної ситуації.

Вагові коефіцієнти переходів між вершинами задані нечіткими числами, значення яких

Таблиця 1

Вагові коефіцієнти переходів між вершинами графа в α -рівневому описанні (частина 1)

Table 1

Weighting factors of transitions between graphs in α -level description (part 1)

Вершини i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,1	0,3					0,6						
2		0,1	0,3					0,6					
3			0,1	0,3					0,6				
4				0,1	0,3					0,6			
5					0,1	0,9							
6											1		
7		0,6				0,39						0,01	
8			0,6			0,39						0,01	
9				0,6		0,39						0,01	
10						0,99						0,01	
11	0,9					0,1							
12													1
13													

Таблиця 2

Вагові коефіцієнти переходів між вершинами графа в α -рівневому описанні (частина 2)

Table 2

Weighting factors of transitions between graphs in α -level description (part 2)

Вершини i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2	0,5					1						
2		0,5	0,5					0,5					
3			2,5	0,5					1,5				
4				4	5					1,5			
5					4	4							
6											8		

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Закінчення табл. 2

End of Table 2

Вершини i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
7		0,5				4						3	
8			0,5			4						3	
9				0,5		4						3	
10						4						3	
11	2					4							
12													1
13													

записані в матриці графа (табл. 1 та 2). Значення цих коефіцієнтів отримані методом експертних оцінок: було опитано 43 машиністи електровозів та тепловозів локомотивного депо Ясинувата-Захід.

Подамо нечіткий імовірнісний граф (НІГ) у вигляді L -матриці. L -матрицею називають матрицю розміром $4 \times N$, в якій кожен i -тий рядок ототожнюється з дугою графа та має вигляд [10]:

$$l_i = \{x_i, y_i, \tilde{p}_i, \tilde{t}_i\}, \quad (2)$$

де x_i – номер вершини, з якої виходить i -та дуга; y_i – номер вершини, в яку входить i -та дуга;

$\tilde{p}_i(\tilde{t}_i)$ – нечітка імовірність (час) переходу з вершини x_i у вершину y_i .

N – кількість дуг імовірнісного графа.

Нечіткі значення імовірності та часу переходу подамо у вигляді чисел з трапецієвидною функцією приналежності [5]:

$$\tilde{p}_i = \langle \underline{p}_{i0}, \overline{p}_{i0}, \underline{p}_{i1}, \overline{p}_{i1} \rangle$$

$$\tilde{t}_i = \langle \underline{t}_{i0}, \overline{t}_{i0}, \underline{t}_{i1}, \overline{t}_{i1} \rangle, \quad (3)$$

де $\underline{t}_{i0}(\overline{t}_{i0})$ – нижня (верхня) межа нечіткого числа «час переходу з вершини x_i у вершину y_i » на нульовому б-рівні; $\underline{t}_{i1}(\overline{t}_{i1})$ – теж на одиничному б-рівні; $\underline{p}_{i0}(\overline{p}_{i0})$ – нижня (верхня) межа нечіткого числа «імовірність переходу з вершини x_i у вершину y_i » на нульовому б-рівні; $\underline{p}_{i1}(\overline{p}_{i1})$ – теж на одиничному б-рівні.

Функція приналежності такого опису має

вигляд як на рис. 2. Інтервал $[\underline{p}_{i1}, \overline{p}_{i1}]$ є оптимістичною оцінкою імовірності переходу, а $[\underline{p}_{i0}, \overline{p}_{i0}]$ – песимістичною.

L -матриця після наведення даних у вигляді (3) згідно з (2) буде мати вигляд (4):

1	1	(0; 0, 2) ₀ ∪ (0, 05; 0, 15) ₁	(0, 5; 3, 5) ₀ ∪ (1, 5; 2, 5) ₁
1	2	(0, 1; 0, 4) ₀ ∪ (0, 25; 0, 35) ₁	(0; 0, 1) ₀ ∪ (0, 03; 0, 07) ₁
1	7	(0, 4; 0, 8) ₀ ∪ (0, 55; 0, 65) ₁	(0; 4) ₀ ∪ (0; 2) ₁
2	2	(0; 0, 2) ₀ ∪ (0, 05; 0, 15) ₁	(0; 0, 1) ₀ ∪ (0, 03; 0, 07) ₁
2	3	(0, 1; 0, 4) ₀ ∪ (0, 25; 0, 35) ₁	(0; 0, 1) ₀ ∪ (0, 03; 0, 07) ₁
2	8	(0, 4; 0, 8) ₀ ∪ (0, 55; 0, 65) ₁	(0; 0, 1) ₀ ∪ (0, 03; 0, 07) ₁
3	3	(0; 0, 2) ₀ ∪ (0, 05; 0, 15) ₁	(1; 4) ₀ ∪ (2; 3) ₁
3	4	(0, 1; 0, 4) ₀ ∪ (0, 25; 0, 35) ₁	(0; 0, 1) ₀ ∪ (0, 03; 0, 07) ₁
3	9	(0, 4; 0, 8) ₀ ∪ (0, 55; 0, 65) ₁	(0, 5; 2, 5) ₀ ∪ (1, 2; 1, 8) ₁
4	4	(0; 0, 2) ₀ ∪ (0, 05; 0, 15) ₁	(2, 5; 5, 5) ₀ ∪ (3, 5; 4, 5) ₁
4	5	(0, 1; 0, 4) ₀ ∪ (0, 25; 0, 35) ₁	(3; 7) ₀ ∪ (4, 5; 5, 5) ₁
4	10	(0, 4; 0, 8) ₀ ∪ (0, 55; 0, 65) ₁	(0, 5; 2, 5) ₀ ∪ (1, 2; 1, 8) ₁
5	5	(0; 0, 2) ₀ ∪ (0, 05; 0, 15) ₁	(2, 5; 5, 5) ₀ ∪ (3, 5; 4, 5) ₁
5	6	(0, 7; 1) ₀ ∪ (0, 85; 0, 95) ₁	(2, 5; 5, 5) ₀ ∪ (3, 5; 4, 5) ₁
6	11	(0, 95; 1) ₀ ∪ (0, 99; 1) ₁	(5; 11) ₀ ∪ (7; 9) ₁
7	2	(0, 4; 0, 8) ₀ ∪ (0, 55; 0, 65) ₁	(0; 0, 1) ₀ ∪ (0, 03; 0, 07) ₁
7	6	(0, 29; 0, 49) ₀ ∪ (0, 34; 0, 44) ₁	(2, 5; 5, 5) ₀ ∪ (3, 5; 4, 5) ₁
7	12	(0; 0, 05) ₀ ∪ (0; 0, 02) ₁	(1; 5) ₀ ∪ (2, 5; 3, 5) ₁
8	3	(0, 4; 0, 8) ₀ ∪ (0, 55; 0, 65) ₁	(0; 0, 1) ₀ ∪ (0, 03; 0, 07) ₁
8	6	(0, 29; 0, 49) ₀ ∪ (0, 34; 0, 44) ₁	(2, 5; 5, 5) ₀ ∪ (3, 5; 4, 5) ₁
8	12	(0; 0, 05) ₀ ∪ (0; 0, 02) ₁	(1; 5) ₀ ∪ (2, 5; 3, 5) ₁
9	4	(0, 4; 0, 8) ₀ ∪ (0, 55; 0, 65) ₁	(0; 0, 1) ₀ ∪ (0, 03; 0, 07) ₁
9	6	(0, 29; 0, 49) ₀ ∪ (0, 34; 0, 44) ₁	(2, 5; 5, 5) ₀ ∪ (3, 5; 4, 5) ₁
9	12	(0; 0, 05) ₀ ∪ (0; 0, 02) ₁	(1; 5) ₀ ∪ (2, 5; 3, 5) ₁
10	6	(0, 9; 1) ₀ ∪ (0, 98; 1) ₁	(2, 5; 5, 5) ₀ ∪ (3, 5; 4, 5) ₁
10	12	(0; 0, 05) ₀ ∪ (0; 0, 02) ₁	(1; 5) ₀ ∪ (2, 5; 3, 5) ₁
11	6	(0; 0, 2) ₀ ∪ (0, 05; 0, 15) ₁	(2, 5; 5, 5) ₀ ∪ (3, 5; 4, 5) ₁
11	1	(0, 7; 1) ₀ ∪ (0, 85; 0, 95) ₁	(0, 5; 3, 5) ₀ ∪ (1, 5; 2, 5) ₁
12	13	(0, 95; 1) ₀ ∪ (0, 99; 1) ₁	(0; 4) ₀ ∪ (0; 2) ₁

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Ідея, що лежить в основі алгоритму укрупнення графа, полягає в послідовному використанні правил об'єднання паралельних дуг, усуненні дуги-петлі та вершини без петлі.

Алгоритм укрупнення включає такі кроки.

1. Позбавляємось дуг-петель на вершинах 1, 2, 3, 4, 5, використовуючи для цього вирази, наведені в [6]:

$$\tilde{p}'_{ij} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\underline{p}'_{ij\alpha}, \overline{p}'_{ij\alpha}), \quad (5)$$

$$\tilde{t}'_{ij} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\underline{t}'_{ij\alpha}, \overline{t}'_{ij\alpha}), \quad (6)$$

де $\underline{p}'_{ij\alpha} = \frac{p_{ij\alpha}}{1 - p_{ii\alpha}}; \overline{p}'_{ij\alpha} = \min\left(1, \frac{\overline{p}_{ij\alpha}}{1 - p_{ii\alpha}}\right);$

$$\underline{t}'_{ij\alpha} = \underline{t}_{ij\alpha} + \frac{t_{ij\alpha} \cdot p_{ii\alpha}}{1 - p_{ii\alpha}}; \overline{t}'_{ij\alpha} = \overline{t}_{ij\alpha} + \frac{\overline{t}_{ij\alpha} \cdot p_{ii\alpha}}{1 - p_{ii\alpha}}.$$

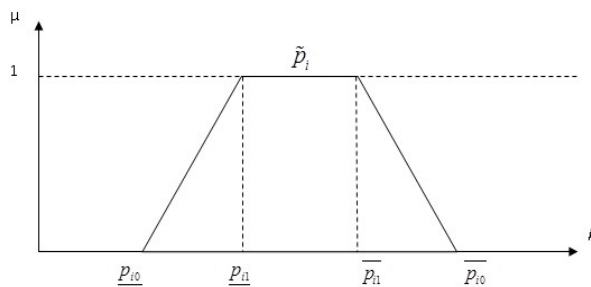


Рис. 2. Нечітке число з трапецієвидною функцією приналежності

Fig. 2. Fuzzy number with trapezoidal membership function

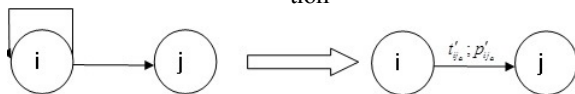


Рис. 3. Усунення дуги петлі

Fig. 3. Elimination of arc loops

2. Далі потрібно усунути вершини 7, 8, 9, 10. Для цього по кожній вершині виконаємо такий алгоритм:

1 – виділити множину дуг, що входять у вершину;

2 – виділити множину дуг, що виходять з вершини;

3 – видалити з L -матриці ці множини і перемножити їх, використовуючи визначені правила;

4 – додати до L -матриці отримані результати.

3. На рис. 4 видно, що виникли паралельні шляхи від вершин графа 1, 2, 3. Їх також потрібно видалити.

Граф після названих перетворень має такий вигляд:

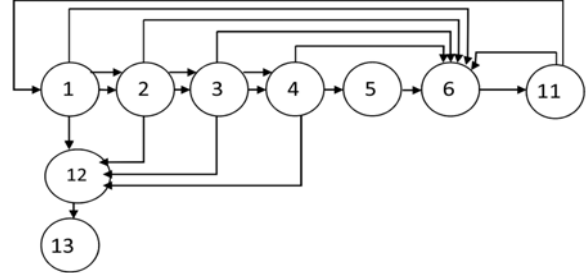


Рис. 4. Результат видалення дуг-петель та вершин графа 7, 8, 9, 10

Fig. 4. The result of the removal of arches, loops and vertices 7, 8, 9, 10

4. Видаляємо вершину 2 та паралельні дуги, що утворились після цього (1-12) та (1-6).

5. Видаляємо вершину 3 та паралельні дуги, що утворились після цього (1-12) та (1-6).

6. Видаляємо вершину 4 та паралельні дуги, що утворились після цього (1-12) та (1-6).

7. Видаляємо вершину 5 та паралельні дуги (1-6).

8. Видаляємо вершину 1 та паралельні дуги (11-6).

Результати

В результаті перетворень остаточний вигляд L -матриці представлений виразом (7):

$$L = \begin{vmatrix} 12 & 13 & (0,95;1)_0 \cup (0,99;1)_1 & (0;4)_0 \cup (0;2)_1 \\ 6 & 11 & (0,95;1)_0 \cup (0,99;1)_1 & (5;11)_0 \cup (7;9)_1 \\ 11 & 6 & (0,1124;1)_0 \cup (0,47;1)_1 & (0,67;15,09)_0 \cup (5,66;13,75)_1 \\ 11 & 12 & (0;0,016)_0 \cup (0;0,0387)_1 & (1,5;14,75)_0 \cup (4;9,38)_1 \end{vmatrix}$$

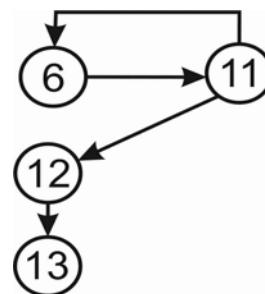


Рис. 5. Еквівалентний нечіткий імовірнісний граф керування поїздом

Fig. 5. Equivalent fuzzy probabilistic graph of train-handling

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Еквівалентний НІГ має чотири вершини, основні з яких 6 та 11 описують роботу машиніста під час нормальної експлуатації. Вершини 12 та 13 характеризують показники роботи в небезпечних ситуаціях.

Наукова новизна та практична значимість

В результаті аналізу еквівалентного графа отримані такі параметри:

1. Характеристики дуги (11-6):

$$\tilde{p}_{11-6} = (0, 1124; 1)_0 \cup (0, 47; 1)_1;$$

$$\tilde{t}_{11-6} = (0, 67; 15, 09)_0 \cup (5, 66; 13, 75)_1$$

вказують (з імовірністю більше 0,5) мінімальний час, який проходить від аналізу ситуації та оцінки ефективності попереднього керуючого рішення до прийняття наступного керуючого рішення (включаючи рішення не виконувати ніяких дій) знаходиться в інтервалі [5, 66; 13, 75] с;

2. Характеристики дуги (11-12):

$$\tilde{p}_{11-12} = (0; 0, 016)_0 \cup (0; 0, 0387)_1;$$

$$\tilde{t}_{11-12} = (1, 5; 14, 75)_0 \cup (4; 9, 38)_1$$

вказують, що машиністу після оцінки ефективності прийнятого керуючого рішення приблизно в 1–2 % випадків доводиться ідентифікувати небезпечну ситуацію. Час, що потрібний для цього, знаходиться в інтервалі [4, 9; 9, 38] с.

Ці параметри свідчать про те, що швидкість прийняття рішень машиністом можливо і потрібно підвищувати. Зменшення часу прийняття керуючого рішення дасть ефект у вигляді підвищення ефективності використання рухомого складу шляхом зменшення відхилення поточного режиму керування від раціонального, що розрахований та наведений в режимних картах. Зменшення часу на ідентифікацію нештатних ситуацій прямо впливає на безпеку руху, і чим більше поточна швидкість, тим важливіше мати можливість в найкоротший термін виявити небезпеку та приступити до її зниження.

Висновки

В роботі розроблені теоретичні основи формалізації процесу та отримана модель керуючої

діяльності машиніста локомотива за допомогою нечіткого імовірнісного графа. Для цього визначений перелік операцій, що виконуються машиністом під час руху, та виявлені логічні зв'язки між ними. Шляхом використання алгоритму укрупнення отриманий еквівалентний НІГ, за допомогою якого можливо оцінити час, що потрібний людині для оцінки поточної поїзної обстановки та прийняття керуючого рішення як в нормальних умовах експлуатації, так і в умовах небезпечної ситуації. В подальшому ця модель може бути використана для оцінки ефективності локомотивних систем підтримки прийняття рішень шляхом порівняння показників роботи людини та системи, що проектується.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горобченко, О. М. Визначення імовірності виникнення транспортної події в локомотивному господарстві / О. М. Горобченко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 35. – С. 48–51.
2. Ільман, В. М. Відтворення графів за технологічними шляхами / В. М. Ільман, В. В. Скалозуб, В. І. Шинкаренко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 18. – С. 85–94.
3. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений: теория, синтез, эффективность / В. А. Тарасов, Б. М. Герасимов, И. А. Левин, В. А. Корнейчук. – Киев : МАКНС, 2007. – 336 с.
4. Моделювання процесу оперативного планування роботи локомотивного парку і локомотивних бригад / І. В. Жуковський, В. В. Скалозуб, О. В. Ветрова, О. Л. Зіненко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 12. – С. 75–78.
5. Раскин, Л. Г. Нечеткая математика : моногр. / Л. Г. Раскин, О. В. Серая. – Харьков : Парус, 2008. – 352 с.
6. Ротштейн, А. П. Нечеткая надежность алгоритмических процессов / А. П. Ротштейн, С. Д. Штовба. – Винница : Континент, 1997. – 142 с.
7. Advanced technologies and energy efficiency: fuel economy program maintained jointly by the US Department of Energy's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy and the US Environmental Protection Agency

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.fueleconomy.gov/FEG/atv.shtml>. – Назва з екрана. – Перевірено : 29.11.2014.
8. Applications of Probabilistic Graphical Models to Diagnosis and Control of Autonomous Vehicles / A. L. Madsen, U. B. Kjærulff, J. Kalwa [et al.] // The Second Bayesian Modeling Applications Workshop. – Aalborg : Aalborg Universitet, 2005. – 12 p.
 9. Bower, E. GB Rail Powertrain Efficiency Improvements. Delivering Value through Innovation & Technology [Електронний ресурс] / E. Bower, A. Skipton-Carter, J. Buchanan. – Режим доступу: http://www.ricardo.com/Documents/PRs%20pdf/PRs%202012/Q57475_DfT_GB_Rail_Diesel_Powertrain_Efficiency_Improvements_Word_FINAL_14Mar12.pdf. – Назва з екрана. – Перевірено : 27.11. 2014.
 10. Gentle, J. E. Matrix Algebra: Theory, Computations, and Applications in Statistics / J. E. Gentle. – New York : Springer Science & Business Media, 2007. – 552 p. doi: 10.1007/978-0-387-70873-7.
 11. Naumann, U. Combinatorial Scientific Computing / U. Naumann, O. Schenk. – London : CRC Press, 2012. – 600 p.
 12. Okorokov, A. M. Strategic management of transport cargo complex / A. M. Okorokov // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 4 (52). – С. 101–110. doi: 10.15802/stp2014/27320.
 13. Wang, Z. The Theory and Methods of Design and Optimization for Railway Intelligent Transportation Systems (RITS) / Z. Wang, J. Li-min. – Beijing, China : Bentham Science Publishers Ltd., 2011. – 149 p. doi: 10.2174/978160805138011-10101.

Т. В. БУТЬКО¹, А. Н. ГОРОБЧЕНКО^{2*}

¹Каф. «Управление эксплуатационной работой», Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, площадь Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61000, тел. + 38 (057) 730 10 89, эл. почта uerm@ukr.net, ORCID 0000-0003-4027-3030

^{2*}Каф. «Эксплуатация и ремонт подвижного состава», Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, площадь Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61000, тел. + 38 (063) 580 27 13, эл. почта superteacher@yandex.ru, ORCID 0000-0002-9868-3852

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МАШИНИСТА ЛОКОМОТИВА С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ ГРАФОВ

Цель. Повышение эффективности и безопасности управления локомотивом является важной и актуальной научно-прикладной проблемой. Каждый машинист при ведении поезда опирается на свой опыт и знания, поэтому обобщение и выявление наиболее рациональных способов управления локомотивом является одним из этапов разработки мероприятий по снижению себестоимости перевозок. Целью статьи является формализация описания процесса управления локомотивом и определение параметров качества этого процесса. **Методика.** Для достижения поставленной цели в работе использована теория нечетких вероятностных графов. Вершины графа соответствуют событиям начала и окончания операций по управлению поездом. Дуги графа описывают операции по управлению поездом. Граф состоит из тринадцати вершин, соответствующих основным управляющим действиям машиниста. Весовые коэффициенты переходов между вершинами заданы нечеткими числами. Их значения получены методом экспертных оценок. Нечеткие значения вероятности и времени перехода представлены в виде чисел с трапециевидной функцией принадлежности. **Результаты.** С помощью последовательного объединения параллельных дуг, устранения петель и вершин получены эквивалентный нечеткий граф управления поездом и соответствующая ему L -матрица. Эквивалентный граф отдельно учитывает деятельность машиниста при нормальной эксплуатации и при возникновении нештатных ситуаций. **Научная новизна.** Разработаны теоретические основы формализации описания процесса управляющей деятельности машиниста локомотива с помощью нечеткого вероятностного графа. Получены параметры, характеризующие процессы принятия решений машинистом. В дальнейшем эта модель может быть использована для оценки эффективности локомотивных систем поддержки принятых решений. **Практическая значимость.** С помощью полученной модели возможно оценить имеющиеся резервы повышения качества управления локомотивом. Снижение времени для принятия решений приблизит текущий режим управления к рациональному и снизит расходы на тягу поездов. А уменьшение времени

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

на идентификацию нештатных ситуаций приведет к повышению безопасности движения путем реализации мер раннего реагирования на опасность.

Ключевые слова: безопасность движения; локомотивная бригада; нечеткий граф; поезд; принятие решений

T. V. BUTKO¹, O. M. HOROBCHENKO^{2*}

¹Dep. «Management of Operational Work», Ukrainian State University of Railway Transport, Feiierbakh Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61000, tel. +38 (057) 730 10 89, e-mail uermp@ukr.net, ORCID 0000-0003-4027-3030

^{2*}Dep. «Operation and Maintenance of Rolling Stock», Ukrainian State University of Railway Transport, Feiirbakh Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61000, tel. +38 (063) 580 27 13, e-mail superteacher@yandex.ru, ORCID 0000-0002-9868-3852

SIMULATION OF DRIVER'S LOCOMOTIVE-HANDLING ACTIVITY USING THE THEORY OF FUZZY GRAPHS

Purpose. The efficiency and safety of locomotive control improving is important and relevant scientific and practical problem. Every driver during the trains-handling bases on his experience and knowledge, that is why the compilation and detection the most efficient ways to control the locomotive-handling is one of the stages of measures development to reduce transportation costs. The purpose of this paper is a formalization process description of locomotive-handling and quality parameters determination of this process. **Methodology.** In order to achieve this goal the theory of fuzzy probabilistic graphs was used. Vertices of the graph correspond to the events start and end operations at train-handling. The graph arcs describe operations on train-handling. Graph consists of thirteen peaks corresponding to the main control actions of the engine-driver. The weighting factors of transitions between vertices are assigned by fuzzy numbers. Their values were obtained by expert estimates. Fuzzy probabilities and transition time are presented as numbers with trapezoidal membership function. **Findings.** Using successive merging of parallel arcs, loops and vertices elimination, the equivalent fuzzy graph of train-handling and the corresponding *L*-matrix were obtained. Equivalent graph takes into account separately activity of the driver during normal operation and during emergency situations. **Originality.** The theoretical foundations of describing process formalization in driver's locomotive-handling activity were developed using the fuzzy probabilistic graph. The parameters characterizing the decision-making process of engineer were obtained. **Practical value.** With the resulting model it is possible to estimate the available reserves for the quality improvement of locomotive-handling. Reduction in the time for decision-making will lead to the approximation the current mode of control to the rational one and decrease costs of hauling operations. And reduction in the time for the emergency situations identifying will lead to the traffic safety increasing through the implementation of measures of early response to danger.

Keywords: safety movement; the locomotive crew; fuzzy graph; train, decision-making

REFERENCES

1. Horobchenko O.M. Vyznachennia imovirnosti vynyknennia transportnoi podii v lokomotyvnomu hospodarstvi [The probability of traffic accidents determination in the locomotive facilities]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 35, pp. 48-51.
2. Ilman V.M., Skalozub V.V., Shynkarenko V.I. Vidtvorennia hrafiv za tekhnolohichnymy shliakhamy [The graphs reconstruction with technological ways]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 18, pp. 85-94.
3. Tarasov V.A., Gerasimov B.M., Levin I.A., Korneychuk V.A. *Intellektualnyye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy: teoriya, sintez, effektivnost* [Intelligent systems of decision support. Theory, synthesis, efficiency]. Kyiv, MAKNS Publ., 2007. 336 p.
4. Zhukovytskyi I.V., Skalozub V.V., Vietrova O.V., Zinenko O.L. Modeliuvannia protsesu operatyvnogo planuvannia roboty lokomotyvnoho parku i lokomotyvnykh bryhad [Modeling of the operational planning process of working locomotives and locomotive crews]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2006, issue 12, pp. 75-78.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

5. Raskin L.G., Seraya O.V. *Nechetkaya matematika* [Fuzzy mathematics]. Kharkov, Parus Publ., 2008. 352 p.
6. Rotshteyn A.P., Shtovba S.D. *Nechetkaya nadezhnost algoritmicheskikh protsessov* [Fuzzy reliability of algorithmic processes]. Vinnitsa, Kontinent Publ., 1997. 142 p.
7. Advanced technologies and energy efficiency: fuel economy program maintained jointly by the US Department of Energy's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy and the US Environmental Protection Agency. – Available at: <http://www.fueleconomy.gov/FEG/atv.shtml> (Accessed 29 November 2014).
8. Madsen A.L., Kjærulff U.B., Kalwa J., Perrier M., Sotelo M.A. Applications of Probabilistic Graphical Models to Diagnosis and Control of Autonomous Vehicles. The Second Bayesian Modeling Applications Workshop. Aalborg, Aalborg Universitet Publ., 2005. 12 p.
9. Bower E., Skipton-Carter A., Buchanan J. GB Rail Powertrain Efficiency Improvements. Delivering Value Through Innovation & Technology, 2012. – Available at: [http://www.ricardo.com/Documents/PRs%20pdf/PRs%202012/Q 57475_DfT_GB_Rail_Diesel_Powertrain_Efficiency_Improvements_Word_FINAL_14Mar12.pdf](http://www.ricardo.com/Documents/PRs%20pdf/PRs%202012/Q%2057475_DfT_GB_Rail_Diesel_Powertrain_Efficiency_Improvements_Word_FINAL_14Mar12.pdf) (Accessed 27 November 2014).
10. Gentle J.E. Matrix Algebra: Theory, Computations, and Applications in Statistics. New York, Springer Science & Business Media Publ., 2007. 552 p.
11. Naumann U., Schenk O. Combinatorial Scientific Computing. London, CRC Press Publ., 2012. 600 p.
12. Okorokov A.M. Strategic management of transport cargo complex. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 4 (52), pp. 101-110.
13. Wang Z., Li-min J. The Theory and Methods of Design and Optimization for Railway Intelligent Transportation Systems (RITS). Beijing, China, Bentham Science Publishers Ltd. Publ., 2011. 149 p.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. О. Б. Бабаніним (Україна); д.т.н., проф. Б. Є. Боднарем (Україна)

Надійшла до редколегії 09.01.2015

Прийнята до друку 20.03.2015

УДК 656.222.4:625.1

В. Л. ГОРОБЕЦЬ¹, С. І. МУЗИКІНА², М. І. МУЗИКІН^{3*}¹Каф. «Безпека життєдіяльності», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 08, ел. пошта v-gorobets@mail.ru, ORCID 0000-0002-6537-7461²Каф. «Безпека життєдіяльності», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (066) 082 88 27, ел. пошта fufei@rambler.ru, ORCID 0000-0002-5832-6949^{3*}Каф. «Безпека життєдіяльності», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (095) 251 53 14, ел. пошта grafmim@rambler.ru, ORCID 0000-0003-2938-7061**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ
ПОКАЗНИКІВ ОЦІНКИ ПРОФІЛЮ КОЛІЇ
НА ПРОПУСКНУ СПРОМОЖНІСТЬ ЗАЛІЗНИЦЬ**

Мета. Робота спрямована на отримання стійких показників для класифікації профілю колії (об'єднуючих у собі різноманітність окремих його елементів) з метою посилення пропускної спроможності ділянок. **Методика.** Проведено аналіз профілів полігону. Випрямлений профіль кожної ділянки був згрупований за крутизною елементів у межах припущення 1–2%. Для кожної ділянки визначалась величина розрахункового підйому та середнього підйому в робочій частині профілю. За величиною питомої ваги легких елементів профілю та розрахункових підйомів поздовжні профілі були класифіковані за чотирма типами. Приведені класифікаційні ознаки для цих чотирьох типів профілів із додатковою розбивкою кожного типу на підгрупи, в залежності від величини розрахункового підйому. **Результати.** Дослідниками доведено, що збільшення максимальної швидкості на спусках нівелює величину середнього ухилу та збільшує частку робочої частини профілю. Для перевірки запропонованої класифікації профілів виконано співставлення часу руху вантажних поїздів, розрахованого для реальних ділянок, та за відповідними їм типовими профілями. **Наукова новизна.** Суттєво спрощуючи розрахунки, існуючі способи оцінки профілю колії не дають достатньо повного та точного уявлення про дійсний вплив характеру профілю колії на важливі тягово-експлуатаційні та експлуатаційні вимірники. Умовні схеми недостатньо точно відображають структуру реальних профілів колії, у зв'язку з чим використання їх для конкретних розрахунків може привести до помилкових висновків. Тому більше значення набуває така класифікація поздовжніх профілів залізничної мережі, котра дозволила б на основі простих класифікаційних ознак відносити залізничні лінії до певного класу за поздовжнім профілем і, отже, використовувати стосовно певних ліній тягово-експлуатаційні розрахунки, виконані для типових профілів. **Практична значимість.** Групування усіх досліджених ділянок за величиною середнього підйому на робочій частині профілю та аналіз відповідної даному середньому підйому структури профілю показав, що запропонована величина k є простим, стійким та характерним показником для класифікації профілю ділянки.

Ключові слова: профіль колії; середній підйом; легкі елементи профілю; робоча частина профілю; шкідливі спуски

Вступ

Траса залізничних ліній (план та профіль) істотно впливає на якісні показники роботи, енергетичні показники, експлуатаційні витрати залізниць та на пропускну спроможність ліній [8].

В Україні існує розвинена мережа залізниць, яка забезпечує потреби країни в перевезеннях. За обсягами вантажопотоків в існуючій мережі можна виділити вісім основних напрямків, які про-

ходять через всі залізниці України.

Напрямок 1: Куп'янськ – Основа – Полтава – Знам'янка – Помічна – Одеса-Сортувальна – Ізмаїл;

Напрямок 2: Харків – Лозова – Синельникове;

Напрямок 3: Дебальцеве – Ясинувата – Нижньодніпровськ-Вузол – Знам'янка – Козятин – Клепарів – Ужгород;

Напрямок 4: Маріуполь – Камиш-Зоря – Запоріжжя-Ліве – Тимкове – Кропивницька – Котовськ – Роздільна – Рені;

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Напрямок 5: Хутор-Михайлівський – Дарниця – Козятин – Жмеринка – Котовськ – Роздільна – Одеса-Застава-І;

Напрямок 6: Знам'янка – Миколаїв – Херсон;

Напрямок 7: Апостолове – Колосівка – Чорноморська – Берегова;

Напрямок 8: Хутор-Михайлівський – Бахмач – Гребінка – ім. Т. Шевченка – Помічна.

Динаміка збільшення маси вантажних поїздів спостерігалася більше століття розвитку залізниць України незалежно від приналежності територій країни до різних країн Європи. Від 500 до 3 500 т – таке збільшення середньої маси поїздів відбулося за останні 100 років. Зрозуміло, що збільшення маси відбувалося із розвитком тягового рухомого складу, потужність якого поступово збільшувалась. Відповідно збільшувалося і осьове навантаження вагонів, що досягло обмеження в 250 кН/вісь.

На величину механічної роботи локомотива, отже, і на енергетичні витрати впливають багато факторів, серед яких технічне оснащення, умови роботи залізниці, параметри плану і поздовжнього профілю. Максимальні розрахункові підйоми на головних напрямках залізниць складають:

Одеська залізниця – 9,8 %;

Львівська залізниця – 28 %;

Південно-Західна залізниця – 9,1 %;

Південна залізниця – 11,2 %;

Придніпровська залізниця – 16 %;

Донецька – 18 %.

Питання оцінки траси лінії отримали самостійну теоретичну розробку одночасно з розвитком залізничного транспорту. У розвиток досліджень щодо методів оцінки важкості поздовжнього профілю колії при порівнянні варіантів підвищення провізної та пропускної спроможності зробили великий внесок такі вчені та практики: Блохін Є. П., Козлов В. Є., Васильєв І. І., Максимович Б. М., Тихомиров І. Г., Макароцькін А. М., Дьяков Ю. В., Батурін О. П., Фельдман Е. Д., Акулінічев В. М., Сотніков Є. О., Сотніков І. Є., Кочнев Ф. П., Образцова В. М., Савенко А. С., Архангельський Е. В., Самсонкін В. М., Г. Поттгофф та інші. [1–16]

Як основні вимірники ступеня важкості профілю передбачалися: віртуальний коефіцієнт та віртуальна довжина ділянки, еквівалентний підйом та еквівалентний опір, коефіцієнт площ

щовості при даному розрахунковому ухилі, і, нарешті, умовні профілі, які характеризують тип місцевості (рівнинний, середній, горбистий, гірський), і відмінні набором таких елементів профілі різноманітної крутизни та протяжності, як розрахункові підйоми і спуски, ухили крутизною 0,5 ‰, площадки та 2 ‰-ні спуски та підйоми в одному випадку, керівні підйоми та елементи профілю, які проходять «під струмом» та на холостому ході локомотива, в іншому випадку та ін.

Аналіз закордонного та вітчизняного досвіду виявив, що ці способи оцінки профілю колії не дають достатньо повного та точного уявлення про дійсний вплив характеру профілю колії на важливі тягово-експлуатаційні та експлуатаційні вимірники.

Мета

Отримання стійких показників для класифікації профілю колії (об'єднуючих в собі різноманіття окремих його елементів) з метою посилення пропускної спроможності ділянок.

Методика

Було виконано аналіз профілів полігону мережі в обох напрямках. Спрямлений профіль кожної ділянки був згрупований по крутизні елементів в межах прирощення 1–2 ‰. Для кожної ділянки визначалась величина розрахункового підйому та середнього підйому на робочій частині профілю, тобто на той частині ділянки, яку локомотив проходить з розрахунковими та частковими навантаженнями (під струмом).

Під час визначення розрахункового підйому враховувалось взаємне розташування елементів профілю, можливість подолання великих підйомів за рахунок кінетичної енергії поїзда, накопиченої на попередніх елементах профілю, або за рахунок короткочасного перевантаження локомотива, а також додаткове підвищення коефіцієнта зчеплення завдяки застосуванню піску.

Величина середнього підйому є геометричною характеристикою робочої частини профілю ділянки та визначається для кожного напрямку окремо за формулою [10]:

$$i_{cp} = \frac{\sum i_n \gamma_n - \sum i_{cn} \gamma_{cn}}{1 - \sum \gamma_{cui}} = \frac{\sum i_n \gamma_n - \sum i_{cn} \gamma_{cn}}{a_p}, \quad (1)$$

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

де i_n – підйоми, %; i_{cn} – спуски нешкідливі, %; γ_n – частина елементів профілю з підйомами; γ_{cn} – частина елементів профілю зі спусками нешкідливими; γ_{cu} – частина елементів профілю зі спусками шкідливими; a_p – частка робочої частини профілю.

Максимальні ухили шкідливих спусків, по яких поїзд може прямувати з найбільшою сталою швидкістю при холостому ході локомотива (коли сила тяги дорівнює нулю), залежать від величини допустимої максимальної швидкості руху та визначаються за формулою [10]:

$$i_x = \omega_x = \frac{\omega'_x P + \omega''_o Q}{P + Q}, \quad (2)$$

де ω'_x – питомий опір руху локомотива на холостому ході при максимальній швидкості в кг/т ; ω''_o – основний питомий опір руху вагонів при максимальній швидкості, кг/т ; P – вага локомотива, t ; Q – вага складу, t .

Для сучасних умов величина i_x коливається в невеликих межах і практично може бути прийнята рівною 3,3 % [2]. Для інших категорій поїздів (пасажирських, порожніх) величина i_x буде іншою.

За величиною показника κ , тобто питомої ваги легких елементів профілю, та розрахункових підйомів i_p поздовжні профілі класифіковані на 4 типи (табл. 1).

Таблиця 1

Table 1

Класифікація профілів

Profile classification

Тип профілю	Величина розрахункового підйому, %	Значення показника κ , %
I	4 – 7	> 60
II	5 – 9	40 – 60
III	7 – 10	30 – 40
IV	9 – 12	< 30

На рис. 1–4 наведено групування елементів за типами профілю у відсотках до загальної довжини ділянки, наведені класифікаційні ознаки

для цих чотирьох типів профілів з додатковою розбивкою кожного типу на підгрупи залежно від величини розрахункового підйому. Кожному розрахунковому підйому відповідає визначена структура профілю. Необхідно відмітити, що протяжність елементів профілю з найбільшими та близькими до них підйомами складає для кожного типу профілю від 20 до 30 % загальної довжини ділянки.

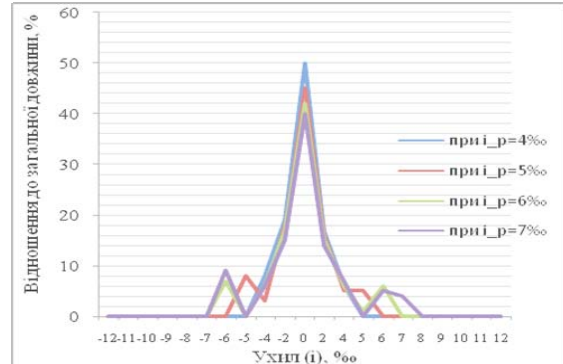


Рис. 1. Класифікаційні ознаки I типу профілю

Fig. 1. Classification features of the I profile type

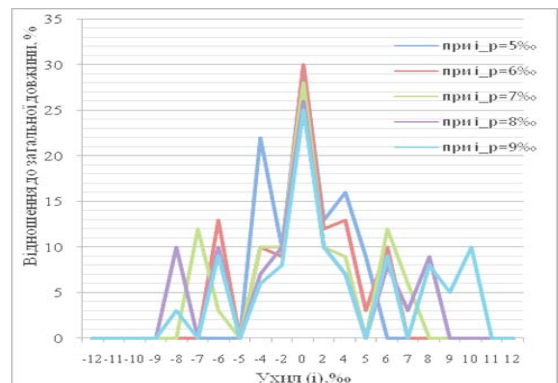


Рис. 2. Класифікаційні ознаки II типу профілю

Fig. 2. Classification features of the II profile type

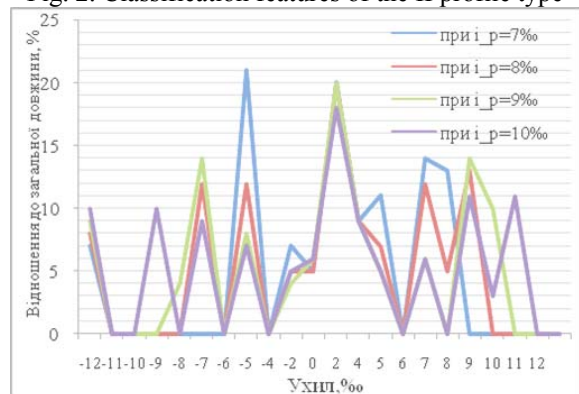


Рис. 3. Класифікаційні ознаки III типу профілю

Fig. 3. Classification features of the III profile type

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

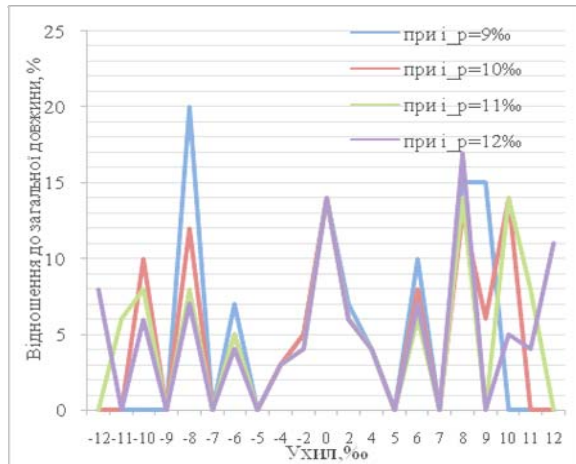


Рис. 4. Класифікаційні ознаки IV типу профілю

Fig. 4. Classification features of the IV profile type

Для віднесення тої чи іншої ділянки до певного типу профілю достатньо підрахувати протяжність елементів профілю з ухилами в межах від –3 до +3 % та визначити показник κ , тобто протяжність цих елементів профілю у відсотках до загальної довжини. За величиною коефіцієнта κ легко визначити тип профілю, а потім за величиною розрахункового підйому встановити розрахункову структуру поздовжнього профілю.

Щоб оцінити прийнятну класифікацію поздовжнього профілю залізничних ліній, для кожного типу профілю визначені відповідні сучасним вимогам (при $v_{\max} = 160$ км/год) [3, 5] такі показники: частка протяжності робочої частини профілю a_p , середній підйом i_{cp} на робочій та окремо $i_{cp,n}$ на неробочій частині профілю. Частка протяжності робочої частини типового профілю a_p при відомій величині розрахункового підйому визначається як відношення суми довжин усіх підйомів, площадок та спусків нешкідливих до загальної довжини ділянки.

Величина середнього підйому i_{cp} на робочій частині профілю визначена за формулою (1).

Величина середнього ухилу (спуску) $i_{cp,n}$ неробочої частини профілю на ділянці визначається за формулою [10]:

$$i_{cp,n} = \frac{\sum i_{cni} \gamma_{cni}}{\sum \gamma_{cni}} = \frac{\sum i_{cni} \gamma_{cni}}{1 - a_p}. \quad (3)$$

Значення i_{cp} , κ , a_p , $i_{cp,n}$ для типових профілів наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Table 2

Вплив найбільшої швидкості руху на зменшення абсолютних значень i_{cp} та збільшення a_p

The impact of greatest speed on a decrease of the absolute values i_{cp} and the increase a_p

Тип профіля	i_p в %	$v_{\max} = 120$ км/год		$v_{\max} = 140$ км/год		$v_{\max} = 160$ км/год	
		i_{cp} в ‰	a_p	i_{cp} в ‰	a_p	i_{cp} в ‰	a_p
I	5	–0,1	1	–0,1	1	–0,1	1
II	7	1,05	0,88	0	1	0	1
III	9	1,34	0,82	0	0,9	–0,4	1
IV	11	1,83	0,75	0	0,9	0	1

Результати

Збільшення максимальної швидкості на спусках зменшує величину середнього ухилу та збільшує частку робочої частини профілю. Вплив найбільшої швидкості руху на зменшення абсолютних значень i_{cp} та збільшення a_p видно із табл. 2, де для окремих типів профілів наведені отримані в результаті розрахунків величини $i_{cp} = f(v_{\max})$ при різних розрахункових підйомах i_p . Групування усіх ділянок за величиною середнього підйому на робочій частині профілю (через одну тисячну) та аналіз відповідної даному середньому підйому структури профілю виявив, що кожній групі середнього підйому відповідає визначена питома вага легких елементів профілю з ухилами від –3 до +3 %, тобто величина κ , що є простим, стійким і характерним показником для класифікації профілю ділянки.

Для перевірки запропонованої класифікації профілів виконано зіставлення часу руху вантажних поїздів, обчисленого для реальних ділянок і за відповідними типовими профілями.

Наукова новизна та практична значимість

Вплив поздовжнього профілю колії на умови експлуатації та економічні результати роботи залізничної лінії визначається зазвичай на

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

основі детальних тягово-експлуатаційних розрахунків. Однак під час вирішення питань вибору способів збільшення пропускної спроможності великих полігонів мережі виконання детальних тягово-експлуатаційних розрахунків для кожної конкретної лінії є досить трудомістким завданням і в обмежені терміни практично не здійсненне. Тому є така класифікація поздовжніх профілів залізничної мережі, яка дозволила б на основі простих класифікаційних ознак відносити залізничні лінії до певного класу за поздовжнім профілем і, отже, використовувати стосовно певних ліній тягово-експлуатаційні розрахунки, виконані для типових профілів.

Висновки

Суттєво спрощуючи розрахунки, способи оцінки профілю колії не дають достатньо повного та точного уявлення про дійсний вплив характеру профілю на важливі тягово-експлуатаційні та експлуатаційні вимірники. Значення віртуального коефіцієнта, віртуальної довжини ділянки, еквівалентного підйому і тому подібних показників, які використовують як постійні характеристики профілю ділянки, в дійсності є величинами змінними, значною мірою залежать від типу та режиму роботи локомотива, категорії, ваги та швидкості руху поїздів, максимально допустимої швидкості руху по спусках і т.ін. Умовні схеми недостатньо точно відображають структуру реальних профілів колії, в зв'язку з чим використання їх у конкретних розрахунках може призвести до неправильних висновків.

Подальшу роботу з уточнення класифікації профілю доцільно вести в напрямку обліку впливу послідовного розташування елементів профілю конкретних ділянок на швидкісні та енергетичні показники.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондаренко, И. А. К вопросу о повышении качественной оценки работоспособности железнодорожного пути / И. А. Бондаренко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 18. – С. 46–50.
2. Быков, Ю. А. Прогнозирование улучшения показателей технической эффективности же-

лезнодорожного направления / Ю. А. Быков // Проектирование железн. дорог в сложных природ. условиях : межвуз. сб. науч. тр. / ДВГАПС. – Хабаровск, 1994. – С. 43–50.

3. Годяев, А. И. Оценка потенциально реализуемой пропускной способности железнодорожного участка / А. И. Годяев // Вестн. ВНИИЖТа. – 2004. – № 6. – С. 29–32.
4. Иоаннисян, А. И. Улучшение трассы существующих железных дорог / А. И. Иоаннисян. – Москва : Транспорт, 1972. – 176 с.
5. Козлов, И. Т. Пропускная способность транспортных систем / И. Т. Козлов – Москва : Транспорт, 1985. – 216 с.
6. Копыленко, В. А. Техничко-экономическая модель задачи оптимального переустройства эксплуатируемой линии для повышения скорости поездов / В. А. Копыленко // Развитие методов и норм проектирования желез. дорог в условиях интенсификации работы ж.-д. трансп. : сб. науч. тр. / МИИТ. – Москва, 1986. – Вып. 771. – С. 50–66.
7. Мишин, В. В. Вопросы системного анализа железнодорожного пути / В. В. Мишин // Вестн. ВНИИЖТа. – 2000. – № 6. – С. 12–17.
8. 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. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 26. – С. 23–27.
9. Поттгофф, Г. Учение о транспортных потоках / Г. Поттгофф. – Москва : Транспорт, 1975. – 344 с.
10. Чернышов, М. А. Практические методы расчета пути / М. А. Чернышов. – Москва : Транспорт, 1967. – 236 с.
11. Atkin, R. H. Mathematical structure in human affairs : monograph / R. H. Atkin. – London : Heinemann, 1974. – 212 p.
12. Goverde, R. Railway line capacity consumption of different railway signalling systems under scheduled and disturbed conditions / R. Goverde, F. Corman, A. D'Ariano // J. of Rail Transport Planning & Management. Robust Rescheduling and Capacity Use. – 2013. – Vol. 3, № 3. – P. 78–94. doi:10.1016/j.jrtpm.2013.12.001
13. Heydar, M. Mixed integer programming for minimizing the period of a cyclic railway timetable for a single track with two train types / M. Heydar, M. Petering, D. Bergmann // Computers & Industrial Engineering. – 2013. – Vol. 66, № 1. – P. 171–185. doi: 10.1016/j.cie.2013.06.003
14. Kontaxi, E. Railway Capacity Handbook: A Systematic Approach to Methodologies / E. Kontaxi, S. Riccia // Procedia – Social and

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- Behavioral Sciences. Transport Research Arena. – 2012. – Vol. 48. – P. 2689–2696. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.06.1238.
15. 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. doi: 10.1287/trsc.18.1.1.
16. Thoma, L. City-Logistik: Konzeption-Organisation-Implementierung / L. Thoma. – Weisbaden : Deutscher Universitäts, 1995. – 247 p. doi: 10.1007/978-3-322.

В. Л. ГОРОБЕЦ¹, С. И. МУЗЫКИНА², М. И. МУЗЫКИН^{3*}

¹Каф. «Безопасность жизнедеятельности», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 793 19 08, эл. почта v-gorobets@mail.ru, ORCID 0000-0002-6537-7461

²Каф. «Безопасность жизнедеятельности», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (066) 082 88 27, эл. почта fufei@rambler.ru, ORCID 0000-0002-5832-6949

^{3*}Каф. «Безопасность жизнедеятельности», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (095) 251 53 14, эл. почта grafmim@rambler.ru, ORCID 0000-0003-2938-7061

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ПРОФИЛЯ ПУТИ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Цель. Работа направлена на получение устойчивых показателей для классификации профиля пути (объединяющих в себе все многообразие отдельных его элементов) с целью усиления пропускной способности участков. **Методика.** Был проведен анализ профилей полигона. Выпрямленный профиль каждого участка был сгруппирован по крутизне элементов в пределах приращения 1–2 %. Для каждого участка определялась величина расчетного подъема и среднего подъема на рабочей части профиля. По величине удельного веса легких элементов профиля и расчетных подъемов продольные профили были классифицированы по четырем типам. Приведены классификационные признаки для этих четырех типов профилей с дополнительной разбивкой каждого типа на подгруппы, в зависимости от величины расчетного подъема.

Результаты. Исследователями доказано, что увеличение максимальной скорости на спусках нивелирует величину среднего уклона и увеличивает долю рабочей части профиля. Для проверки предложенной классификации профилей выполнено сопоставление времени движения грузовых поездов, подсчитанного для реальных участков, и по соответствующим им типичным профилям. **Научная новизна.** Существенно упрощая расчеты, существующие способы оценки профиля пути не дают достаточно полного и точного представления о действительном влиянии характера профиля пути на важные тягово-эксплуатационные и эксплуатационные измерители. Условные схемы недостаточно точно отражают структуру реальных профилей пути, в связи с чем использование их для конкретных расчетов может привести к ошибочным выводам. Поэтому большое значение приобретает такая классификация продольных профилей железнодорожной сети, которая позволила бы на основе простых классификационных признаков относить железнодорожные линии к определенному классу по продольному профилю и, следовательно, использовать в отношении некоторых линий тягово-эксплуатационные расчеты, выполненные для типичных профилей.

Практическая значимость. Группировка всех исследованных участков по величине среднего подъема на рабочей части профиля и анализ соответствующей данному среднему подъему структуры профиля показал, что предложенная величина k является простым, устойчивым и характерным показателем для классификации профиля участка.

Ключевые слова: профиль пути; средний подъем; легкие элементы профиля; рабочая часть профиля; вредные спуски

V. L. GOROBETS¹, S. I. MUZYKINA², M. I. MUZYKIN^{3*}¹Dep. «Life Activity Safety», 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 v-gorobets@mail.ru, ORCID 0000-0002-6537-7461²Dep. «Life Activity Safety», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryana, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 082 88 27, e-mail fufei@rambler.ru, ORCID 0000-0002-5832-6949^{3*}Dep. «Life Activity Safety», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryana, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (095) 251 53 14, e-mail grafmim@rambler.ru, ORCID 0000-0003-2938-7061

STUDY OF OPERATIONAL PARAMETERS OF TRACK PROFILE ESTIMATION ON THE BANDWIDTH OF THE RAILWAYS

Purpose. Obtaining suitable indicators for profile track classification (combining a diversity of its individual elements) to enhance the bandwidth of plots. **Methodology.** Analysis was done with polygon profiles. Rectified profile of each plot was grouped by the steepness of the elements within the increment of 1-2 %. For each plot was determined magnitude of the estimated rise and medium-sized rise on the working part of the profile. Longitudinal profiles were classified into four types by the magnitude of the proportion of light elements profile and estimated rises. Classification criteria are given for these four types of profiles with additional breakdown of each type into subgroups depending on the magnitude of the estimated rise. **Findings.** Researches proved that the maximum speed increasing on falls reduces the magnitude of the average fall and increases the proportion of the working profile. To test the proposed classification of profiles juxtaposition of freight trains time motion, calculated for real plots and by the corresponding typical profiles was carried out. **Originality.** Simplifying the calculations significantly, prevailing methods for assess profile track do not provide the full and accurate representation of the actual character impact of profile track at important tractional-operational and operational indicators. Conventional schemes do not accurately reflect the actual structure of track profiles, and therefore the use of them for concrete calculations can lead to wrong conclusions. Therefore, this classification of longitudinal profiles of the railway network becomes more important, which allow refer railway lines to a particular class upon longitudinal profile on the base of simple classifications marks and therefore use the tractional-operational calculations made for typical profiles in respect of certain lines. **Practical value.** Grouping of all explored plots by magnitude of average rise in the working part of the profile and analysis of the profile structure that is relevant to average rise, revealed that the proposed value of k is a simple, stable and specific indicator for the classification of the profile plot.

Keywords: profile track; average rise; light elements profile; working part profile; detrimental falls

REFERENCES

1. Bondarenko I.A. K voprosu o povyshenii kachestvennoy otsenki rabotosposobnosti zheleznodorozhnogo puti [The improvement of the rolling stock design for containers transportation]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 18, pp. 46-50.
2. Bykov Yu.A. Prognozirovaniye uluchsheniya pokazateley tekhnicheskoy effektivnosti zheleznodorozhnogo napravleniya [Forecasting of technical efficiency improvement of railway direction]. *Proyektirovaniye zheleznnykh dorog v slozhnykh prirodnnykh usloviyakh: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov* [Design of Railways in difficult environmental conditions: interuniversity collection of scientific papers]. Khabarovsk, DVGAPS Publ., 1994, pp. 43-50.
3. Godyayev A.I. Otsenka potentsialno realizuyemoy propusknoy sposobnosti zhelezno-dorozhnogo uchastka [Assessment of potentially realizable bandwidth of rail-road area]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of All-Russian Research Institute of Railway Transport], 2004, no. 6, pp. 29-32.
4. Ioannisyanyan A.I. *Uluchsheniye trassy sushchestvuyushchikh zheleznnykh dorog* [Improving of existing railways]. Moscow, Transport Publ., 1972. 176 p.
5. Kozlov I.T. *Propusknaya sposobnost transportnykh sistem* [Bandwidth of transport systems]. Moscow, Transport Publ., 1985. 216 p.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

6. Kopylenko V.A. Tekhniko-ekonomicheskaya model zadachi optimalnogo pereustroystva ekspluatiruemoy linii dlya povysheniya skorosti poyezdov [Techno and economic model of optimal conversion of operated line to increase train speed]. *Sbornik nauchnykh trudov «Razvitiye metodov i norm proyektirovaniya zheleznnykh dorog v usloviyakh intensifikatsii raboty zhelezno-dorozhnogo transporta»* [Proc. «The development of methods and design standards of the Railways in the conditions of intensification of work of railway transport»]. Moscow, 1986, issue 771, pp. 50–66.
7. Mishin V.V. Voprosy sistemnogo analiza zheleznodorozhnogo puti [Issues of systemic analysis of railway track]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of All-Russian Research Institute of Railway Transport], 2000, no. 6, pp. 12–17.
8. Muzykina H.I., Bolvanovska T.V., Mazurenko O.O. Vyznachennia zakhodiv, neobkhidnykh dlia pidvyshchennia proviznoi spromozhnosti zaliznyts Ukrainy [Identifying actions needed to improve 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], 2003, issue 26, pp. 23–27.
9. Pottgoff G. *Ucheniye o transportnykh potokakh* [The doctrine of transport streams]. Moscow, Transport Publ., 1975. 344 p.
10. Chernyshov M.A. *Prakticheskiye metody rascheta puti* [Practical methods of the path calculating]. Moscow, Transport Publ., 1967. 236 p.
11. Atkin R.H. Mathematical structure in human affairs. London, Heinemann Publ., 1974. 212 p.
12. Goverde R., Corman F., D'Ariano A. Railway line capacity consumption of different railway signalling systems under scheduled and disturbed conditions. *Journal of Rail Transport Planning & Management. Robust Rescheduling and Capacity Use*, 2013, vol. 3, no. 3, pp. 78–94. doi: 10.1016/j.jrtpm.2013.12.001.
13. Heydar M., Petering M., Bergmann D. Mixed integer programming for minimizing the period of a cyclic railway timetable for a single track with two train types. *Computers & Industrial Engineering*, 2013, vol. 66, no. 1, pp. 171–185. doi: 10.1016/j.cie.2013.06.003.
14. Kontaxi E., Riccia S. Railway Capacity Handbook: A Systematic Approach to Methodologies. *Procedia – Social and Behavioral Sciences. Transport Research Arena*, 2012, vol. 48, pp. 2689–2696. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.06.1238.
15. Magnanti T.L., Wong R.T. Network Design and Transportation Planning: Models and Algorithms. *Transportation Science*, 1984, vol. 18, no. 1, pp. 3–55. doi: 10.1287/trsc.18.1.1.
16. Thoma L. City-Logistik: Konzeption-Organisation-Implementierung. Weisbaden, Deutscher Universitäts Publ., 1995. 247 p. doi: 10.1007/978-3-322-99450-9.

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

Надійшла до редколегії 20.01.2015

Прийнята до друку 26.03.2015

УДК 656.225.022.5

Д. Н. КОЗАЧЕНКО^{1*}, Н. И. БЕРЕЗОВЫЙ², В. О. БАЛАНОВ³, В. В. ЖУРАВЕЛЬ^{4*}

^{1*}Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 371 51 09, эл. почта kozachenko@upr.dit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

²Каф. «Станции и узлы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 371 51 03, эл. почта niber07@mail.ru, ORCID 0000-0001-6774-6737

³Каф. «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 vladimir.balanov@mail.ru, ORCID 0000-0002-6137-3420

^{4*}Каф. «Станции и узлы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (067) 957 51 36, эл. почта zhuravel72@mail.ru, ORCID 0000-0001-7338-4584

РЕЗЕРВЫ ВРЕМЕНИ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ ПО РАСПИСАНИЮ

Цель. Статья посвящена разработке методов оценки величины резервов времени, которые должны закладываться в график движения поездов и график оборота грузовых составов, необходимых для обеспечения устойчивого взаимодействия технологических процессов работы промышленных предприятий и железных дорог, при перевозке грузов по расписанию. **Методика.** В работе рассмотрены вопросы организации перевозки массовых грузов между промышленными предприятиями по расписанию. Для того, чтобы обеспечить поступление поездов на станции назначения к заданному моменту времени, графики оборота составов должны иметь резервы времени. Эти резервы, в свою очередь, должны быть достаточными для парирования воздействия дестабилизирующих факторов. Для исследования качества выполнения графика движения отдельными поездами использованы методы математической статистики. В настоящее время движение основной части грузовых поездов осуществляется при их готовности, а процессы занятия отдельных ниток графика определенными составами не фиксируются. Поэтому анализ графиков исполненного движения грузовых поездов не позволяет получить материал для исследования. Авторами, ввиду отсутствия статистического материала по пунктуальности выполнения графика движения грузовыми поездами, были выполнены исследования движения пассажирских поездов с последующим распространением результатов на грузовое движение. **Результаты.** Исследованием доказано, что прибытие поездов на станции назначения в соответствии с графиком должно обеспечиваться за счет установления допустимой величины опоздания, а также увеличения времени хода поездов и межпоездных интервалов. Предложены значения дополнительных резервов времени, которые должны закладываться в график движения поездов и график оборота грузовых составов, для обеспечения условного взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий Украины. **Научная новизна.** На основании выполненных исследований усовершенствованы методы разработки графиков оборота составов поездов, обеспечивающих перевозку грузов по расписанию. **Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы для технико-экономических расчетов эффективности перехода промышленных предприятий на обслуживание по расписанию, а также при разработке графиков движения на начальных этапах опробования технологии.

Ключевые слова: движение поездов по расписанию; резерв времени; расписание; график движения поездов; опоздание поезда

Введение

Переход Украины к рыночной экономике вызвал значительные изменения в условиях эксплуатации железнодорожного транспорта. Работа в условиях конкуренции с автомобильным транспортом, задекларированный в проекте Закона Украины «О железнодорожном

транспорте» выход на магистральную сеть независимых перевозчиков требует совершенствования логистических технологий перевозок с участием железнодорожного транспорта.

Одной из проблем работы современного железнодорожного транспорта Украины является низкая скорость доставки грузов, составляющая порядка 10 км/ч и высокая неравномерность

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

перевозок. Решение данной проблемы может быть достигнуто за счет развития технологии перевозки грузов по расписанию на основе твердых ниток графика [5].

Технология отправления грузовых поездов по расписанию широко используется на железных дорогах Северной Америки и Европейского Союза. Так в США постоянным расписанием охвачено порядка 80 % вагонопотока. В частности, организовано движение поездов, перевозящих скоропортящиеся и другие ценные грузы с минимальным сроком доставки. Время доставки определяется по графику прибытия на конечную станцию.

На железных дорогах Канады действует постоянное расписание движения грузовых поездов, в котором отдельные «нитки» могут сниматься при отсутствии грузов или в целях оказания технологических «окон» для проведения ремонтных работ, а также при возникновении каких-либо сбоев в движении поездов.

Отправление поездов по расписанию широко практикуется в странах Европейского Союза, где реализован принцип вертикального разделения рынка железнодорожных перевозок и недискриминационного доступа перевозчиков на инфраструктуру железнодорожного транспорта. Для согласования потребностей различных перевозчиков выполняется процедура распределения пропускной способности. При этом перевозчики проводят свои поезда по выделенным ниткам графика.

В Российской Федерации реализуется «Комплексная программа поэтапного перехода на организацию движения грузовых поездов по расписанию на 2011–2015 гг.». В соответствии с этой программой движением по твердым ниткам должно быть охвачено 80 % поездов.

В чем же причины отклонения движения грузовых поездов от графика?

Анализ выполнения графика в грузовом движении представлен в [2]. В соответствии с результатами анализа только 30 % поездов имеют отклонение времени движения по участку до 5 %, 30 % поездов – 5–15 %, и 40 % поездов – более 15 %.

Отклонение фактического времени движения от графикового имеет ряд причин. Во-первых, при разработке графика движения поездов в качестве исходных данных принимаются расчетные параметры поездных локомотивов

и составов. Отклонение фактических параметров локомотивов и составов от расчетных, индивидуальные особенности машинистов приводят к изменению времени движения поездов. Во-вторых, в грузовом движении практикуется стимулирование машинистов за экономию топлива и электроэнергии. В этой связи, при наличии резервов пропускной способности, осуществляется оптимизация режима движения поезда по показателю расхода энергии, что приводит к увеличению на 5–30 % времени их следования [8]. И, наконец, увеличение времени движения грузовых поездов происходит из-за сбоев в работе технического, технологического и другого характера.

Необходимо отметить, что выполнение графика движения грузовыми поездами в Украине, так же как и в других странах – участницах Содружества, можно оценить только в пределах отдельных участков ввиду отсутствия нормативов точности выполнения времени их следования от станции отправления до станции назначения [6]. В то же время в странах, где практикуется отправление грузовых поездов по расписанию, такие нормативы установлены. Например, предельно допустимое опоздание графикового грузового поезда в Дании составляет 10 мин, Германии – 30 мин [14].

Таким образом, процесс перевозок объективно подвержен воздействию значительного числа случайных факторов. В этой связи, обеспечение движения поездов по расписанию требует применения специальных методов, в том числе и на этапе разработки графиков движения поездов, оборота локомотивов и составов.

В соответствии с «Инструкцией по составлению графика движения поездов на железных дорогах Украины» [11] одним из действенных методов повышения эффективности использования тяговых средств, коренного улучшения условий труда локомотивных бригад является пропуск стабильной части (ядра) поездопотока по графику. Инструкция [11] содержит описание методики выделения ядра графика и обеспечения этого ядра локомотивами. Однако, методы обеспечения движения поездов по запланированным ниткам в [11] не представлены.

В Российской Федерации действует «Инструкция по организации поездной работы при отправлении грузовых поездов по твердым ниткам графика» [10]. В соответствии с этим

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

документом обеспечение выполнения графика движения достигается за счет дополнительных резервов времени хода. Так для обеспечения пропуска грузовых поездов дифференцированного веса (в том числе тяжеловесных) по одним и тем же ниткам с поездами унифицированного веса, а также для устойчивого выполнения графика движения поездов в соответствии с [10] необходимо предусматривать следующие резервы времени:

- к расчетному перегонному времени хода поездов в размере 3–5 %;
- на последнем перегоне участка работы локомотивных бригад для всех грузовых поездов в размере 2–4 мин;
- для исключения передачи опозданий от одних поездов другим (в виде увеличения расчетных межпоездных интервалов либо периодов графика на ограничивающих перегонах до 2 мин).

В целом, предлагаемые в [11] и [10] мероприятия позволяют организовать грузовые перевозки таким образом, что преимущественная часть локомотивов может быть закреплена за определенными нитками графика. Это дает возможность повысить показатели использования локомотивов и локомотивных бригад. При этом вопросы качества обслуживания клиентов в [11] и [10] не рассматриваются.

Методы обеспечения пунктуальности железнодорожных перевозок представлены в [4]. При этом, прибытие поезда на станцию назначения в соответствии с графиком обеспечивается за счет внесения в график разнообразных резервов времени:

- определения допустимого времени опоздания (см. выше);
- искусственного увеличения времени движения;
- создания дополнительного интервала времени с предшествующим поездом.

Международный союз железных дорог в [15] рекомендует определять добавки к времени движения следующим образом: 1 мин на 100 км плюс 3 % времени движения или 3 мин на 100 км, или 4 мин времени движения. В отдельных странах применяются другие нормативы. Так в Нидерландах [13] при разработке графика движения максимально допустимая скорость грузовых поездов принимается меньшей на 5 км/ч от возможной, а рассчитанное

время хода поездов увеличивается на 5 %. В качестве дополнительного резерва времени учитывается и то, что график движения рассчитывается на максимальную массу поезда. В этих условиях для поездов меньшей массы есть возможность сокращения продолжительности разгонов и торможений. В Швейцарии устанавливается добавка ко времени хода в размере 11 %. В Великобритании величины добавок к времени хода не имеют постоянных значений и устанавливаются на основании анализа работы за предшествующий период.

Задачи выбора оптимальных параметров резервов времени, закладываемых в график движения, решаются на основании методов статистического анализа работы сети и имитационного моделирования [9].

В связи с формированием парка частных вагонов, резкого различия в техническом состоянии вагонов различных операторов на железнодорожной сети Украины организовалось значительное количество кольцевых перевозок грузов, когда вагоны движутся от грузоотправителя к грузополучателю и назад под следующую загрузку. Примерами таких перевозок являются доставка железорудного сырья из Полтавского ГОК в транспортный узел ТИС [1], доставка трубной заготовки из Металлургического завода «ИНТЕРПАЙП СТАЛЬ» на трубопрокатный завод «НИКО ТЬЮБ» [7], перевозка транзитных грузов от пограничных станций в морские порты и др. При этом, согласование технологических процессов предприятий и железнодорожной перевозки за счет организации движения грузовых поездов по расписанию и доставки грузов «точно в срок» рассматривается как метод повышения эффективности использования вагонов, снижения запасов сырья, уменьшения резервов погрузо-разгрузочных мощностей и, как результат, уменьшения общих логистических затрат.

Организация грузовых перевозок по расписанию будет актуальной также и при монополизации рынка железнодорожных перевозок. Директивы ЕС требуют допуска на рынок независимых перевозчиков. Наличие на рынке таких перевозчиков предусматривается проектом Закона Украины «О железнодорожном транспорте». При этом выход на магистральную инфраструктуру поездов с частными локомотивами должен будет осуществляться в соответст-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

вии с выделенными для них нитками графика. Отсутствие же у независимых перевозчиков значительных резервов локомотивов будет требовать повышения качества прогнозирования прибытия поездов на станции оборота.

Таким образом, в настоящее время есть потребность экономики страны в организации железнодорожных перевозок грузов по расписанию от станции отправления до станции назначения. В то же время, методы разработки графиков движения в Украине и государствах Содружества отсутствуют. Методы, которые используются в государствах Европейского Союза и Северной Америки, также не могут напрямую быть перенесены для условий Украины ввиду значительного различия в системе организации движения, массе поездов и др.

В этой связи, в настоящее время актуальной задачей является разработка методов построения графиков оборота грузовых составов, в частности определения резервов, закладываемых в график движения поездов и оборота составов, необходимых для обеспечения устойчивости технологических процессов работы промышленных предприятий и железных дорог в условиях вероятных сбоев в работе железной дороги. В частности, такая методика необходима для решения задач технико-экономического обоснования перехода предприятий на обслуживания по расписанию.

Цель

Целью статьи является разработка методов оценки величины резервов времени, которые должны закладываться в график движения поездов и график оборота грузовых составов, необходимых для обеспечения устойчивого взаимодействия технологических процессов работы промышленных предприятий и железных дорог при перевозке грузов по расписанию.

Методика

Работа железнодорожного транспорта подвержена влиянию значительного количества случайных факторов. Для того чтобы обеспечить поступление поездов на станции назначения к заданному моменту времени графики оборота составов должны иметь резервы времени, достаточные для парирования воздействия дестабилизирующих факторов. Резервы

могут быть двух видов. Часть резерва должна быть предусмотрена в графике движения, а часть – на станции назначения от момента прибытия поезда в соответствии с графиком движения до момента начала технологических операций с его вагонами и локомотивом. При этом недостаточные величины резервов могут вызывать сбои в технологических процессах предприятий, конфликтные ситуации при занятии перегонов и значительные вторичные задержки. Излишние резервы вызывают ухудшение показателей использования локомотивов, локомотивных бригад, вагонов, станционных путей, а также падение пропускной способности перегонов.

Процессы, происходящие на железнодорожном транспорте, носят стохастичный характер. В этой связи для исследования показателей качества выполнения графика движения поездов использовались методы математической статистики [3]. Исходный материал для статистической обработки получен на основании наблюдения реальных процессов функционирования железнодорожного транспорта.

В настоящее время движение основной части грузовых поездов осуществляется по готовности и процессы занятия отдельных ниток графика определенными составами не фиксируются. Точное соблюдение графика движения не является целью оперативного управления грузовыми перевозками. Поэтому анализ графиков исполненного движения грузовых поездов не позволяет получить материал для исследования. В то же время, отправление пассажирских поездов и проследование ими станций осуществляется строго в соответствии с расписанием. Особенности пассажирских перевозок, по сравнению с грузовыми, является жесткая подвязка локомотивов под поезда, работа локомотивных бригад по именным расписаниям, контроль продвижения поездов диспетчерским аппаратом с организацией мероприятий по приоритетному пропуску пассажирских поездов и нагону ими времени отставания. В пассажирских службах ведется работа по фиксации случаев отклонения пассажирских поездов от графика, их классификации и анализу. Ввиду общности процессов выполнено исследование задержек пассажирских поездов для последующего распространения выводов и на грузовое движение.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Результаты

На основании консультаций с инженерами-графистами установлено, что для обеспечения выполнения графика движения пассажирских поездов при его составлении закладывается резерв времени хода, равный 4 минутам на 100 км, что соответствует увеличению времени хода поездов около 5 %.

Исходные данные по задержкам получены на основании обработки результатов анализа графика движения пассажирских поездов пассажирской службы Приднепровской железной дороги за 2012–2013 гг. В процессе этого анализа фиксируется номер поезда, место, момент возникновения и продолжительность задержки, а также служба, по вине которой задержка возникла и описание причины задержки.

В течение рассматриваемого периода времени по Приднепровской дороге проследовало 86 446 пассажирских поездов, из которых 941 проследовали с отклонением от графика движения. В этой связи частота задержки поездов может быть определена как

$$p_3^* = \frac{n_3}{n_{\text{общ}}},$$

где n_3 , $n_{\text{общ}}$ – число пассажирских поездов, проследовавших с задержкой и общее число поездов соответственно.

Продолжительность задержки поезда представляет собой случайную величину. Минимальное фиксируемое значение задержки составляет 1 мин, максимальное зафиксированное – 723 мин.

Основными причинами возникновения задержек пассажирских поездов являются полные отказы устройств пути, энергоснабжения, СЦБ, поездных локомотивов и вагонов, их частичные отказы, выражающиеся в ограничении скорости, выполнение работ по ремонту и обслуживанию инфраструктуры, ошибки персонала, несанкционированное вмешательство в работу железнодорожного транспорта, чрезвычайные ситуации техногенного и природного характера, а также вторичные задержки из-за задержек других поездов в потоке.

В процессе учета задержек пассажирских поездов они относятся на различные службы в соответствии с причинами возникновения.

В табл. 1 выполнена группировка задержек по различным службам.

Таблица 1

Table 1

Группировка задержек по причинам возникновения

Delays group for occurrence reasons

Причина	Число задержек	Продолжительность, мин		
		Максимальная	Минимальная	Средняя
Служба локомотивного хозяйства	209	308	1	75,2
Служба пути	155	162	1	20,6
Служба энергоснабжения	149	343	2	75,6
Другие	142	723	1л	92,3
УЗШК	126	226	1	13,1
Служба сигнализации и связи	69	85	2	21,2
Служба вагонного хозяйства	44	153	4	57,0
Служба пассажирского хозяйства	32	160	5	40,2
Служба перевозок	15	138	6	26,7

Анализ табл. 1 показывает, что наибольшее количество задержек приходится на службы локомотивного хозяйства, пути и энергоснабжения. На долю этих служб приходится более 54 % задержек. Значительное количество задержек связано с работой «Украинской железнодорожной скоростной компании» (УЗШК). При этом 96 этих задержек возникло с двумя составами УЗШК, что связано с их опытной эксплуатацией. В этой связи задержки составов УЗШК из анализа исключены.

Наибольшие по продолжительности задержки отнесены к категории «Другие» и связаны со стихийными бедствиями, ДТП на переездах, несанкционированным вмешательством

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

в работу железнодорожного транспорта и т.п. Эти задержки, как правило, носят разовый, неповторяющийся характер. В этой связи дальнейшего анализа величины задержек использовались 95 % выборки.

Гистограмма и функция плотности распределения случайной величины задержки представлена на рис. 1.

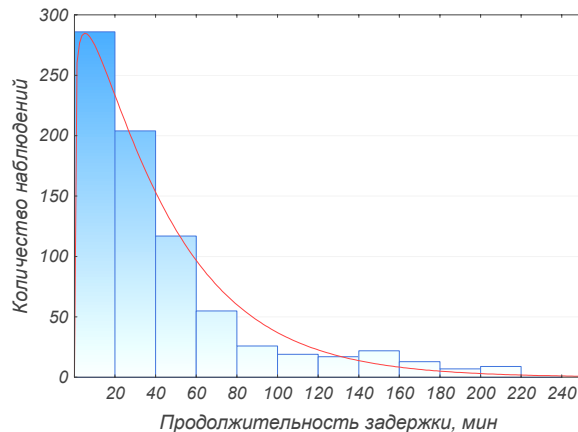


Рис. 1. Гистограмма и функция плотности распределения случайной величины задержки поезда

Fig. 1. Histogram and density function of the random variable distribution of trains delays

В целом, по результатам исследования сделаны выводы о том, что комплекс мероприятий, используемых в пассажирском движении, позволяет обеспечить выполнение графика движения с вероятностью 0,99. С вероятностью 0,01 поезд следует с задержкой. Статистический анализ показал, что случайная величина задержки имеет закон распределения близкий к показательному. При этом математическое ожидание величины задержки составляет $\bar{t}_3 = 43,9$ мин.

Выполненные исследования позволяют установить необходимые резервы времени для обеспечения устойчивых перевозок. Добавление резервов к времени хода в размере 4 мин на 100 км (что соответствует увеличению времени хода на 3–5 %), позволяет обеспечить выполнение графика движения пассажирских поездов при отсутствии отказов технических средств и ошибок персонала. Опоздание прибытия поездов в пункт назначения при этом происходит с частотой, близкой к 1 на 100 поездов. Необ-

ходимо отметить, что график движения пассажирских поездов разрабатывают на их максимальную массу. В этой связи пассажирские поезда, обладающие меньшей массой, имеют некоторый дополнительный резерв времени за счет разгонов и замедлений. При организации движения грузовых поездов между предприятиями их масса существенно изменяться не будет, что ограничивает возможность нагона опоздания. Поэтому резервы времени для грузовых поездов целесообразно увеличить до 5–7 % от времени хода.

При необходимости повышения качества выполнения графика движения поездов и парирования большей части отказов в пунктах назначения могут создаваться дополнительные резервы времени. Величина резерва может быть установлена из выражения

$$t_p = -\bar{t}_3 \ln \frac{n_{дз}}{Np_3^*}, \quad (1)$$

где $n_{дз}$ – допустимое количество поездов, прибывающих к началу технологических операций на предприятии с опозданием; N – общее число поездов, следующих по маршруту в течение года.

При организации движения поездов между предприятиями по расписанию время нахождения на них вагонов определяется как разница между моментами отправления и прибытия. Это время включает резерв времени от момента прибытия до начала технологических операций $t_{рп}$, собственно продолжительность технологических операций на предприятии $t_{то}$ и резерв времени от момента окончания технологических операций до отправления $t_{ро}$. Величина выделенного резерва времени $t_{рп}$ позволяет определить ожидаемое число поездов, поступающих на предприятие с опозданием

$$n_{оп} = Np_3^* e^{-t_p / \bar{t}_3}. \quad (2)$$

Анализ задержек пассажирских поездов показывает, что в процессе перевозок могут возникать значительные отклонения движения поездов от графика. Так в 2012–2013 году наблюдались задержки, которые превышали 12 часов. Создание резервов времени для предотвращения таких задержек является экономически необоснованным.

Если, аналогично железным дорогам Герма-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

нии [14], на железных дорогах Украины установить допустимое время опоздания в 30 мин, то при размерах движения между предприятиями в один поезд в сутки, можно ожидать не более двух опозданий в год (1,85 поездов). Сокращение количества задержанных поездов до одного в год требует увеличения резерва времени до 60 мин. Это не является рациональным ввиду появления дополнительного простоя локомотивов в 30 мин.

Для предотвращения влияния на поезд, движущийся по расписанию предшествующих поездов, целесообразно предусматривать увеличенный межпоездной интервал. Значение данного увеличения может быть принято равным 2 мин [10].

При организации перевозок грузов по расписанию на железной дороге и предприятиях также должны быть разработаны мероприятия, направленные на устранение последствий прибытия вагонов позже установленного срока. К таким мероприятиям могут относиться интенсификация производственных процессов за счет перераспределения технических средств, создание запасов сырья и переключение части грузопотока на автомобильный транспорт в период выполнения ремонтов инфраструктуры, возмещение потерь предприятиям в виде штрафов за несвоевременную доставку и др.

Научная новизна и практическая значимость

На основании выполненных исследований усовершенствованы методы разработки графиков оборота составов поездов, обеспечивающих перевозку грузов по расписанию. Полученные результаты могут быть использованы для технико-эксплуатационных расчетов эффективности перехода промышленных предприятий на обслуживание их по расписанию, а также при разработке графиков движения на начальных этапах опробования технологии.

Выводы

1. Для обеспечения прибытия поездов, следующих по расписанию, на станции назначения «точно в срок» в график движения должны быть внесены резервы времени для уменьшения влияния случайных факторов на процесс перевозок. Для железных дорог Украины целе-

сообразно установить добавку времени ко времени следования в размере 5–7 %, увеличить межпоездной интервал перед поездом, следующим по расписанию на 2 мин, установить допустимое время опоздания на станцию назначения 30 мин.

2. Полученные результаты могут быть использованы для технико-экономических расчетов эффективности перехода промышленных предприятий на обслуживание их по расписанию, а также при разработке графиков движения на начальных этапах опробования технологии. После накопления статистического материала по результатам перевозок грузов по расписанию предлагаемые значения резервов времени могут быть уточнены.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Березовый, Н. И. Перевозка металлургической продукции кольцевыми маршрутами по расписанию с использованием частных локомотивов / Н. И. Березовый // Восточно-Европ. журн. передовых технологий. – 2014. – № 2 (3). – С. 51–55.
2. Бородин, А. Ф. О ходе работы «Переход на новую технологию управления движением поездов по расписанию на опытных полигонах» в рамках приоритетного направления «Разработка технологии эксплуатационной деятельности холдинга «РЖД», обеспечивающей достижение целевых экономических параметров на базе процессных моделей» / А. Ф. Бородин // Бюллетень Объед. ученого совета ОАО «РЖД». – 2011. – № 6. – С. 3–21.
3. Верлан, А. И. Совершенствование методов стимулирования отправительской маршрутизации на железнодорожном транспорте / А. И. Верлан // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 1 (49). – С. 75–85.
4. Инструкция по организации поездной работы при отправлении грузовых поездов по твердым ниткам графика. – Москва : РЖД, 2011. – 198 с.
5. Інструкція зі складання графіків руху поїздів на залізницях України. – Київ : Транспорт України, 2002. – 148 с.
6. Козаченко, Д. Н. Исследование потребности в вагонном парке для обеспечения перевозок массовых грузов по расписанию / Д. Н. Козаченко // Зб. наук. пр. ДонІЗТ. – Донецьк, 2013. – № 35. – С. 11–16.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

7. Козаченко, Д. Н. Исследование эффективности организации перевозок металлургических грузов по расписанию / Д. Н. Козаченко // Проблемы и перспективы развития трансп. систем и строит. комплекса : материалы III междунар. науч.-практ. конф. (17.10 – 18.10.2013) / Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2013. – С. 25–27.
8. Корецкая, С. А. Необходимость внедрения логистики в связи с реформированием железнодорожного транспорта в Украине / С. А. Корецкая // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007 – Вип. 18. – С. 206–208.
9. Папахов, А. Ю. Обоснование движения поездов на направлениях по согласованным расписаниям / А. Ю. Папахов, В. В. Хлонникова // Тр. РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2013. – № 2 (23). – С. 76–80.
10. Тимошек, И. Н. Поиск и реализация практических рекомендаций, обеспечивающих наименьшие энергозатраты на тягу поездов / И. Н. Тимошек, В. Н. Зубков // Вестн. ВНИИЖТа. – 1997. – № 4. – С. 40–43.
11. Цуцков, Д. В. Выбор оптимальных технологических параметров организации перевозочного процесса с использованием твердых ниток графика / Д. В. Цуцков // Тр. ВНИИАС. – Москва, 2005. – № 3. – С. 66–75.
12. Kroon, L. G. Cyclic Railway Timetabling: A Stochastic Optimization Approach, Railway Optimization 2004 / L. G. Kroon, R. Dekker, M. J. C. M. Vromans // Lecture Notes in Computer Science. – 2007. – Vol. 4359. – P. 41–66. doi: 10.1007/978-3-540-74247-0_2.
13. Landex, A. Reliability of Railway Operation / A. Landex // Proc. from the Annual Transport Conf. at Aalborg University. – Denmark, 2013. – P. 63–81.
14. Schittenhelm, B. Planning with Timetable Supplements in Railway Timetables / B. Schittenhelm // Proc. from the Annual Transport Conf. at Aalborg University. – Denmark, 2011. – P. 47–61.
15. Timetable recovery margins to guarantee timekeeping. UIC CODE 451-1 OR. Union International des Chemins de fer. Recovery margins, 4th Ed. – Paris, UIC, 2000. – 17 p.

Д. М. КОЗАЧЕНКО^{1*}, М. І. БЕРЕЗОВИЙ², В. О. БАЛАНОВ³, В. В. ЖУРАВЕЛЬ^{4*}

^{1*}Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 09, ел. пошта kozachenko@upr.diit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

²Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 03, ел. пошта niber07@mail.ru, ORCID 0000-0001-6774-6737

³Каф. «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 vladimir.balanov@mail.ru, ORCID 0000-0002-6137-3420

^{4*}Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (067) 957 51 36, ел. пошта zhuravel72@mail.ru, ORCID 0000-0001-7338-4584

РЕЗЕРВИ ЧАСУ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ ВАНТАЖНИХ ПОЇЗДІВ ЗА РОЗКЛАДОМ

Мета. Стаття присвячена розробці методів оцінки величини резервів часу, які повинні закладатися в графік руху потягів і графік обороту вантажних составів, необхідних для забезпечення стійкої взаємодії технологічних процесів роботи промислових підприємств та залізниць при перевезенні вантажів за розкладом. **Методика.** У роботі розглянуті питання організації перевезення масових вантажів між промисловими підприємствами за розкладом. Для того, щоб забезпечити надходження поїздів до станції призначення в заданий момент часу, графіки обороту составів повинні мати резерви часу. Ці резерви, в свою чергу, повинні бути достатніми для парирования впливу дестабілізуючих факторів. Для дослідження якості виконання графіка руху окремими поїздами використані методи математичної статистики. В даний час рух основної частини вантажних поїздів здійснюється при їх готовності, а процеси заняття окремих ниток графіка певними складами не фіксуються. Тому аналіз графіків виконаного руху вантажних поїздів не дозволяє отримати матеріал для дослідження. Авторами, зважаючи на відсутність статистичного матеріалу з пунктуальності ви-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

конання графіка руху вантажними поїздами, були виконані дослідження руху пасажирських поїздів із наступним поширенням результатів на вантажний рух. **Результати.** Дослідженням доведено, що прибуття поїздів на станції призначення згідно з графіком має забезпечуватися за рахунок встановлення допустимої величини запізнення, а також збільшення часу ходу поїздів та міжпоїздних інтервалів. Запропоновані значення додаткових резервів, які повинні закладатися в графік руху поїздів та графік обороту вантажних составів, для забезпечення умовної взаємодії залізниць і промислових підприємств України. **Наукова новизна.** На підставі виконаних досліджень удосконалено методи розробки графіків обороту составів поїздів, що забезпечують перевезення вантажів за розкладом. **Практична значимість.** Отримані результати можуть бути використані для техніко-економічних розрахунків ефективності переходу промислових підприємств на обслуговування за розкладом, а також при розробці графіків руху на початкових етапах випробування технології.

Ключові слова: рух поїздів за розкладом; резерв часу; розклад; графік руху поїздів; запізнення поїзда

D. M. KOZACHENKO^{1*}, M. I. BEREZOVYI², V. O. BALANOV³, V. V. ZHURAVEL^{4*}

^{1*}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) 371 51 09, e-mail kozachenko@upr.diiit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

²Dep. «Station and Units», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 371 51 03, e-mail niber07@mail.ru, ORCID 0000-0001-6774-6737

³Dep. «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, vladimir.balanov@mail.ru, ORCID0000-0002-6137-3420

^{4*}Dep. «Stations and Nodes», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 957 51 36 e-mail zhuravel72@mail.ru, ORCID 0000-0001-7338-4584

TIME RESERVES DURING THE ORGANISATION OF FREIGHT TRAIN MOVEMENT ON SCHEDULE

Purpose. The article is devoted to the development of estimation methods of time reserves that should be formed at the train schedule and the schedule for the turnover of freight trains, required to ensure the sustained interaction of technological processes of industrial enterprises and railways for the transportation of freight on schedule.

Methodology. The paper considers the issues of bulk conveyance organization between industrial enterprises on schedule. In order to ensure the arrival of trains at the destination station to the specified time, the schedules of rolling stocks turnover must have some time reserves. These reserves, in their turn, should be sufficient for correction action of destabilizing factors. The methods of mathematical statistics were used to study the schedule performance quality of separate trains. Currently the movement of the main part of freight trains is performed on preparedness and occupation processes of separate schedule train paths by some depots are not fixed. Therefore, the analyses of the schedule performance of freight trains do not allow receiving the material for research. And, due to the lack of statistical material on the punctuality of the schedule for the movement of freight trains, research of the passenger trains movement with subsequent dissemination of results on freight movement were carried out by the authors.

Findings. The research proved that the trains arrival at the destination station according to the schedule should be ensured by permissible rating of delay as well as increase the operating time of trains and running intervals. The values of the additional time reserves that should be included in the schedule of trains, and the schedule for the turnover of freight trains to provide conditional interaction of railroads and industrial enterprises in Ukraine were proposed. **Originality.** On the basis of the research development graph methods of trains turnover, providing transportation of goods on schedule were improved. **Practical value.** The obtained results can be used for the technical-and-economic calculations of transition effectiveness of industrial enterprises for maintenance on schedule as well as in the development of schedule on the initial stages of testing technology.

Keywords: scheduled train operation; time reserve; schedule; train schedule; train delay

REFERENCES

1. Berezovyy N.I. Perevozka metallurgicheskoy produktsii koltsevymi marshrutami po raspisaniyu s ispolzovaniyem chastnykh lokomotivov [Transportation of steel products of circular routes on schedule using private locomotives]. *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2014, no. 2 (3), pp. 51–55.
2. Borodin A.F. O khode raboty «Perekhod na novuyu tekhnologiyu upravleniya dvizheniyem poyezdov po raspisaniyu na opytnykh poligonakh» v ramkakh prioritetnogo napravleniya «Razrabotka tekhnologii ekspluatatsionnoy deyatelnosti kholdinga «RZhD», obespechivayushchey dostizheniye tselevykh ekonomicheskikh parametrov na baze protsessnykh modeley» [About the work «Transition to a new technology to control the movement of trains scheduled in the experimental stations» within the framework of priority «Development of operational activity technology of the holding company «Russian Railways» for achieving the special-purpose economic parameters on the basis of process models»]. *Byulleten Obedinennogo uchenogo soveta OAO «RZhD»* [Bulletin of the United Scientific Council of JSC «Russian Railways»], 2011, no. 6, pp. 3–21.
3. Verlan A.I. Sovershenstvovaniye metodov stimulirovaniya otpravitskoy marshrutizatsii na zheleznodorozhnom transporte [Simulation methods improvement of exit route on railway transport]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnogo universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 1 (49), pp. 75–85.
4. *Instruktsiya po organizatsii poyezdnoy raboty pri otpravlenii gruzovykh poyezdov po tverdym nitkam grafika* [The instruction about the train work organization during sending freight trains on hard train pathes]. Moscow, RZhD Publ., 2011. 198 p.
5. *Instruktsiia zi skladannia hrafikiv rukhu poizdiv na zaliznytsiakh Ukrainy* [Instructions for scheduling the movement of trains on the Railways of Ukraine]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2002. 148 p.
6. Kozachenko D.N. Issledovaniye potrebnosti v vagonnom parke dlya obespecheniya perevozok massovykh gruzov po raspisaniyu [Research needs in car park to ensure transportation of bulk cargo on schedule]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Donetsk Institute of Railway Transport of Ukrainian State Academy of Railway Transport], 2013, no. 35, pp. 11–16.
7. Kozachenko D.N. Issledovaniye effektivnosti organizatsii perevozok metallurgicheskikh gruzov po raspisaniyu [Organization effectiveness study in transportation of metallurgical cargoes on schedule]. *Materialy III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Problemy i perspektivy razvitiya transportnykh sistem i stroitel'nogo kompleksa (17.10–18.10.2013)»* [Proc. of the IIIrd Intern. Sci. and Practical Conf. «Problems and prospects of development of transport systems and building complex»]. Gomel, BelGUT Publ., 2013, pp. 25–27.
8. Koretskaya S.A. Neobkhodimost vnedreniya logistiki v svyazi s reformirovaniyem zheleznodorozhnogo transporta v Ukraine [The need for implementation of logistics in connection with the reform of railway transport in Ukraine]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnogo universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 18, pp. 206–208.
9. Papakhov A.Yu., Khlonnikova V.V. Obosnovaniye dvizheniya poyezdov na napravleniyakh po soglasovannym raspisaniyam [The rationale for the movement of trains on the lines according to agreed schedules]. *Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Proc. of Rostov State University of Railway Engineering], 2013, no. 2 (23), pp. 76–80.
10. Timoshek I.N., Zubkov V.N. Poisk i realizatsiya prakticheskikh rekomendatsiy, obespechivayushchikh naimenshiye energozatraty na tyagu poyezdov [The search and implementation of recommendations to ensure the the lowest energy consumption for traction trains]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of All-Russian Research Institute of Railway Transport], 1997, no. 4, pp. 40–43.
11. Tsutskov D.V. Vybory optimalnykh tekhnologicheskikh parametrov organizatsii perevoznogo protsessa s ispolzovaniyem tverdyykh nitok grafika [The choice of the optimal technological parameters of the transportation process organization using solid lines of graphics]. *Trudy Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta avtomatiki i svyazi* [Proc. of All-Union Scientific Research Institute of Automation and Communication], 2005, no. 3, pp. 66–75.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

12. Kroon L.G., Dekker R., Vromans M.J.C.M. Cyclic Railway Timetabling: A Stochastic Optimization Approach, Railway Optimization 2004. *Lecture Notes in Computer Science*, 2007, vol. 4359, pp. 41-66. doi: 10.1007/978-3-540-74247-0_2.
13. Landex A. Reliability of Railway Operation. Proc. from the Annual Transport Conf. at Aalborg University. Denmark, 2013, pp. 63-81.
14. Schittenhelm B. Planning with Timetable Supplements in Railway Timetables. Proc. from the Annual Transport Conf. at Aalborg University. Denmark, 2011, pp. 47-61.
15. Timetable recovery margins to guarantee timekeeping. UIC CODE 451-1 OR. Union International des Chemins de fer. Recovery margins, 4th Ed. Paris, UIC, 2000. 17 p.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. И. Бобровским (Украина); д.т.н., проф. А. В. Лаврухиным (Украина)

Поступила в редколлегию 16.01.2015

Принята к печати 22.03.2015

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.423.3:621.3.025

О. Ю. БАЛІЙЧУК^{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 47, ел. пошта baliichukaleksei@mail.ru, ORCID 0000-0003-0119-1446

ТЕРМІН СЛУЖБИ ДОПОМІЖНИХ МАШИН ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ ЗМІННОГО СТРУМУ

Мета. В роботі необхідно проаналізувати підвищення працездатності допоміжних машин електропоїздів змінного струму серії EP9M при експлуатації в реальних умовах. **Методика.** Запропоновано інженерний метод із визначення відносного скорочення терміну служби асинхронних двигунів, обраних із певним проєктним запасом потужності, в нормальних експлуатаційних умовах та при зниженні показників якості живлячої електроенергії в бортових колах рухомого складу, що має місце при реальній експлуатації на ділянках Укрзалізниці. **Результати.** У результаті проведених автором досліджень встановлено, що тривала робота асинхронних двигунів, обраних із достатнім коефіцієнтом запасу потужності $k_z = 1,6$, при несиметрії живлячої напруги 16–20 % призводить до скорочення їх терміну служби на 9,5–33,2 % в залежності від типу двигуна. Цим доведено, що вибір допоміжних машин із більшим запасом потужності не є раціональним способом підвищення працездатності допоміжних машин на електропоїздах серії EP9M. Зроблені рекомендації стосовно впровадження симетро-компенсуючих та захисних пристроїв, побудованих на сучасній мікропроцесорній та мікроконтролерній елементній базі. Вони роблять неможливою роботу допоміжних машин при низькому рівні якості електричної енергії у бортових колах електропоїздів змінного струму в цілому та на електропоїздах серії EP9M зокрема. **Наукова новизна.** Вперше висвітлено питання аналітичного дослідження впливу якості живлячої енергії на термін служби допоміжних машин електропоїздів змінного струму серії EP9M через визначення відносного скорочення терміну служби допоміжних машин (в залежності від температури загального перегріву). Враховано вплив коефіцієнту запасу потужності двигуна на середній перегрів та процес нагрівання електричних машин в цілому. **Практична значимість.** Отримані в ході досліджень результати дозволяють критично оцінити існуючий захист допоміжних машин електропоїздів змінного струму та розробити рекомендації щодо впровадження комплексу організаційно-технічних заходів із підвищення працездатності допоміжних машин електропоїздів змінного струму серії EP9M.

Ключові слова: допоміжні машини; змінний струм; якість електричної енергії; термін служби; працездатність; коефіцієнт запасу

Вступ

Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення обумовлюються міждержавним стандартом ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в систе-

мах электроснабжения общего назначения» [4].

Аналіз спеціалізованих джерел виявив, що на сьогодні відсутні інші нормативні документи, якими б було обумовлено норми якості електричної енергії в колах власних потреб електрифікованого рухомого складу. Використання на рухомому складі як привідні двигуни допоміжних машин загальнопромислових асинх-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

ронних двигунів типу АИР, АОМ та ін. дозволяє зробити висновок про можливість застосування вказаного стандарту для оцінки якості електричної енергії в системах допоміжних машин.

Термін служби – це показник довговічності і відповідно до [3] являє собою календарну тривалість експлуатації від початку експлуатації об'єкта або її відновлення після ремонту до переходу в граничний стан. Він є одним із багатьох показників надійності допоміжних електричних машин на рухомому складі [2]. Разом із цим надійність електричної машини це така її властивість виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників в заданих межах, що відповідають заданим режимам і умовам використання, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання транспортування. Надійність є комплексною властивістю, яка залежно від призначення машини і умов її експлуатації може містити в собі безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, зберігаємість і працездатність [3].

Основним видом електродвигунів, що використовуються на електропоїздах змінного струму серії ЕР9М, є загальнопромислові асинхронні двигуни із короткозамкненим ротором [10]. Середній розрахунковий термін служби для таких двигунів складає не менше 15 років відповідно до [1], зазвичай 15–20 років.

Проте, значна кількість щорічних випадків заміни і капітальних ремонтів допоміжних машин говорить про те, що асинхронні двигуни не виробляють повністю свій проектний ресурс, їх термін служби складає менше 15 років.

Постає задача в оцінці впливу кількісних показників якості живлячої електричної енергії на термін служби асинхронного двигуна і розробці рекомендацій щодо вибору організаційно-технічних заходів з подовження терміну служби допоміжних машин електропоїздів змінного струму.

Мета

Метою цієї праці є підвищення працездатності допоміжних машин електропоїздів змінного струму серії ЕР9М під час роботи їх в реальних умовах експлуатації.

Методика

З точки зору на надійність і працездатність допоміжних електричних машин в системах електрорухомого складу змінного струму найбільш суттєвого впливу завдають:

- відхилення напруги δU_c (далі за текстом будемо позначати ΔU);
- коефіцієнт несиметрії напруги за зворотною послідовністю K_{2U} [4, 5, 6, 15].

Основними причинами скорочення терміну служби є пошкодження ізоляції обмоток статора АД. Ці ушкодження виникають внаслідок перегріву машини (температура перевищує гранично допустимі значення). Під впливом підвищеної температури з плином часу ізоляція старіє та втрачає свої властивості, що призводить до її пробію і відмови машини [11, 15, 16, 17].

В допоміжних машинах на електропоїздах змінного струму серії ЕР9М застосовується ізоляція класу В і F. Відповідно до [2] для цих класів нагрівостійкості ізоляції (нерухомих обмоток) передбачено такі гранично допустимі температури перегріву: В – 130 °С, F – 155 °С, Н – 180 °С.

У разі перевищення допустимих температур термін служби ізоляції різко зменшується за складним логарифмічним законом. Незначне перевищення температури понад допустиме значення призводить до суттєвого скорочення терміну служби ізоляційних матеріалів [7, 12, 13, 17].

Таблиця 1

Table 1

Гранично допустимі температури перегріву для класів ізоляції відповідно до [2]

The maximum permissible overheating temperatures for isolation classes in accordance with [2]

Вид ізоляції	Гранично допустимі температури перегріву відповідно до [2]		
	В	F	Н
Нерухомі обмотки	130	155	180

Причиною перевищення гранично допустимих температур ізоляції обмотки статора АД є не тільки перевантаження двигуна, в результаті чого збільшується струм, який споживає машина, а й якість живлячої її електричної енергії, зокрема несиметрія живлячої трифазної напруги та відхи-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

лення напруги від номінального значення [5, 6, 15, 16].

Для оцінки ступеня старіння ізоляції і відповідно скорочення терміну служби двигуна в [5, 6] застосовують поняття відносного скорочення терміну служби АД:

$$\Delta V_* \approx \beta \cdot \Delta \tau - \frac{1}{2} \beta^2 \cdot \Delta \tau^2 + \frac{1}{6} \beta^3 \cdot \Delta \tau^3, \quad (1)$$

де $\beta = \frac{\ln 2}{\Delta \theta} = \frac{0,693}{\Delta \theta}$ – коефіцієнт старіння ізоляції ($\Delta \theta$ для класу ізоляції В приймають рівним $\Delta \theta = 10^\circ\text{C}$); $\Delta \tau$ – додатковий нагрів АД.

Найбільше впливає на нагрівання обмоток статора АД серед всіх показників якості електричної енергії саме коефіцієнт несиметрії живлячої напруги [5, 6, 15, 16].

Додатковий нагрів від несиметрії живлячої напруги визначається із виразу:

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

де K_{2U} – коефіцієнт зворотної послідовності напруги, %; θ_1 – середнє перевищення температури обмотки статора асинхронного двигуна.

На електропоїздах змінного струму серії ЕР9М як допоміжні машини застосовуються асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором таких типів: для привода компресора – двигун ум. № 548; для привода насоса охоло-

дження трансформатора – 2ТТ 16/10-01, для привода вентиляторів пасажирських приміщень – АОМ 32-4; для привода вентилятора кабіни машиніста на головних вагонах – АОМ 22-2.

Використовуючи метод узагальненої теплової моделі [6, 16], розрахуємо середнє перевищення температури обмотки статора названих двигунів за умови їх роботи із номінальним навантаженням.

Результати розрахунку наведено в табл. 2.

Під час проектування рухомого складу рекомендують [8] обирати двигуни із запасом за потужністю 1,5...1,6. Таким чином вказані вище двигуни працюють із навантаженням меншим за номінальне і, відповідно при нормальних умовах повинні нагріватися в меншій мірі, у порівнянні із значеннями температур, наведеними в табл. 2. Перш за все це обумовлено тим, що коефіцієнт корисної дії двигуна, що працює, залежить від корисної механічної потужності на його валу. При малих навантаженнях ККД малий, а при більших – зростає [7, 9, 13, 14]. Відповідно змінюється чисельно величина втрат ΔP_1 , ΔP_2 , ΔP_3 .

Коефіцієнт навантаження являє собою відношення механічної потужності навантаження P_c до номінальної потужності двигуна $P_{\text{ном}}$,

$$\text{тобто } k_n = \frac{P_c}{P_{\text{ном}}}.$$

Таблиця 2

Table 2

Результати розрахунку середнього перевищення температури обмотки статора асинхронних двигунів в номінальному режимі методом узагальненої теплової моделі

The calculation results of the temperature average excess of the stator winding of asynchronous motors in nominal mode by means of the generalized thermal model

Тип двигуна	$P_{\text{ном}}$, кВт	$\eta_{\text{ном}}$	$D_{\text{ал}}$, см	l_1 , см	R_{11}	ΔP_1 , Вт	R_{12}	ΔP_2 , Вт	R_{13}	ΔP_3 , Вт	θ_1 , $^\circ\text{C}$
ум. № 548	5	0,81	36,8	13,5	0,05	586,42	0,03	293,21	0,03	234,57	49,08
2 ТТ 16/10-01	0,8	0,7	15,3	9	0,20	488,89	0,12	244,44	0,12	195,56	51,76
АОМ 32-4	1,5	0,7	14,5	9	0,21	321,43	0,12	160,71	0,12	128,57	102,41
АОМ 22-2	1,0	0,81	12	8,5	0,26	117,28	0,16	58,64	0,16	46,91	47,81

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Максимальне значення коефіцієнта корисної дії [9] при даному коефіцієнті навантаження k_n знайдемо із виразу:

$$\eta = \frac{k_n \cdot P_{\text{ном}}}{k_n \cdot P_{\text{ном}} + K + K^2 \cdot V_{\text{ном}}}, \quad (3)$$

де $K = p_{\text{ст}} + p_{\text{мех}}$ – постійні втрати потужності в двигуні; $V_{\text{ном}} = p_{\text{м1}} + p_2$ – номінальні змінні втрати потужності в двигуні.

Коефіцієнт запасу за потужністю k_3 являє собою відношення номінальної потужності двигуна $P_{\text{ном}}$ до механічної потужності навантаження P_c , тобто $k_3 = \frac{P_{\text{ном}}}{P_c}$. Як видно, коефіцієнт запасу взаємообернена величина до коефіцієнта навантаження $k_n = \frac{1}{k_3}$, тому можемо навести вираз для визначення ККД у вигляді:

$$\eta = \frac{\frac{1}{k_3} \cdot P_{\text{ном}}}{\frac{1}{k_3} \cdot P_{\text{ном}} + K + \left(\frac{1}{k_3}\right)^2 \cdot V_{\text{ном}}}. \quad (4)$$

При зміні коефіцієнта запасу буде змінюватись коефіцієнт корисної дії двигуна.

За (4) оцінимо зміну ККД двигуна при роботі із запасом потужності. Результати досліджень наведено в табл. 3.

На рис. 1 наведено залежності $\eta = f(k_3)$ для допоміжних машин електропоїздів ЕР9М. Як видно з рис. 1. та табл. 3, при проектному запасі потужності $k_3 = 1,6$ коефіцієнт корисної дії двигунів збільшується на 2,49 % для двигуна АОМ 22-2, на 3,94 % – для двигуна АОМ 32-4; на 2,63 % – для двигуна ум. № 548; на 3,54 % – для двигуна електронасоса 2ТТ 16/10-01.

Це пояснюється тим, що для двигунів малої потужності максимальне значення ККД на робочій характеристиці розташоване лівіше точки номінального режиму [9, 13, 14]. Тому при зменшенні потужності механічного навантаження двигуна на 40 % відбувається збільшення його коефіцієнта корисної дії і зменшення втрат в двигуні.

Таблица 3

Table 3

Коефіцієнт корисної дії асинхронних двигунів при роботі їх із коефіцієнтом запасу за потужністю k_3

The efficiency of asynchronous motors during working with their coefficient of power reserve k_3

k_3	Тип двигуна			
	АОМ 22-2	АОМ 32-4	Ум. № 548	2ТТ16/10-01
1,0	0,81	0,7	0,8	0,73
1,1	0,8167	0,70919	0,80697	0,73861
1,2	0,82171	0,71611	0,81218	0,74509
1,3	0,82538	0,72122	0,81601	0,74986
1,4	0,82798	0,72485	0,81871	0,75324
1,5	0,82971	0,72727	0,82051	0,7555
1,6	0,83072	0,72869	0,82157	0,75682
1,7	0,83113	0,72928	0,822	0,75737
1,8	0,83105	0,72917	0,82192	0,75726
1,9	0,83056	0,72847	0,8214	0,75661
2,0	0,82971	0,72727	0,82051	0,7555

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Визначимо середнє перевищення температури обмоток статора асинхронних двигунів при врахуванні коефіцієнта запасу за потужністю $k_3 = 1,5 \dots 1,6$. Для цього знову скористаємося методом узагальненої теплової моделі [6, 16]. В розрахунок замість номінальних потужності і коефіцієнта корисної дії підставимо їх дійсні значення,

що відповідають даному коефіцієнту k_3 .

В табл. 4 наведено результати дослідження впливу коефіцієнта запасу за потужністю $k_3 = 1,5$, а в табл. 5 наведено результати дослідження впливу запасу потужності $k_3 = 1,6$.

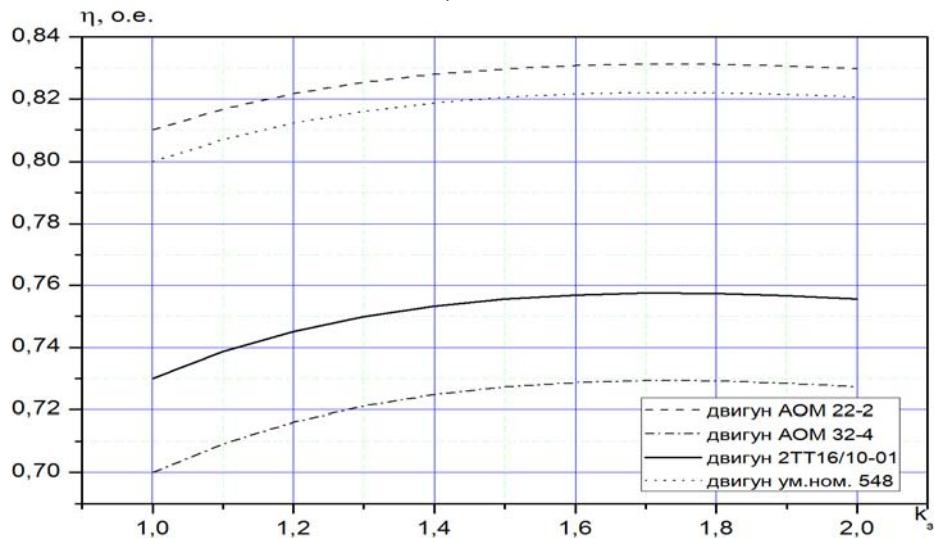


Рис. 1. Коефіцієнт корисної дії асинхронних двигунів при роботі їх із коефіцієнтом запасу за потужністю k_3

Fig. 1. The efficiency of induction motors during working with their coefficient of power reserve k_3

Таблиця 4

Table 4

Результати розрахунку середнього перевищення температури обмотки статора асинхронних двигунів при $k_3 = 1,5$

The calculation results of the temperature average excess of the stator winding of asynchronous motors when $k_3 = 1,5$

Тип двигуна	P, кВт	η	ΔP_1 , Вт	ΔP_2 , Вт	ΔP_3 , Вт	θ_1 , °C
ум. № 548	3,3	0,82051	360,94	180,47	144,38	30,21
2 ТТ 16/10-01	0,533	0,7555	86,25	43,12	34,50	26,04
АОМ 32-4	1,0	0,72727	187,5	93,75	75	59,74
АОМ 22-2	0,67	0,82971	68,76	34,38	27,50	28,03

Таблиця 5

Table 5

**Результати розрахунку середнього перевищення температури обмотки статора
асинхронних двигунів при $k_3 = 1,6$**

**The calculation results of the temperature average excess of the stator winding of asynchronous
motors when $k_3 = 1,6$**

Тип двигу- на	P, кВт	η	ΔP_1 , Вт	ΔP_2 , Вт	ΔP_3 , Вт	θ_1 , °C
ум. № 548	3,125	0,82157	360,94	180,47	144,38	28,40
2 ТТ 16/10-01	0,5	0,75682	86,25	43,12	34,50	24,26
АОМ 32-4	0,94	0,72869	187,5	93,75	75	55,76
АОМ 22-2	0,625	0,83072	68,76	34,38	27,50	25,96

Для порівняння ступеня нагріву допоміжних машин електропоїзда ЕР9М наведемо на рис. 2 гістограми середніх перевищень температур обмоток статора для кожного двигуна при трьох режимах навантаження ($k_3 = 1$; $k_3 = 1,5$; $k_3 = 1,6$).

Як видно з рис. 2, при збільшенні запасу потужності двигуна до $k_3 = 1,6$ перегрів його обмотки зменшується в 1,89 разу порівняно з режимом номінального навантаження, коли $k_3 = 1$.

Для допоміжних машин, що живляться від асинхронного фазорозщеплювача, на електропо-

їздах змінного струму серії ЕР9М в процесі експлуатації цілком нормальним є наявність несиметрії живлячої напруги більшої за гранично допустимі значення. Значення коефіцієнта несиметрії може досягати 10...20 % [16]. При таких значеннях коефіцієнта несиметрії можливим є значний перегрів обмоток статора навіть на двигунах, обраних із запасом потужності.

Визначимо додатковий нагрів обмотки статора асинхронних двигунів, обраних із запасом потужності, від несиметрії живлячої напруги.

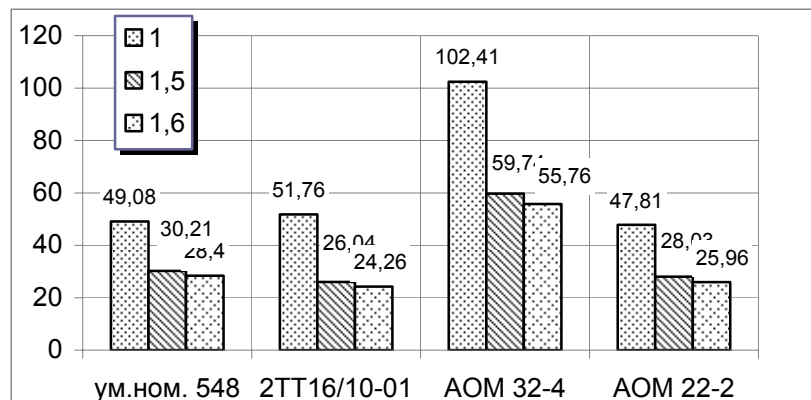


Рис. 2. Порівняння температур перегріву допоміжних машин електропоїзда ЕР9М для різних режимів навантаження

Fig. 2. Comparison of overheating temperature of auxiliary machines of electric ER9M for different load modes

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

При цьому основні припущення, на яких базується метод узагальненої теплової моделі, дозволяють розглядати складні явища теплових процесів, що відбуваються в асинхронних двигунах, як більш прості окремі, а їх результуючу дію можна оцінити, застосувавши метод накладення. Тоді, сумарний перегрів обмоток статора допоміжних машин електропоїзда ЕР9М отримуємо додаванням до кожного значення додаткового перегріву із табл. 6 значення середнього перегріву обмоток асинхронних двигунів, отриманих раніше (див. табл. 5). Результуючий перегрів наведено в табл. 7.

Варто розуміти, що навіть значне зниження якості живлячої енергії не зможе стати причиною миттєвого виходу з ладу допоміжних машин. Лише тривалий період роботи

цих машин, який можна порівняти із часом, що потрібний для досягнення всіма тепловими процесами в машині усталеного стану, в мережі з низькою якістю електричної енергії призводить до теплового старіння ізоляційних матеріалів і, відповідно, скорочення строку її служби.

Як видно з табл. 7, можливим є такий режим живлення допоміжних машин електропоїздів змінного струму, коли температура перегріву частин двигунів перевищить гранично допустимі межі, які наведено в табл. 1. Причому для всіх розглянутих двигунів, крім двигуна типу АОМ 32-4 такий режим настає при коефіцієнті несиметрії живлячої напруги 12 %, а для двигуна АОМ 32-4, гранична межа настає вже при 6 %.

Таблиця 6

Table 6

Додатковий перегрів °C асинхронних двигунів із $k_s = 1,6$ від несиметрії живлячої напруги

Additional overheating °C of asynchronous motors with $k_s = 1,6$ from the supply voltage asymmetry

Тип електродвигуна	Коефіцієнт несиметрії, %					
	0	2	4	6	8	10
ум. № 548	0	2,272146	9,088584	20,44931	36,35433	56,80365
2ТТ-16/10-01	0	1,94051	7,762038	17,46459	31,04815	48,51274
АОМ 32-4	0	4,460513	17,84205	40,14462	71,36821	111,5128
АОМ 22-2	0	2,076707	8,30683	18,69037	33,22732	51,91768

Закінчення табл. 6

End of Table 6

Тип електродвигуна	Коефіцієнт несиметрії, %				
	12	14	16	18	20
ум. № 548	81,79725	111,3351	145,4173	184,0438	227,2146
2ТТ-16/10-01	69,85835	95,08497	124,1926	157,1813	194,051
АОМ 32-4	160,5785	218,5651	285,4728	361,3016	446,0513
АОМ 22-2	74,76147	101,7587	132,9093	168,2133	207,6707

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Таблиця 7

Table 7

Результуючий перегрів °C асинхронних двигунів із $k_3 = 1,6$ **The resulting overheating °C of asynchronous motors with $k_3 = 1,6$**

Тип електродвигуна	Коефіцієнт несиметрії, %					
	0	2	4	6	8	10
ум. № 548	28,40182	30,67397	37,49041	48,85114	64,75616	85,20547
2ТТ-16/10-01	24,25637	26,19688	32,01841	41,72096	55,30452	72,76911
АОМ 32-4	55,75641	60,21693	73,59846	95,90103	127,1246	167,2692
АОМ 22-2	25,95884	28,03555	34,26567	44,64921	59,18616	77,87653

Закінчення табл. 7

End of Table 7

Тип електродвигуна	Коефіцієнт несиметрії, %				
	12	14	16	18	20
ум. № 548	110,1991	139,737	173,8192	212,4456	255,6164
2ТТ-16/10-01	94,11472	119,3413	148,449	181,4376	218,3073
АОМ 32-4	216,3349	274,3215	341,2292	417,058	501,8077
АОМ 22-2	100,7203	127,7175	158,8681	194,1721	233,6296

Таблиця 8

Table 8

**Відносне скорочення терміну служби АД при роботі в мережі
з високою несиметрією живлячої напруги****Relative reduction of the AM service life at operation in networks with high asymmetry of the supply voltage**

Тип електродвигуна	Коефіцієнт несиметрії, %					
	0	2	4	6	8	10
ум. № 548	1,526622	1,678752	2,135141	2,89579	3,960698	5,329866
2ТТ-16/10-01	1,249066	1,378992	1,768768	2,418394	3,327871	4,497199
АОМ 32-4	3,358127	3,656778	4,552728	6,045979	8,13653	10,82438
АОМ 22-2	1,363054	1,502098	1,919231	2,614453	3,587763	4,839162

Закінчення табл. 8

End of Table 8

Тип електродвигуна	Коефіцієнт несиметрії, %				
	12	14	16	18	20
ум. № 548	7,003294	8,980981	11,26293	13,84913	16,7396
2ТТ-16/10-01	5,926378	7,615407	9,564286	11,77302	14,2416
АОМ 32-4	14,10953	17,99199	22,47174	27,54879	33,22315
АОМ 22-2	6,36865	8,176226	10,26189	12,62564	15,26749

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

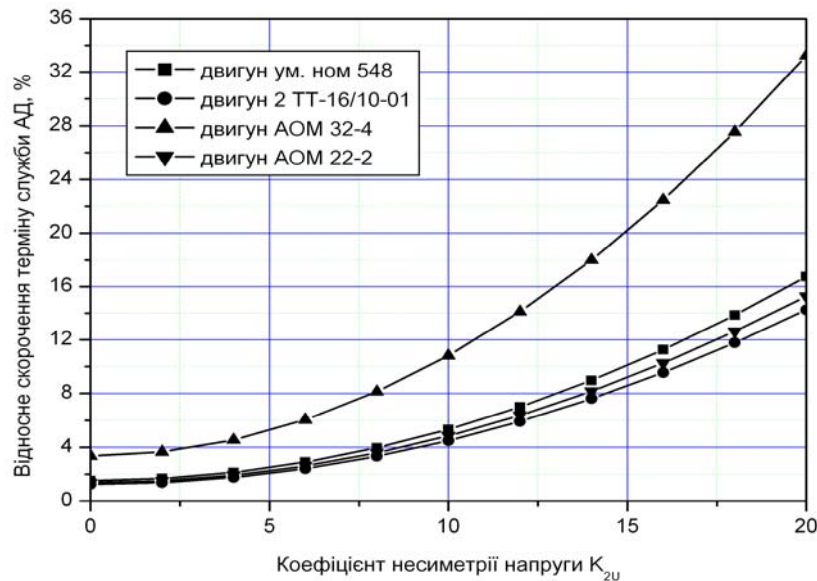


Рис. 3. Залежність відносного скорочення терміну служби АД від коефіцієнта несиметрії напруги

Fig. 3. The dependence of relative reduction of the AM service life from high asymmetry of the supply voltage

Результати

Отримавши значення результуючого перегріву асинхронних двигунів, можна оцінити ступінь старіння ізоляції АД залежно від величини коефіцієнта несиметрії живлячої двигун напруги. Для цього скористаємося виразом (1). В табл. 8 наведемо результати розрахунку відносного скорочення терміну служби двигунів.

За даними табл. 8 побудуємо графічну залежність між відносним скороченням терміну служби допоміжних машин та коефіцієнтом несиметрії живлячої напруги для всіх асинхронних двигунів електропоїзда ЕР9М.

Як видно з рис. 3, тривала робота асинхронних двигунів при несиметрії живлячої напруги 16...20 % призводить до скорочення їх терміну служби на 9,5...33,2 % залежно від типу двигуна, що для класу ізоляції В становитиме в роках 1,5...5,3 років при гарантованому проектному терміні служби ізоляції 16 років.

Варто зазначити, що відхилення напруги також завдає помітного впливу на тепловий стан допоміжних машин і за певних умов, коли значення коефіцієнта несиметрії буде високим (більше 10–12 %), а напруга в контактній мережі

знизиться до мінімально допустимого значення 19 кВ, цілком можливим є те, що результуючий перегрів обмоток може бути більший за той, що отриманий в табл. 7.

Наукова новизна та практична значимість

Запропоновано метод оцінки скорочення терміну служби асинхронних допоміжних машин електропоїздів змінного струму, який дозволяє врахувати особливості умов реальної експлуатації на рухомому складі та проектний коефіцієнт запасу двигунів за потужністю.

Висновки

Збільшення запасу за потужністю двигунів не можна розглядати як єдиний і достатній спосіб по захисту двигунів від негативного впливу низької якості живлячої електроенергії. На електрорухомому складі, де якість живлячої електричної енергії в бортових колах відрізняється низьким рівнем, потрібно застосовувати симетро-компенсуючі і захисні пристрої, які унеможливили б роботу допоміжних машин при низьких рівнях якості живлячої енергії. Комплексний підхід до вибору оптимального запаса

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

су потужності допоміжних машин та впровадження сучасних систем захисту дозволить вирішити питання передчасного виходу з ладу допоміжних машин електропоїздів змінного струму серії ЕР9М.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ГОСТ 19523-74. Двигатели трехфазные асинхронные короткозамкнутые серии 4А мощностью от 0,06 до 400 кВт. Общие технические условия. – Введ. 1975-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1980. – 44 с.
2. ГОСТ 2582-81. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия. – Введ. 1983-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1981. – 36 с.
3. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. Введ. 1989-15-11. – Москва : Изд-во стандартов, 1990. – 24 с.
4. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах энергоснабжения общего назначения. Введ. 1999-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2002. – 33 с.
5. Жежеленко, И. В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко. – Москва : Энергоатомиздат, 2000. – 252 с.
6. Избранные вопросы несинусоидальных режимов в электрических сетях предприятий / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко, Т. К. Бараненко [и др.] – Москва : Энергоатомиздат, 2007. – 296 с.
7. Кацман, М. М. Электрические машины : учеб. для студ. сред. профессиона. учебн. заведений / М. М. Кацман. – Москва : Высш. шк., 2001. – 463 с.
8. Курбасов, А. С. Проектирование тяговых электродвигателей : учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / А. С. Курбасов, В. И. Седов, Л. Н. Сорин. – Москва : Транспорт, 1987. – 536 с.
9. Москаленко, В. В. Электрический привод : учебн. для студ. высш. учебн. заведений / В. В. Москаленко. – Москва : Академия, 2007. – 368 с.
10. Муха, А. М. Аналіз роботи допоміжних електричних машин електропоїздів залізниць України / А. М. Муха, О. Ю. Балійчук, І. Є. Скогарев // 36. наук. пр. Донецьк. ін-ту залізн. трансп. Українськ. держ. акад. залізн. трансп. – 2014. – № 37. – С.143–150.
11. 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. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 42. – С. 138–141.
12. An acoustic diagnostic technique for use with electric machine insulation / Y.-S. Lee, J. K. Nelson, H. A. Scarton [et al.] // Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions. – 1994. – № 6. – P. 1186–1193. doi: 10.1109/94.368645.
13. Analysis of Electric Machinery and Drive Systems. Third Edition / P. C. Krause, O. Wasynczuk, S. D. Sudhoff, S. Pekarek. – Hoboken : Wiley-IEEE Press, 2013. – 680 p. doi: 10.1109/9780470544167.
14. Bose, B. K. Modern Power Electronics and AC Drives / B. K. Bose. – New Jersey : Prentice Hall, 2001. – 736 p. doi: 10.1109/9780470545553.
15. IEEE Std 112-2004. IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators. Approved 9 February 2004. – New York : IEEE, 2004. – 87 p.
16. Influence of feeding electric energy quality on heating of the auxiliary machines of AC electric rolling stock / O. Yu. Baliichuk, L. V. Dubynets, O. M. Dukhnovskyi [et al.] // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 3 (51). – С. 34–41. doi: 10.15802/stp2014/25800.
17. The influence of temperature and electric field frequency on the dielectric properties of electrical machines insulation systems / S. A. Busoi, P. V. Notingher, L. M. Dumitran, G. Tanasescu // Proc. of Intern. Symp. on Electrical and Electronics Eng. ISEEE (16.10.–8.10.2010). – Galati : Romania, 2010. – P. 5–9. doi: 10.1109/iseee.2010.5628478.

А. Ю. БАЛИЙЧУК^{1*}

^{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 47, ел. пошта baliichukaleksei@mail.ru, ORCID 0000-0003-0119-1446

СРОК СЛУЖБЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАШИН ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель. В работе необходимо проанализировать повышение работоспособности вспомогательных машин электропоездов переменного тока серии ЭР9М при эксплуатации в реальных условиях. **Методика.** Предложен инженерный метод определения относительного сокращения срока службы асинхронных двигателей, выбранных с определенным проектным запасом мощности, в нормальных эксплуатационных условиях и при снижении показателей качества питающей электроэнергии в бортовых цепях подвижного состава, которое имеет место при реальной эксплуатации на участках Укрзализныци. **Результаты.** В результате проведенных автором исследований установлено, что длительная работа асинхронных двигателей, выбранных с достаточным коэффициентом запаса мощности $k_z = 1,6$, при несимметрии питающего напряжения 16–20 % приводит к сокращению их срока службы на 9,5–33,2 % в зависимости от типа двигателя. Этим доказано, что выбор вспомогательных машин с большим запасом мощности не является рациональным способом повышения работоспособности вспомогательных машин на электропоездах серии ЭР9М. Сделаны рекомендации по внедрению симметро-компенсирующих и защитных устройств, построенных на современной микропроцессорной и микроконтроллерной элементной базе. Они делают невозможной работу вспомогательных машин при низком уровне качества электрической энергии в бортовых цепях электропоездов переменного тока в целом, и на электропоездах серии ЭР9М в частности. **Научная новизна.** Впервые освещены вопросы аналитического исследования влияния качества питающей энергии на срок службы вспомогательных машин электропоездов переменного тока серии ЭР9М через определение относительного сокращения срока службы вспомогательных машин (в зависимости от температуры общего перегрева). Учтено влияние коэффициента запаса мощности двигателя на средний перегрев и процесс нагревания электрических машин в целом. **Практическая значимость.** Полученные в ходе исследований результаты позволяют критически оценить существующую защиту вспомогательных машин электропоездов переменного тока и разработать рекомендации по внедрению комплекса организационно-технических мероприятий по повышению работоспособности вспомогательных машин электропоездов переменного тока серии ЭР9М.

Ключевые слова: вспомогательные машины; переменный ток; качество электрической энергии; срок службы; работоспособность; коэффициент запаса

O. YU. BALIICHUK^{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 47, e-mail baliichukaleksei@mail.ru, ORCID 0000-0003-0119-1446

LIFETIME OF AUXILIARY MACHINES OF AC ELECTRIC TRAINS

Purpose. In this paper it is necessary to analyze increase the efficiency of auxiliary machines of AC electric trains, series ER 9M during operating under the real conditions. **Methodology.** An engineering method to determine the relative reduction of the lifetime of asynchronous motors, selected with a certain design factor of power reserve, under normal operating conditions and with decrease of the electric power supply quality in auxiliary circuits of rolling stock, which takes place in real operation in sections of Ukrzaliznytsia was proposed. **Findings.** As a result of a study, conducted by the author it was found that long-term operation of asynchronous motors, selected with a sufficient reserve of power $k_z = 1,6$, when the supply voltage unbalance is 16 ... 20% leads to a reduction of their lifetime on 9,5...33,2%, depending on the type of motors. It proves that the choice of auxiliary machines with a large margin of power is not a rational way to increase the efficiency of auxiliary machines of electric trains, series ER9M. Recommendations were suggested for the introductions of symmetry-balancing and protective devices based on modern microprocessor and microcontroller hardware components. They make impossible operation of auxiliary

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

machines during a low level of electric energy quality in onboard electric circuits of AC electric train in general, and on the trains, series ER9M in particular. **Originality.** The issues of the analytical study of the energy supply quality effect on the lifetime of auxiliary machines of AC electric trains, series ER9M through the determination of the relative reduction of the lifetime of auxiliary machines, depending on the general overheating temperature were highlighted firstly. The effect of safety factor for motor capacity on the average overheating and on the heating process of electrical machines on the whole was taken into consideration. **Practical value.** Obtained results allow forming critical opinion about the existing protection of auxiliary machines of AC electric train and develop recommendations for the implementation of complex organizational and technical measures to improve operability of auxiliary machines of AC electric trains, series ER 9M.

Keywords: auxiliary machines; alternating current; power quality; service life; operability; safety factor

REFERENCES

1. GOST 19523-74. *Dvigateli trekhfaznyye asinkhronnyye korotkozamknutyie serii 4A moshchnostyu ot 0,06 do 400 kVt. Obshchiye tekhnicheskkiye usloviya* [State Standard 19523-74. 3-phase asynchronous squirrel-cage motors, series 4A, power from 0,06 to 400 kw. General specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 1980. 44 p.
2. GOST 2582–81. *Mashiny elektricheskkiye vrashchayushchiyesya tyagovyye. Obshchiye tekhnicheskkiye usloviya* [State Standard 2582 – 81. Traction rotating electrical machines. General specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 1981. 36 p.
3. GOST 27.002-89. *Nadezhnost v tekhnike. Osnovnyye ponyatiya. Terminy i opredeleniya* [State Standard 27.002-89. Industrial product dependability. General concepts. Terms and definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 1990. 24 p.
4. GOST 13109–97. *Elektricheskaya energiya. Sovmestimost tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemakh energosnabzheniya obshchego naznacheniya* [State Standard 13109–97. Electrical energy. Compatibility of technical equipment. Quality standards of electrical energy in power systems of general purpose]. Moscow, Standartinform Publ., 2002. 33 p.
5. Zhezhelenko I.V., Sayenko Yu.L. *Pokazateli kachestva elektroenergii i ikh kontrol na promyshlennykh predpriyatiyakh* [Power quality indexes and their control at the industrial enterprises]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2000. 252 p.
6. 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 enterprises]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2007. 294 p.
7. Katsman M.M. *Elektricheskkiye mashiny* [Electrical machinery]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 2001. 463 p.
8. Kurbasov A.S., Sedov V.I., Sorin L.N. *Proektirovaniye tyagovykh elektrodvigatelye* [Design of traction motors]. Moscow, Transport Publ., 1987. 536 p.
9. Moskalenko V.V. *Elektricheskyy privod* [Electric drive]. Moscow, Akademiya Publ., 2007. 368 p.
10. Mukha A.M., Baliichuk O.Yu., Skohariyev I.Ye. *Analiz roboty dopomizhnykh elektrychnykh mashyn elektropoizdiv zaliznyts Ukrainy* [Analysis of the auxiliary electric machines at electric railways of Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Donetsk Institute of Railway Transport of Ukrainian State Academy of Railway Transport], 2014, issue 37, pp. 143-150.
11. Ustyomenko D.V., Krasnov R.V., Mazur A.V. *Analiz vplyvu zminy rezhymu roboty na stupin nahrivu izoliatsii obmotky yakoria elektrodvyhuna porshnevoho kompressora* [Analysis of influence of change of office hours on degree of heating of isolation of puttee of anchor of electric motor of piston compressor]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 138-141.
12. Lee Y.-S., Nelson J.K., Scarton H.A. et al. An acoustic diagnostic technique for use with electric machine insulation. *Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions*, 1994, no. 6, pp. 1186-1193. doi: 10.1109/94.368645.
13. Krause P.C., Wasynczuk O., Sudhoff S.D. *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems*. Second Edition. Hoboken, Wiley-IEEE Press Publ., 2002. 632 p. doi: 10.1109/9780470544167.
14. Bose B.K. *Modern Power Electronics and AC Drives*. New Jersey, Prentice Hall Publ., 2001. 736 p. doi: 10.1109/9780470545553.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

15. IEEE Std 112-2004. IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators. Approved 9 February 2004. New York, IEEE Publ., 2004. 87 p.
16. Baliichuk O.Yu., Dubynets L.V., Dukhnovskyi O.M., Marenych O.O., Marenych O.L. Influence of feeding electric energy quality on heating of the auxiliary machines of ac electric rolling stock. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 3 (51), pp. 34-41. doi : 10.15802/stp2014/25800.
17. Busoi S.A., Notingher P.V., Dumitran L.M., Tanasescu G. The influence of temperature and electric field frequency on the dielectric properties of electrical machines insulation systems. Proc. of Intern. Symp. on Electrical and Electronics Eng. ISEEE (16.10.-18.10.2010), Galati, Romania, 2010, pp. 5-9. doi: 10.1109/iseee.2010.5628478.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Л. В. Дубинцем (Україна), д.т.н. проф. С. І. Випанасенком (Україна)

Надійшла до редколегії: 28.01.2015

Прийнята до друку: 16.03.2015

УДК 621.314-047.58

В. В. МИХАЙЛЕНКО^{1*}, С. А. АБДУЛАЄВ², В. В. ЕРНСТ³, В. В. ЧУПАК⁴

^{1*}Каф. «Теоретична електротехніка», Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр-т Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056, тел./факс + 38 (098) 317 93 74, ел. пошта VladislavMihailenko@i.ua, ORCID 0000-0002-5945-7502

²Каф. «Електричні мережі і системи», Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр-т Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056, тел./факс + 38 (098) 985 26 00, ел. пошта seryk15abdulaev@rambler.ru, ORCID 0000-0001-8939-1471

³Каф. «Електричні мережі і системи», Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр-т Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056, тел./факс + 38 (050) 901 13 94, ел. пошта vasilyernst@mail.ru, ORCID 0000-0002-2922-0918

⁴Каф. «Технології машинобудування», Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр-т Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056, тел./факс + 38 (097) 868 06 35, ел. пошта viktorchupak@ukr.net, ORCID 0000-0002-7103-6364

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З П'ЯТИЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

Мета. Робота спрямована на дослідження виконання аналізу електромагнітних процесів в електричних колах із напівпровідниковими комутаторами. Необхідно розробити нові математичні моделі та визначити функції та алгоритми рівнянь для аналізу усталених та перехідних процесів в електричних колах змінної структури. Також передбачається дослідити математичні моделі з напівпровідниковими комутаторами та ланками, в яких виникають синусоїдні, постійні й імпульсні напруги. **Методика.** Для досягнення поставленої мети була створена математична модель напівпровідникового перетворювача з електромеханічним навантаженням. Показано, що поява нелінійних елементів суттєво ускладнює задачі розрахунку та дослідження виникаючих у колах електромагнітних процесів. Найбільші ускладнення з'являються у колах змінної структури, в ланках яких виникають синусоїдні, постійні та імпульсні струми під дією відповідних напруг. **Результати.** Розроблено нові математичні моделі електромагнітних процесів у трифазних електричних колах напівпровідникових перетворювачів із багатоканальним зонним регулюванням фазних напруг (без урахування енергетичних втрат у напівпровідникових комутаторах) для швидкої оцінки впливу параметрів навантаження на рівень та форму вихідної напруги. **Наукова новизна.** Розвинуто метод багатопараметричних функцій, які входять до алгоритмічних рівнянь аналізу усталених та перехідних процесів у розгалужених електричних колах із напівпровідниковими комутаторами та реактивними елементами, в напрямку врахування особливостей використання фазних напруг мережі електроживлення. Обґрунтовано, що використання методу багатопараметричних модулюючих функцій в електричних колах змінної структури є доцільним, якщо в їх ланках не більше трьох незалежних реактивних елементів. Розроблено нову математичну модель усталених і перехідних процесів в електричних колах напівпровідникових перетворювачів модуляційного типу з багатоканальним зонним використанням фазних напруг трифазної мережі живлення. При цьому втрати електроенергії у комутаторах не враховувались. Така математична модель була розроблена для швидкої оцінки впливу параметрів навантаження на характеристики регульованих синусоїдних та постійних напруг. **Практична значимість.** Створено нові схематехнічні рішення напівпровідникових комутаторів із високочастотним широтноімпульсним регулюванням вихідної напруги при зміні параметрів навантаження в широких межах. Це дозволило підвищити швидкодію електротехнологічних систем. Розроблено методики підвищення швидкості регулювання та визначення енергоефективних режимних параметрів напівпровідникових комутаторів електротехнологічних систем. Розроблено нові методики аналізу усталених та перехідних процесів в електричних колах напівпровідникових перетворювачів модуляційного типу з постійними вихідними напругами та з різними видами модулюючих впливів.

Ключові слова: електромагнітні процеси; вихідна напруга; вихідний струм; двигун постійного струму; метод багатопараметричних модулюючих функцій

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Вступ

Тенденції якісного перетворення електричної енергії, а також успіхи у розвитку напівпровідникової техніки дозволяють використовувати в перетворювальних установках ланку високої частоти з частотою переключення вентилів значно більшою, ніж частота змінної напруги промислової мережі [1–13]. У роботах [8, 4, 5, 6] наведена доцільність використання структур перетворювачів частоти (ПЧ) з однократною модуляцією під час побудови систем вторинного електропостачання для комплексів діагностики електромеханічних пристроїв із різноманітним видом вхідної енергії. У цій роботі виконано аналіз аспекту використання тієї ж структури ПЧ для електромеханічних комплексів із широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) постійної напруги при п'ятизонному керуванні.

Мета

Виконання аналізу електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами і розробка математичної моделі напівпровідникового перетворювача з електромеханічним навантаженням.

Методика

Узагальнена структурна схема перетворювача наведена на рис. 1. На структурній схемі позначені: СМА, СМВ, СМС – силові модулятори (СМ) фазних А, В і С відповідно; ВВ – високочастотний випрямляч; Н – навантаження; D – двигун постійного струму. Сукупність СМ, підключених до енергетичної мережі паралельно і з'єднаних по виходу послідовно, являє собою ланку високої частоти перетворювача.

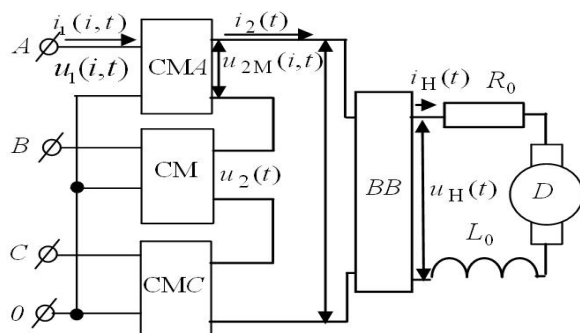


Рис. 1. Структурна схема перетворювача

Fig. 1. Structural diagram of a converter

За результатами порівняльних досліджень техніко-економічних показників різного виду виконавчих елементів слідкуючих систем на основі високомоментних двигунів постійного струму (ДПС) серій 2П та ПВ і трифазних асинхронних двигунів серії 4А, які випускаються промисловістю серійно [4], з'ясовано, що за умови однакових показників за масою та габаритами в діапазоні потужностей від 100 Вт до 500 кВт, у слідкуючих системах доцільніше використовувати ДПС.

Під час складання математичної моделі перетворювача з комп'ютерною орієнтацією її застосування використаємо метод багатопараметричних модулюючих функцій [8], який передбачає попереднє подання алгоритмічного рівняння перетворювача. При цьому приймемо такі припущення: вхідна енергетична мережа симетрична і її внутрішній опір дорівнює нулю, транзистори і діоди інверторів випрямленої напруги (ІВН) подають як ідеальні ключі, узгоджувальні трансформатори в кожній із зон регулювання вихідної напруги не мають втрат.

Виконання системного аналізу електромагнітних процесів у модуляційному напівпровідниковому перетворювачі (НПП) з багатозонним регулюванням вихідної напруги з електромеханічним навантаженням, в якості якого розглянуто ДПС з послідовним збудженням, з урахуванням таких ознак системного підходу до аналізу [4], як цілісність, декомпозиційність, мета системи та вплив під час її руху зовнішніх і внутрішніх факторів.

Вихідну напругу НПП знаходимо, як

$$u_H(t) = \frac{1}{k_T} \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^3 u_i(i,t) \quad (1)$$

$$\psi(n, N, t) \psi_{BB}(t),$$

де $u_i(i,t)$ – миттєві значення вхідних фазних напруг мережі живлення; $\psi_B(i,t)$ – функції прямокутного синуса, що співпадають за часом з положенням відповідних фазних напруг мережі; $n = 1, 2, 3, N$ – номери зон регулювання вихідної напруги; $\psi(n, N, t)$ – множина еквівалентних модулюючих впливів i -х інверторів СМ; $\psi_{BB}(t)$ – функція прямокутного синуса, що співпадає за часом з положенням вихідної

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

напруги $u_2(t)$ ланки високої частоти НПП; k_T – коефіцієнт трансформації вихідних трансформаторів СМ.

ДПС, що задає вихідний струм НПП, описується системою алгебраїчних рівнянь [4], яка подає миттєві значення струму кола якоря та його кутової швидкості з урахуванням пускового режиму у вигляді

$$\begin{pmatrix} i_{H_{k+1}}(t) \\ n_{k+1}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i_{H_k}(t) + \frac{2(c(t) - \varepsilon_{ch})}{a_1} - \frac{2\varepsilon_a}{a_1} i_{H_k}(t) - \\ - \frac{2}{a_1} n_k(t) i_{H_k}(t) - \frac{2}{a_1 a_3} i_{H_k}^3(t); \\ n_k(t) + \frac{4(c(t) - \varepsilon_{ch}) i_{H_k}(t)}{a_1 a_3} - \\ - \frac{2\varepsilon_M}{a_3} n_k(t) + \frac{2}{a_3} i_{H_k}^2(t) - \\ - \frac{2}{a_1 a_3} i_{H_k}^2(t) n_k(t) - \frac{2\varepsilon_{M0}}{a_3} \end{pmatrix} \quad (2)$$

де $i_{H_{k+1}}(t)$, $n_k(t)$, $n_{k+1}(t)$ – струм якоря та кутова швидкість обертання ДПС на k -ому та в $k+1$ -ому інтервалі відповідно; ε_{ch} , ε_a – відносні падіння напруги на щітках і обмотці якоря; ε_{M0} – відносні моменти опору на валу;

$c(t) = \frac{u_H(t)}{E}$ – відносне значення напруги на

якорі; $u_H(t)$ та E – миттєві значення вихідної напруги НПП та проти ЕРС відповідно;

$a_1 = \varepsilon_a + \frac{2T_{ab}}{\Delta t}$, $a_3 = \varepsilon_M + \frac{2T_M}{\Delta t}$; T_{ab} та T_M –

електромагнітна та механічна постійні часу двигуна; Δt – інтервали часу, за якими виконуються розрахунки процесів.

Система (2) вирішується за допомогою методу припасовування з попереднім записом початкових умов при $t = 0$ та припущеннями відносно лінійної залежності моменту опору на валу двигуна від швидкості обертання [3] і лінеаризованої кривої намагнічування.

Діаграми струмів кола якоря ДПС для випадку п'ятизонного регулювання вихідної напруги НПП наведені на рис. 2. Крива 1 відображає струм кола якоря в процесі пуску ДПС під дією максимальної величини напруги

(3), а крива 2 – струм кола якоря в процесі пуску ДПС під дією напруги (3) з п'ятизонним широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) за лінійним законом.

Вихідний струм $i_2(t)$ знаходимо з співвідношення

$$i_2(t) = i_{H_k}(t) \psi_{ВВ}(t). \quad (3)$$

Вхідні струми $i_1(n, i, t)$ знаходимо з виразу

$$i_1(n, i, t) = \frac{i_2(t) \psi_{В}(i, t) \psi(n, N, t)}{k_T}. \quad (4)$$

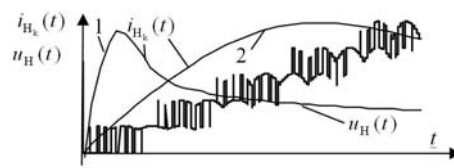


Рис. 2. Діаграми струмів кола якоря ДПС

Fig. 2. Current diagrams of armature circle in CCM

Результати

Для визначення струмів i -х фаз мережі у всьому діапазоні регулювання вихідної напруги НПП підсумуємо вхідні струми ІВН, що беруть участь у процесі регулювання вихідної напруги в кожній з i -ї фази. Загальний вираз для струмів i -х фаз мережі подамо у вигляді

$$i_1(i, t) = i_1(1, i, t) + i_1(2, i, t) + \dots + i_1(N, i, t), \quad (5)$$

де $i_1(1, i, t)$, $i_1(2, i, t)$, $i_1(N, i, t)$ – вхідні струми інверторів i -х фаз на інтервалах першої, другої, та N -ї зони регулювання.

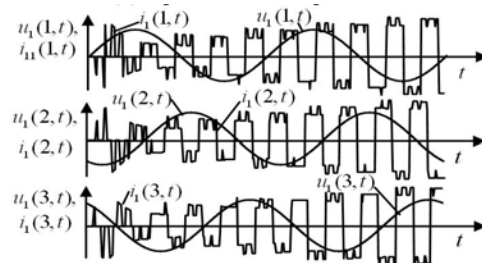


Рис. 3. Діаграми вхідних струмів i -х фаз мережі в координатах фазних напруг

Fig. 3. Diagrams of i -x phases incoming current in the net of delta voltage coordinates

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Діаграми вхідних струмів та напруг, побудовані за (5), наведені на рис. 3.

Наукова новизна та практична значимість

Створено нові схемотехнічні рішення напівпровідникових комутаторів з високочастотним широтно-імпульсним регулюванням їх вихідної напруги при зміні параметрів навантаження в широких межах, які дозволили підвищити швидкодію електротехнологічних систем.

Висновки

Таким чином у роботі було виконано аналіз електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами. Використовуючи метод багатопараметричних модулюючих функцій, було знайдено струм і напругу навантаження, а також вхідні струми перетворювача. Узагальнюючі функції багатопараметричного виду ефективні і для інших перетворювачів модуляційного типу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Афанасов, А. М. Определение рациональных режимов взаимного нагружения тяговых двигателей электроподвижного состава магистрального и промышленного транспорта // А. М. Афанасов // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2014. – № 4 (52). – С. 67–74.
- Забарило, Д. А. Особенности расчета силового трансформатора повышенной частоты / Д. А. Забарило // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – № 3 (45). – С. 29–35.
- Каменев, О. Ю. Проблематика підходів до дослідження безпеки використання енергетичних систем керування на залізничному транспорті / О. Ю. Каменев // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – № 2 (44). – С. 7–16.
- Макаренко, М. П. Аналіз електромагнітних процесів у модуляційному напівпровідниковому перетворювачі напруги з електро механічним навантаженням / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко // Техн. електродинаміка. Силовая електроніка та енергоефективність. – 2003. – Ч. 3. – С. 21–24.
- Макаренко, М. П. Аналіз електромагнітних процесів у перетворювачах з багатозонним регулюванням вихідної напруги функціями багатопараметричного виду / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко // Техн. електродинаміка. Силовая електроніка та енергоефективність. – 2002. – Ч. 1. – С. 19–22.
- Макаренко, М. П. Деякі аспекти комп'ютерного аналізу напівпровідникових перетворювачів електроенергії з багаторозгалуженими структурами / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко // Техн. електродинаміка. Силовая електроніка та енергоефективність. – 2004. – Ч. 1. – С. 112–115.
- Макаренко, М. П. Системний аналіз електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах електроенергії модуляційного типу : моногр. / М. П. Макаренко, В. І. Сенько, М. М. Юрченко. – Київ : Ін-т електродинаміки НАН України, 2005. – 241 с.
- Макаренко, Н. П. Анализ и моделирование электромагнитных процессов в силовых преобразовательных устройствах методом модулирующих функций / Н. П. Макаренко // Техн. електродинаміка. Системи електроживлення електротехн. установок і комплексів. – Темат. вип. – 1999. – С. 44–47.
- Макаренко, Н. П. Математическая модель процесса формирования выходных напряжений преобразователей частоты / Н. П. Макаренко, Г. Абарка // Электроника и связь. – 1999. – № 6, Т. 2. – С. 60–64.
- Макаренко, Н. П. Экологические вопросы сетей вторичных систем электроснабжения промышленных предприятий / Н. П. Макаренко, Г. Абарка, Е. В. Небрат // Вісн. УБЕНТЗ. – 1999. – № 5. – С. 7–12.
- Hojabri, H. A Generalized Technique of Modeling, Analysis, and Control of a Matrix Converter Using SVD / H. Hojabri, H. Mokhtari, L. Chang // IEEE Trans. On Industrial Electronics. – 2011. – Vol. 58, № 3. – P. 949–959. doi: 10.1109/TIE.2010.2048836.
- Hojabri, H. Reactive Power Control Permanent-magnet Synchronous Wind Generator with Matrix Converter / H. Hojabri, H. Mokhtari, L. Chang // IEEE Trans. On Power Delivery. – 2013. – Vol. 28, № 2. – P. 575–584. doi: 10.1109/TPWRD.2012.2229721.
- Range of the linear modulation in matrix converters / L. Zarri, M. Mengoni, A. Toni, J. O. Ojo // IEEE Trans. On Power Electronics. – 2014. – Vol. 29, № 6. – P. 3166–3178. doi: 10.1109/tpel.2013.2274285.

В. В. МИХАЙЛЕНКО^{1*}, С. А. АБДУЛАЕВ², В. В. ЭРНСТ³, В. В. ЧУПАК⁴

^{1*}Каф. «Теоретическая электротехника», Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», пр-т Победы, 37, Киев, Украина, 03056, тел./факс + 38 (098) 317 93 74, эл. почта VladislavMihailenko@i.ua, ORCID 0000-0002-5945-7502

²Каф. «Электрические сети и системы», Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», пр-т Победы, 37, Киев, Украина, 03056, тел./факс + 38 (098) 985 26 00, эл. почта seryk15abdulaev@rambler.ru, ORCID 0000-0001-8939-1471

³Каф. «Электрические сети и системы», Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», пр-т Победы, 37, Киев, Украина, 03056, тел./факс + 38 (050) 901 13 94, эл. почта vasilyernst@mail.ru, ORCID 0000-0002-2922-0918

⁴Каф. «Технологии машиностроения», Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», пр-т Победы, 37, Киев, Украина, 03056, тел./факс + 38 (097) 868 06 35, эл. почта viktorchupak@ukr.net, ORCID 0000-0002-7103-6364

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ПЯТИЗОННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ

Цель. Работа направлена на исследование электромагнитных процессов в электрических цепях с полупроводниковыми коммутаторами. Необходимо разработать новые математические модели, определения функций и алгоритмических уравнений для анализа установившихся и переходных процессов в электрических цепях переменной структуры. Также предусмотрено исследовать математические модели с полупроводниковыми коммутаторами и звеньями, в которых возникают синусоидные, постоянные и импульсные напряжения. **Методика.** Для достижения поставленной цели была создана математическая модель полупроводникового преобразователя с электромеханической нагрузкой. Показано, что появление нелинейных элементов сильно усложняет задачи расчета и исследования возникающих в цепях электромагнитных процессов. Наибольшие осложнения появляются в цепях переменной структуры, в которых возникают синусоидные, постоянные и импульсные токи под действием соответствующих напряжений. **Результаты.** Разработаны новые математические модели электромагнитных процессов в трехфазных электрических цепях полупроводниковых преобразователей с многоканальным зонным регулированием фазных напряжений (без учета потерь в полупроводниковых коммутаторах) для быстрой оценки влияния параметров нагрузки на уровень и форму выходного напряжения. **Научная новизна.** Разработан метод многопараметрических функций, которые входят в алгоритмические уравнения анализа установившихся и переходных процессов в разветвленных электрических цепях с полупроводниковыми коммутаторами и реактивными элементами, в направлении учета особенностей использования фазных напряжений сети электропитания. Обосновано, что использование метода многопараметрических модулирующих функций в электрических цепях переменной структуры является целесообразным, если в их звеньях есть не более трех независимых реактивных элементов. Разработана новая математическая модель установившихся и переходных процессов в электрических цепях полупроводниковых преобразователей модуляционного типа с многоканальным зонным использованием фазных напряжений трехфазной сети питания. При этом потери электроэнергии в коммутаторах не учитывались. Такая математическая модель была разработана для быстрой оценки влияния параметров нагрузки на характеристики регулируемых синусоидальных и постоянных напряжений. **Практическая значимость.** Созданы новые схемотехнические решения полупроводниковых коммутаторов с высокочастотным широтноимпульсным регулированием выходного напряжения при изменении параметров нагрузки в широких пределах. Это позволило повысить быстродействие электротехнологических систем. Разработаны методики повышения скорости регулирования и определения энергоэффективных режимных параметров полупроводниковых коммутаторов электротехнологических систем. Разработаны новые методики анализа установившихся и переходных процессов в электрических цепях полупроводниковых преобразователей модуляционного типа с постоянными выходными напряжениями и с различными видами модулирующих влияний.

Ключевые слова: электромагнитные процессы; выходное напряжение; выходной ток; двигатель постоянного тока; метод многопараметрических модулирующих функций

V. V. MIKHAILENKO^{1*}, S. A. ABDULAIEV², V. V. ERNST³, V. V. CHUPAK⁴^{1*}Dep. «Theoretical Electrical Engineers», National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Peremoga Av., 37, Kyiv, Ukraine, 03056, tel./fax + 38 (098) 317 93 74, e-mail VladislavMihailenko@i.ua, ORCID 0000-0002-5945-7502²Dep. «Electric Networks and Systems», National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Peremoga Av., 37, Kyiv, Ukraine, 03056, tel./fax + 38 (098) 985 26 00, e-mail seryk15abdulaev@rambler.ru, ORCID 0000-0001-8939-1471³Dep. «Electric Networks and Systems», National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Peremoga Av., 37, Kyiv, Ukraine, 03056, тел./факс + 38 (050) 901 13 94, e-mail vasilyernst@mail.ru, ORCID 0000-0002-2922-0918⁴Dep. «Technologies of Machine Building», National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Peremoga Av., 37, Kyiv, Ukraine, 03056, tel./fax + 38 (097) 868 06 35, e-mail viktorchupak@ukr.net, ORCID 0000-0002-7103-6364

MATHEMATICAL MODEL OF SEMICONDUCTOR CONVERTER WITH FIVE-ZONE REGULATION OF THE OUTPUT VOLTAGE AND ELECTROMECHANICAL LOAD

Purpose. This work is directed on study of the electromagnetic processes in electric circuits with semiconductor commutators. It is necessary to develop the new mathematical models of functions determination and algorithmic equations for analysis of formed and transition processes in electric circuits of the variable structure. To research the mathematical models with semiconductor commutators and sections, in which sine, constant and pulsed voltages appear. **Methodology.** The mathematical model of the semiconductor converter with electromechanical load was created for achievement the purpose in view. It is shown that appearance of nonlinear element complicates powerfully the problems of the calculation and studies appearing in circuits of the electromagnetic processes. The most complications appear in circuits of the variable structure, in which sine, constant and pulsed current arise under the action of appropriate voltages. **Findings.** The new mathematical models of the electromagnetic processes were designed in three-phase electric circuit of the semiconductor converters with multiserver zoned regulation of phase voltages (without losses in semiconductor commutators) for quick estimation the load parameters influence on level and form of the output voltage. **Originality.** The method of multi-parameter functions was developed. The last are included in algorithmic equations for analysis of formed and transition processes in network with semiconductor commutators and reactive elements, in the considerations direction of phase to neutral voltages usage in the power circuit. It is motivated that use of the multi-parameter modulating functions method in electric circuit of variable structures is expedient if in their sections there are not more than three independent reactive elements. The new mathematical model of formed and transition processes in electric circuits of the semiconductor converters, modulation type with multiserver zoned use of phase to neutral voltages in three-phase network of the power supply was developed. At that energy loss in commutators were not taken into account. Such mathematical model was created for quick estimation the influence of parameters load on controlled features of sine and constant voltages. **Practical value.** New scheme technical solutions of semiconductor commutators with high-frequency impulse relative time regulation of output voltage when change parameters load in a wide range were created. It has allowed raising the speed of the electro technological systems. The increase in speed methods of regulation and determinations the energy efficient mode parameters of semiconductor commutators of the electro technological systems were developed. The new methods of analyzes of formed and transition processes in electric circuits of semiconductor converters, modulation type with constant output voltages and with miscellaneous types of modulating influence.

Keywords: electromagnetic processes; output voltage; output current; the engine of the direct current; the method of multi-parameter modulating functions

REFERENCES

1. Afanasov A.M. Opredeleniye ratsionalnykh rezhimov vzaimnogo nagruzheniya tyagovykh dvigateley elektropodvizhnogo sostava magistralnogo i promyshlennogo transporta [Rational modes determination of traction motors loading-back for electric rolling stock in mainline and industrial transport]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 4 (52), pp. 67-74.
2. Zabarilo D.A. Osobennosti rascheta silovogo transformatora povyshennoy chastoty [Features of the high frequency power transformer calculation]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 3 (45), pp. 29-35.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

3. Kameniev O.Yu. Problematyka pidkhodiv do doslidzhennia bezpeky vykorystannia enerhetychnykh system keruvannia na zaliznychnomu transporti [Problematics of approaches to research of the use safety of ergatic control systems on railway transport]. *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. 7-16.
4. Makarenko M.P., Mykhailenko V.V. Analiz elektromahnitnykh protsesiv u moduliatsiinomu napivprovidnykovomu peretvoriuvachi napruhy z elektromekhanichnym navantazhenniam [The analysis of electromagnetic processes in the modulation semiconductor voltage converter with electromechanical loads]. *Tekhnichna elektrodynamika. Sylova elektronika ta enerhoefektyvnist – Technical electrodynamics. Power Electronics and Energy Efficiency*, 2003, part 3, pp. 21-24.
5. Makarenko M.P., Mykhailenko V.V. Analiz elektromahnitnykh protsesiv u peretvoriuvachakh z bahatozonnyim rehuliuivanniam vykhidnoi napruhy funktsiiamy bahatoparametrychnoho vydu [The analysis of electromagnetic processes in converters with multi-zone adjustment of output voltage by multi-parameter type functions]. *Tekhnichna elektrodynamika. Sylova elektronika ta enerhoefektyvnist – Technical Electrodynamics. Power Electronics and Energy Efficiency*, 2002, part 1, pp. 19-22.
6. Makarenko M.P., Mykhailenko V.V. Deiaki aspekty kompiuternoho analizu napivprovidnykovykh peretvoriuvachiv elektroenerhii z bahatorozghaluzhenymy strukturamy [Some aspects of computer analysis of semiconductor power converters with branched structures]. *Tekhnichna elektrodynamika. Sylova elektronika ta enerhoefektyvnist – Technical electrodynamics. Power Electronics and Energy Efficiency*, 2004, part 1, pp. 112-115.
7. Makarenko M.P., Senko V.I., Yurchenko M.M. *Systemnyi analiz elektromahnitnykh protsesiv u napivprovidnykovykh peretvoriuvachakh elektroenerhii moduliatsiinoho typu* [System analysis of electromagnetic processes in the semiconductor power converters of modulation type]. Kyiv, Instytut elektrodynamiky NAN Ukrainy Publ., 2005. 241 p.
8. Makarenko N.P. Analiz i modelirovaniye elektromagnitnykh protsessov v silovykh preobrazovatelnykh ustroystvakh metodom moduliruyushchikh funktsiy [Analysis and modeling of electromagnetic processes in the power conversion devices by method of modulating functions]. *Tekhnichna elektrodynamika. Systemy elektrozhyvlennia elektrotekhnichnykh ustanovok i kompleksiv – Technical electrodynamics. Power Systems of Electrical Installations and Complexes*, 1999, special issue, pp. 44-47.
9. Makarenko, N.P., Abarka G. Matematicheskaya model protsessa formirovaniya vykhodnykh napryazheniy preobrazovateley chastoty [Mathematical model of the process of generating output voltages of the inverters]. *Elektronika i svyaz – Electronics and Communication*, 1999, no. 6, vol. 2, pp. 60-64.
10. Makarenko N.P., Abarka G., Nebrat Ye.V. Ekologicheskije voprosy setey vtorichnykh sistem elektrosnabzheniya promyshlennykh predpriyatiy [Environmental issues in networks of the secondary power supply systems of industrial enterprises]. *Visnyk Ukrainskoho budynku ekonomichnykh ta naukovotekhnichnykh znan* [Bulletin of Ukrainian house of economic, scientific and technical knowledges], 1999, no. 5, pp. 7-12.
11. Hojabri H.A., Mokhtari H., Chang L. Generalized Technique of Modeling, Analisis, and Control of a Matrix Converter Using SVD. *IEEE Trans. On Industrial Electronics*, 2011, vol. 58, no. 3, pp. 949-959. doi: 10.1109/TIE.2010.2048836.
12. Hojabri H., Mokhtari H., Chang L. Reactive Power Control Permanent-magnet Synchronous Wind Generator with Matrix Converter. *IEEE Trans. On Power Delivery*, 2013, vol. 28, no. 2, pp. 575-584. doi: 10.1109/TPWRD.2012.2229721.
13. Zarri L., Mengoni M., Toni A., Ojo J.O. Range of the linear modulation in matrix converters. *IEEE Trans. On Power Electronics*, 2014, vol. 29, no. 6, pp. 3166-3178. doi: 10.1109/tpel.2013.2274285 .

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. І. Сеньком (Україна); д.т.н., проф. А. М. Афанасовим (Україна)

Надійшла до редколегії 04.11.2014

Прийнята до друку 25.02.2015

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

UDC 625.14:656.2.022-185.4

D. M. KURHAN^{1*}

^{1*}Dep.«Track and Track Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax + 38 (056) 373 15 42, e-mail kurgan@brailsys.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

FEATURES OF PERCEPTION OF LOADING ELEMENTS OF THE RAILWAY TRACK AT HIGH SPEEDS OF THE MOVEMENT

Purpose. Increase the train speeds movements requires not only the appropriate technical solutions, but also methodological-calculated. Most of the models and methodologies used for solving problems of stress-strain state of the railroad tracks, are based on assumptions and hypotheses adequate only for certain speeds. In the framework of this work will be discussed theoretical background of the changing nature of perceptual load elements of the railway track at high speeds and investigated the numeric parameters of the processes by means of mathematical modeling. As a practical purposes is expected to provide the levels of train speed, the boundaries of which can reasonably exclude the possibility of occurrence of the considered effects. **Methodology.** To achieve these objectives was used principal new model of railway track based on wave propagation theory stresses in the elastic system to study the impact of the movable load, take into account that the deflection in a particular section of the road starts even while the wheels at some distance, and moving the wheels farther from the selected section of the wave front elastic strain continues to spread. According to the results of simulations explores the changing shape of the wave front voltages in time for the foundation under the rail. If the train speeds substantially less than the velocity propagation of elastic waves, the wheel remains in the area implemented deformations. **Findings.** Alternative calculations for various parameters of the railway track (especially for different soil conditions) determined the levels of train speed, the boundaries of which can reasonably exclude the possibility of occurrence of the considered effects. **Originality.** The proposed theoretical study and implementation in the form of mathematical models for processes that occur in the perception of load elements of the railway track at high speeds. **Practical value.** According to simulation results obtained levels of speeds, which define the appearance of the considered dynamic effects in the base under the rail, can be used to justify path construction or establishment of appropriate values of allowable velocities for the implementation of traffic at high speeds.

Keywords: superstructure; high-speed movement; tension of rail; rail deflection; wave model; slab track; ground distortion

Introduction

The steady tendency of transport developments networks demands from railway transport to keep and improve a current state for competitiveness preservation. One of the main indicators of a choice of transport mode traditionally remains the speed of cargo and passengers delivery [9].

The increasing of train speeds service demands not only the appropriate technical means, but also

methodological-calculated. Many models and the techniques which are used for the solution of strain-stress state tasks of a railway track based on assumptions and hypotheses adequate only for certain levels of speed movement.

There are elastic deformations and the corresponding tension as a result of reaction to loading from passing rolling stock in a railway track. The bend and compression of layers of a railway track occurs very quickly, but nevertheless not instantly.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Time for reaction directly depends on speeds of distribution of elastic waves in material of the corresponding element of a track. It is clear that in cases when the loading speed (the movement of the train) of one level with a reaction speed, processes of interaction get significantly others looked in comparison with static loading. Considering that for the majority of materials from which the railway track consists, speeds of distribution of waves considerably exceed opportunities even modern high-speed trains, this question didn't demand attention. But today this thought changes on opposite, especially, as far as concerns railway tracks on soft grounds in which the speed of distribution of waves isn't so great. In some works even the term «soil blow» by analogy to sound blow started appearing [11, 14].

So at the site of the railway that runs along the waterfront Stilton in the UK recorded a sharp change deflection of the rail at speeds of 180 km/h. The explanation was found in the presence of ballast in soft soils such as peat and silty clay [15].

In the Netherlands, the area between Amsterdam and Utrecht conducted tests for measuring the velocity of wave propagation in the soil for the possibility of passing the French TGV train speeds over 160 km / h in areas with mounds, consisting of weak soils [15].

In the south-west Sweden in Gothenburg, Malmö site speed train X2 000 was limited to 160 km / h in wave phenomena in the soil [13].

The presence of certain problems of railway track on weak soils is noted on some railroad of Hungary [12].

The issue of delay appearance of rail deflection at high speeds went up in the Austrian authors [3], where, in addition to theoretical considerations, experimental evidence shows the results corresponding effects on test plots near Vienna at speeds over 230 km / h.

Purpose

The theoretical prerequisites of emergence of effects of «soil blow» are considered within this work and numerous parameters of process by means of mathematical modeling are investigated. As the practical purpose it is supposed to provide equal train service speeds within which it is possible to exclude possibility of emergence of the specified effects reasonably.

Methodology

Most current models of stress-strain state of railway track, usually based on the principles of static elasticity. It is assumed that the considered system of bodies in a state of equilibrium and elastic deformation under the applied force immediately reach respective values. It isn't enough such approach for tasks in which time between the moment of the appendix of loading and establishment of true balance it is comparable with time of action or change of loading. It doesn't correspond to that on a task and the method of final elements which was widely adopted recently including for modeling of a railway track: it doesn't give the chance to receive full four-dimensional model.

For the solution of these objectives essentially new model of railway track based on the wave theory of tension distribution in system of elastic bodies [1, 2, 8] was used. For creation of such model the railroad is considered as spatial system of objects which are characterized by the geometrical sizes and physical properties determining speeds of distribution of waves and parameters of deformations of elasticity and shift. The emergence and distribution in a body of object of spatial spherical waves is considered as a reaction to action of external forces. Distribution of waves is corrected by the extent of objects and considers changes in parameters of wave process upon transition from one object to another, and also emergence of the reflected waves from borders of contacts. The common decision of the equations describing position of the front of a wave at the moment of time, and the equations defining change of potentials of tension in a body of objects taking into account dynamic deformation of material is result. Such approach gives the chance with a certain temporary in interval to define borders of distribution and value of tension and deformations.

Let's consider the process of forming a deflection of the rail on the example of modeling a sudden application of force to the wheels on the rails. Initially there clutching the rail voltage, but very fast (about 0.03rd-ms) are transmitted to the substrate and then to sleepers. At 0.09th ms and intensity of ties begin to be transferred to the ballast. Almost at the same time (0.1st ms) load transferred from rail begins on the first adjacent sleepers and further along the length of the rails. Deformation substrates lead to a redistribution of stresses in the

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

rail and provides the beginning of the bend. At 0.3rd ms and tie is already full contact with the ballast to half its length, given as sole sleepers, and its lateral surface. Ballast begins to contract, making it possible to extend the rail curve. During the transition from the front tension ties to the ballast area of interaction will vary over time (increase from point to the entire surface of the sole sleepers).

From the first moment of this interaction strain will be distributed in the thickness of ballast, but the speed distribution over the surface of the ballast will be significantly less than the growth rate of the area on which the stress transferred from sleepers on ballast. This leads to more complex shapes of the wave front in comparison to the classical description of distribution as two-axial. Depending on the thickness, condition, physical properties of matter ballast, etc., by 1.0...1.8 ms and tensions begin to be transmitted to the roadbed. With the growth and proliferation of elastic contraction in roadbed is at last re-stresses between the layers of sub rail basis and in another passage of some time, depending on the properties of the soil, rake up the final parameters of bending.

Thus, the deflection of a rail is provided with deformation of all layers of which the sub rail basis consists. It must be kept in mind that for a «full» deflection of a rail of deformation of a sub rail basis have to gather the corresponding values not only directly on a vertical shaft of application of force, but also on all length of a lath, it is attracted to a deflection. Depending on the module of elasticity of a sub rail basis length of a notable deflection of a rail makes some meters.

According to the velocity propagation of elastic waves, eventually increasing depth sub rail basis, which is involved in the formation of deflection rails, but on the other hand, the deformation depth decreases rapidly reduce their impact on the overall deflection. Furthermore, even already gained significance in certain strains depth marks do not remain constant over time, and are oscillatory (although aimed at damping) character. All this complicates the criterion for determining such estimated moments when we can assume that the deflection rails gained full implementation.

In the numerical calculations fixed deformation of sub rail bases on several axes adjacent sleepers - the points of coincidence rail deflection and deformation sub rail bases. By bending the rails, as a reference value, determined by the modulus of

elasticity sub rail base. If further development deflection changed the modulus of elasticity no more than 5%, it is conventionally recorded acquiring «full» deep.

The change in the wave front of outline stresses in railway track on the simulation results for the soil deformation modulus of 25 MPa is shown on figure 1. The vertical axis on figure coincides with the axis of application of force. The last line shows the time to 26.5 ms after the date of application of the load, for this example corresponds to the condition «full» deflection rails.

For the example figure 2 shows the relationship of the analytical rail deflection by the formula (1) [4, 5] and deflections of sub rail bases axes sleepers on the results of modeling for steady state

$$z = \frac{Pk}{2U} e^{-kx} (\cos kx + \sin kx), \quad (1)$$

where P – the vertical force operating on a batten; k – coefficient of relative stiffness; U – elastic modulus of sub rail basics; x – distance along the length of the rails from the point of force application.

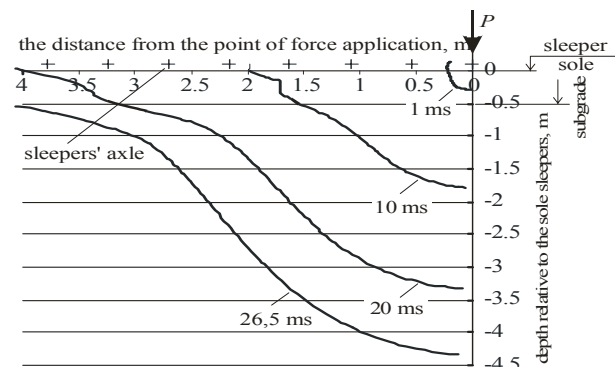


Fig. 1. Outline of the wave front in sub rail space

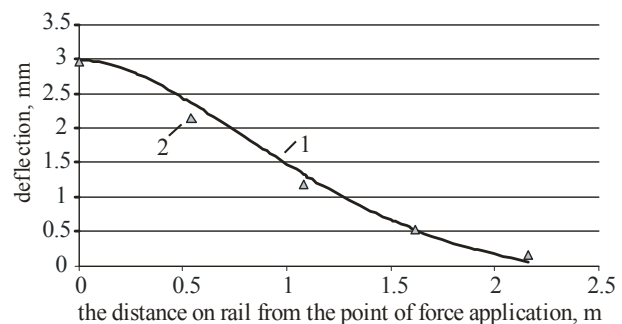


Fig. 2. Change the trough length:
1 – Analytical deflection rails; 2 – deflection of sub rail foundations for re-modeling results

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

If to consider conveyances of loading (the movement of a wheel) on a rail, it is incorrect to describe process of a deflection of a lath in section from zero to maximum value, preceding from the assumption what exactly is in this section a wheel all the time of development of a deflection. For probe of a certain section of track, it is necessary to consider that the deflection in it begins in the wheel time spent for some distance. At the movement of a wheel further from the chosen section the front of a wave of elastic deformation continues to extend. In a case when the speed of the movement of the train is significantly less than a speed of distribution of elastic waves, the wheel always remains in a zone of the realized deformations.

If to enter designations: $A(x)$ – set of points of a half-space are limited to the front of a wave sufficient for realization of a «full» deflection z_n in the point x ; $B(x, t)$ – set of points of a half-space are limited to the front of a wave after its distribution relatively $A(x)$ on time t , so between running speed, at get on «full» deflection, will be defined by reference

$$z(V) = z_n : A(x + Vdt) \in B(x, dt). \quad (2)$$

The example of calculation by reference (2) for relative exaggerate value dx is shown on fig. 3. At running speed V_1 (line 2) the bending deflection have time to form completely and at speed V_2 (line 4) do not have time.

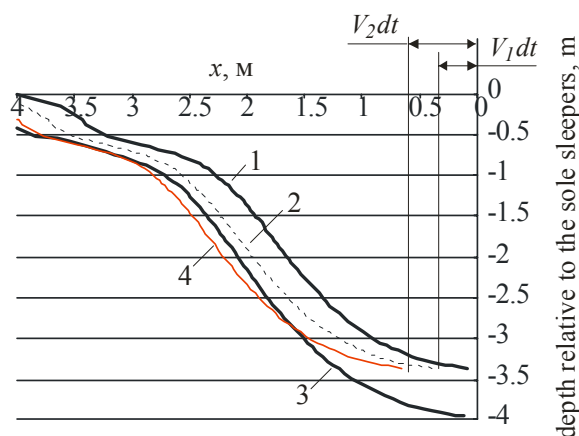


Fig. 3. Outlines of a wave fronts:
1 – $A(0)$; 2 – $A(V_1 dt)$; 3 – $B(0, dt)$; 4 – $A(V_2 dt)$

Thus, calculations show that the movement with so high speeds can take place; the bending deflection of a rail won't be able to manage to reach the values expected behind static schemes. Perhaps that is said about these processes, for example, in [3]. However, it is still too large such speed, even larger than the transverse velocity of wave propagation in the soil. This is explained by the redistribution quickly load ground work first ties, and ballast. In a number of works ([12, 13, 15]), on the contrary, growth of bending deflections of a rail at the movement with speeds is shown the big just cross wave speed in the soil.

To show an explanation of this process, it is possible on the static circuit. As a rule, the theoretical part of tension calculations and deformations in ballast and a road bed is based on decisions of Bussinsk, Flaman and Mitchell and on their more modern additions. Anyway the half-space, brought to a two-dimensional task which free surface is loaded with constant external force is considered. From loading in the thickness of a half-space there is tension and deformations connected by Hooke's law. The solution of a task consists in clarification of dependence between the external force and internal tension (deformations) [6]. Force is counterbalanced by reactions from deformation of the massif of a half-space. In the Boussinesq's classical formulation the part of half-space conditional section created a half circle of constant radius. Basic Flaman's formulation is considered weightless isotropic plate is limited with only one horizontal side, which has concentrated the external force. The solution, which is proposed by Mitchell in an original form corresponds a cone by the loaded force applied to its top and works in the direction of its axil [10].

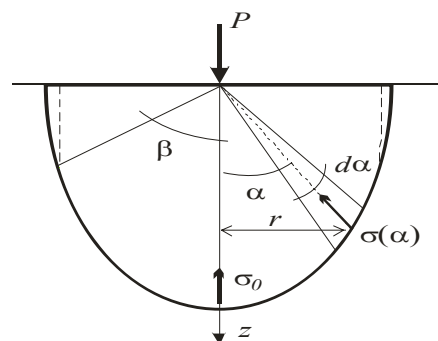


Fig. 4. The analytical model for tension determination in the environment from single unit force

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Let's consider a task in Boussinesq's classical formulation, but we will separate the settlement array of a half-space biaxial the sphere, answering outlines to distribution of the tension wave at the most enclosed in a point. The analytical model is given in fig. 4.

The external load is considered as single unit force P , that applied at the point and acts in the vertical direction (axel « z »). The axes sizes areas determined in accordance longitudinal (C_l) and transverse (C) speed of wave propagation:

$$\left. \begin{aligned} C_l &= \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \\ C &= \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\mu)}} \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

where E – stress-strain modulus; ρ – density of matter; μ – Poisson's ratio.

It is possible to consider that the section surface in space consists of separate rings (fig. 5) which radius increases to a surface

$$r = C_\alpha t \sin \alpha, \quad (4)$$

where α – angle that determines the position of the point on the section, $\alpha \in [0; \pi/2]$; C_α – wave velocity in the direction α ; t – time indicator.

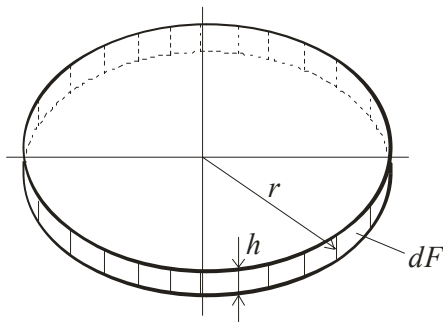


Fig. 5. Space of the action ring tension of identical value

The area of the ring will be determined by the formulation

$$dF(\alpha) = 2\pi r h, \quad (5)$$

where h – conventional thick rings, $h = C_\alpha t d\alpha$; or in a final form

$$dF(\alpha) = 2\pi C_\alpha^2 t^2 \sin \alpha d\alpha. \quad (6)$$

On the surface calculation section will apply tension and strain occurs as a reaction to external force. Different issues can be considered normal and tangential components of the stress acting on the ground tangent to the surface and cross section perpendicular to the direction of the force, etc. If in a general view to tell about full of tension σ_α , forces directed to a point of application, that, considering that the surface of section is formed by the sphere, the following dependence is offered

$$\sigma_\alpha = \sigma_0 \frac{C_l^2}{C_\alpha^2} \cos^2 \alpha, \quad (7)$$

where σ_0 – stress acting along the axis of application of force P .

For the system which is in an equilibrium state (the static task is considered), the equation has to be carried out

$$P = \int_0^{\pi/2} \sigma_\alpha \cos \alpha dF(\alpha), \quad (8)$$

or, considering the previous formulas

$$P = 2\pi C_l^2 t^2 \sigma_0 \int_0^{\pi/2} \cos^2 \alpha \sin \alpha d\alpha. \quad (9)$$

Equation (9) can be reduced to Boussinesq's formulation definition of stress at a given depth z

$$\sigma_0 = \frac{3P}{2\pi z^2}. \quad (10)$$

The hypothesis is that at a movement speed $V > C$, the sphere (see Fig. 4) doesn't manage to be created. In that case external loading will be counterbalanced by a smaller surface

$$P = 2\pi C_l^2 t^2 \sigma_0 \int_0^\beta \cos^2 \alpha \sin \alpha d\alpha, \quad (11)$$

where β – angle, that determines the level of implementation areas,

$$\sin^2 \beta = \frac{\varphi^2}{1-\varphi^2} \left(\frac{C_l^2}{V^2} - 1 \right), \quad (12)$$

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

where $\varphi = \sqrt{\frac{1-2\mu}{2(1-\mu)}}$.

The level of increase in vertical tension, and respectively and deformations, it is possible to express through coefficient which shows the reaction attitude from the full sphere (9) reactions from the limited sphere (11)

$$k = \frac{\frac{1}{3}}{\int_0^\beta \cos^2 \alpha \sin \alpha d\alpha}. \quad (13)$$

Given the above dependence and taking Poisson's ratio equal to 0.3, the rate of increasing in vertical stress and strain can be obtained in the form

$$k = \frac{1}{1 - \left[1.4 - \frac{1.4C^2}{V^2} \right]^{\frac{3}{2}}}. \quad (14)$$

More detailed calculations require taking into consideration that the bending deflection of rail consists not only of ground deformation that shape the wave front in the soil, being transferred from ballast different from the correct biaxial field [7], and so on. In a certain degree it is possible to reach applying the mode of modeling stated above [8]. As an example, in fig. 6 the dependence of a bending deflection of rail a wheel from movement speed for the soil with the module of deformation of 10 MPa received by results of modeling taking into account the stated hypothesis is shown.

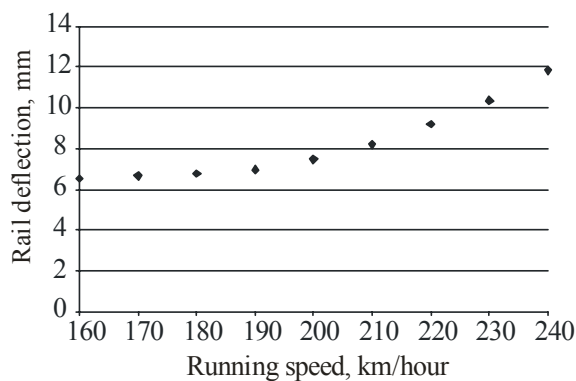


Fig. 6. The dependence of the rails deflection from the speed of the ground with $E = 10$ MPa

Considered the characteristic of the soil there corresponds the cross speed of a wave 185 km/h. In fig. 6 significant growth in a rail deflection at the movement with speeds is observed, it is more than specified. Results are shown correspond to the experimental data given in work [15].

Findings

Using the wave model of stress-strain state lines was determined speed, which upon reaching deflection rail does not have time to acquire the «full» value. The calculations were performed according to the conditions described above (see. Fig. 3). The various options of basic data are considered. Selectively results of calculations are given in tab. 1. Thus the design of a track was presented by ferroconcrete cross ties with distance of 0,54 m between shafts and a crushed-stone ballast 0,5 m thick under a cross tie.

According to the table it is possible to determine movement speed (C), at which the observed increase in rail deflections, and speed (V_z), in which will not have time to realize «full» deflection rails. Speeds are specified on a major factor - the module of deformation of a soil. The module of elasticity of a sub rail basis was defined results of modeling of a deflection as the additional characteristic.

Originality and practical value

The latest similar of the intense deformed condition of a railway track which allowed solving problems for which time for emergence of reactions in a railway track from a rolling stock plays an essential role are applied.

The offered theoretical justifications of processes which take place at perception of loading elements of a railway track at high speeds of the movement.

According to the simulation results obtained significance level speeds that determine the appearance of the considered dynamic effects in sub rail basis. The obtained data can be used to justify the construction or installation gauge the relative values of allowable velocity for the implementation of high-speed traffic.

Table 1

Determinants level speeds				
Stress-strain modulus, MPa		Modules of sub rail basis (U), MPa	running speed, km/hour	
ballast (E_6)	ground (E_{rp})		Which exceeding the speed transverse waves in ground (C), km/hour	at which the deflection isn't completely realized (V_z), km/hour
100	7	11	160	215
	10	15	185	250
	15	20	230	315
	20	26	265	360
	25	31	300	395
200	30	38	325	405
	40	44	375	440
	50	53	420	485
	64	64	520	530
	75	86	520	640

Conclusions

At the movement of the train on a railway track with a speed more cross speed of distribution of waves in a soil nature of perception of loading in sub rail to a basis changes that gives to notable (to two times) to increase in rails deflections.

In the presence of soft grounds, the rate limit of the movement, corresponding to emergence of the specified phenomenon, decreases. So, for soils with the module of deformation of 7 MPa, the cross speed of waves distribution makes only 160 km/h.

Even at such speeds time to ensure soil elastic deformation to form a trough rails. This is because the load is distributed on a ground layer of ballast that provides quick involvement ground interaction.

With further increasing the speed of the sub rail basis may not have time to implement the entire length of the deformation formation deflection rails. This would result in effect when the rail will not have time to fully bend. Even in soils with little

deformation modules (7...10 MPa) for the speed of the appearance of this effect has 215...250 km / h respectively. The level of speed, in addition to the characteristics of the soil (although they are crucial), also affect the properties of the layers of ground.

By drawing up a road bed of the ground which has the deformation module sufficient for providing the general module of elasticity of a sub rail basis at the level of 40...50 MPa and more (that is put in the majority of track calculations on strength) are investigated effects can appear at rather big on today's levels movement speed – 350...400 km/h and above.

LIST OF REFERENCE LINKS

- Бондаренко, І. О. Вирішення задач надійності системи на основі моделювання напружено-деформаційного стану залізничної колії засобами теорії розповсюдження пружних хвиль / І. О. Бондаренко, Д. М. Курган // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 1 (43). – С. 139–148.
- Бондаренко, І. О. Застосування теорії розповсюдження пружних хвиль для вирішення задач напружено-деформаційного стану залізничної колії / І. О. Бондаренко, Д. М. Курган // Трансп. системи і технології : зб. наук. пр. ДЕТУТ. – Київ, 2011. – Вип. 18. – С. 14–18.
- Брандль, Х. Взаимодействие оснований и сооружений высокоскоростных железных дорог [Electronic resource] / Х. Брандль, А. Паульмичл // XIII Дунайско-Европ. конф. по геотехнике (29.05-31.05.2006 г.). – Любляна, Словения. – Режим доступу: <http://www.ge-rec.spb.ru/journals/11/files/11009.pdf>. – Назва з екрана. – Перевірено : 17.02.2015.
- Даніленко, Е. І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом : підруч. для вищих навч. закладів : в 2 т. / Е. І. Даніленко. – Київ : Інпрес, 2010. – Т. 2. – 456 с.
- Даніленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість : ЦП-0117 / Е. І. Даніленко, В. В. Рибкін. – Київ : Трансп. України, 2004. – 64 с.
- Дослідження параметрів модернізованого земляного полотна / В. Д. Петренко, А. М. Алхдур, О. Л. Тютюкін, В. В. Ковалевич // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 41. – С. 164–169.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

7. Кольский, Г. Волны напряжения в твердых телах / Г. Кольский. – Москва : Иностран. лит., 1955. – 192 с.
8. Курган, Д. Модель напряженно-деформированного состояния железно-дорожного пути на основе волновой теории рас-пространения напряжений / Д. Курган, И. Бондаренко // Problemy Kolejnictwa. – 2013. – Vol. 159. – P. 99–111.
9. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Electronic resource] / Схвалено розпорядженням Каб. Міністрів України від 20 жовт. 2010 р. № 2174-р. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80>. – Назва з екрана. – Перевірено : 17.02.15.
10. Фришман, М. А. Земляное полотно железных дорог / М. А. Фришман, И. Н. Хохлов, В. П. Титов. – Москва : Транспорт, 1972. – 288 с.
11. Connolly, D. Numerical modelling of ground borne vibrations from high speed rail lines on embankments / D. Connolly, A. Giannopoulos, M. Forde // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2013. – Vol. 46. – P. 13–19. doi: 10.1016/j.soildyn.2012.12.003.
12. Koch, E. A mélykeverés technológia vasútépítési alkalmazásának lehetőségei / E. Koch, R. Szepesházi // SÍNEK VILÁGA. – 2013. – № 2. – P. 9–14.
13. Rail movement and ground waves caused by high-speed trains approaching track-soil critical velocities / V. V. Krylov, A. R. Dawson, M. E. Heelis, A. C. Collop // Proc. of The Institution of Mechanical Engineers Part F-journal of Rail and Rapid Transit. – 2000. – Vol. 214, № 2. – P. 107–116. doi: 10.1243/0954409001531379.
14. Using three-dimensional finite element analysis in time domain to model railway-induced ground vibrations / G. Kouroussis, L. Van Parys, C. Conti, O. Verlinden // Advances in Engineering Software. – 2014. – Vol. 70. – P. 63–76. doi: 10.1016/j.advengsoft.2014.01.005.
15. Woldringh, R. F. Embankment design for high speed trains on soft soils / R. F. Woldringh, B. M. New // Proc. of the 12th Europ. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (7.06-10.06.1999). – Amsterdam, The Netherlands, 1999. – Vol. 3. – P. 1703–1712.

Д. Н. КУРГАН^{1*}

^{1*}Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс + 38 (056) 373 15 42, эл. почта kurgan@brailsys.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

ОСОБЕННОСТИ ВОСПРИЯТИЯ НАГРУЗКИ ЭЛЕМЕНТАМИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ ПРИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ ДВИЖЕНИЯ

Цель. Увеличение скоростей движения поездов требует не только соответствующих технических, а и методико-расчетных решений. Большинство моделей и методик, которые используются для решения задач напряженно-деформированного состояния железнодорожного пути, базируются на допущениях и гипотезах, адекватных только для определенных скоростей движения. В рамках данной работы будут рассмотрены теоретические предпосылки изменения характера восприятия нагрузки элементами железнодорожного пути при высоких скоростях движения и исследованы числовые параметры процессов при помощи математического моделирования. В качестве практической цели предполагается предоставить уровни скоростей движения поездов, в границах которых можно обосновано исключить возможность появления рассмотренных эффектов. **Методика.** Для решения поставленных задач была использована принципиально новая модель железнодорожного пути, основанная на волновой теории распространения напряжений в системе упругих тел. Для исследования воздействия от подвижной нагрузки учитывалось, что прогиб в определенном сечении пути начинается еще во время нахождения колеса на некотором расстоянии, а при движении колеса дальше от выбранного сечения фронт волны упругой деформации продолжает распространяться. По результатам моделирования исследуется изменение очертания фронта волны напряжений во времени для подпольного основания. Если скорость движения поезда существенно меньше скорости распространения упругих волн, колесо остается в зоне реализованных деформаций. **Результаты.** По вариантным расчетам для различных параметров железнодорожного пути (прежде всего, для разных характеристик грунта) опре-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

делены уровни скоростей движения поездов, в границах которых можно обоснованно исключать возможность появления рассмотренных эффектов. **Научная новизна.** Предложены теоретические обоснования и реализация в виде математической модели для процессов, которые возникают при восприятии нагрузки элементами железнодорожного пути при высоких скоростях движения. **Практическая значимость.** По результатам моделирования получены уровни скоростей движения, которые определяют появление рассмотренных динамических эффектов в подрельсовом основании. Они могут быть использованы для обоснования конструкции пути или установления соответствующих значений допустимых скоростей для внедрения движения с высокими скоростями.

Ключевые слова: верхнее строение пути; скоростное движение; напряжение в пути; прогиб рельса; волновая модель; подрельсовое основание; деформация грунта

Д. М. КУРГАН^{1*}

^{1*}Каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс + 38 (056) 373 15 42, ел. пошта kurgan@brailsys.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

ОСОБЛИВОСТІ СПРИЙНЯТТЯ НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТАМИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ПРИ ВИСОКИХ ШВИДКОСТЯХ РУХУ

Мета. Збільшення швидкостей руху поїздів вимагає не тільки відповідних технічних, а й методично-розрахункових засобів. Багато моделей та методик, що використовуються для вирішення задач напружено-деформованого стану залізничної колії, базуються на допущеннях та гіпотезах, адекватних тільки для певних рівнів швидкості руху. В рамках даної роботи будуть розглянуті теоретичні передумови зміни характеру сприйняття навантаження елементами залізничної колії при високих швидкостях руху та досліджені чисельні параметри процесів за допомогою математичного моделювання. В якості практичної мети передбачається надати рівні швидкостей руху поїздів, в межах яких можна обґрунтовано виключати можливість появи розглянутих ефектів. **Методика.** Для рішення поставлених завдань була використана принципово нова модель залізничної колії, заснована на хвильовій теорії розповсюдження напружень у системі пружних тіл. Для дослідження дії від рухомого навантаження враховувалось, що прогин у певному перерізі колії починається ще під час знаходження колеса на деякій відстані, а при зрушенні колеса далі від вибраного перерізу фронт хвилі пружної деформації продовжує поширюватись. За результатами моделювання досліджується зміна обрису фронту хвилі напружень у часі для підрейкової основи. Якщо швидкість руху поїзда суттєво менше за швидкість розповсюдження пружних хвиль, колесо залишається в зоні реалізованих деформацій. **Результати.** За варіантними розрахунками для різних параметрів залізничної колії (перш за все, для різних характеристик ґрунту) визначено рівні швидкостей руху поїздів, в межах яких можна обґрунтовано виключати можливість появи розглянутих ефектів. **Наукова новизна.** Запропоновано теоретичні обґрунтування та реалізацію у вигляді математичної моделі для процесів, що мають місце під час сприйняття навантаження елементами залізничної колії при високих швидкостях руху. **Практична значимість.** За результатами моделювання отримано рівні швидкостей руху, що визначають появу розглянутих динамічних ефектів у підрейковій основі. Вони можуть бути використані для обґрунтування конструкції колії або встановлення відповідних значень допустимих швидкостей для впровадження руху з високими швидкостями.

Ключові слова: верхня будова колії; швидкісний рух; напруження в колії; прогин рейки; хвильова модель; підрейкова основа; деформація ґрунту

REFERENCES

1. Bondarenko I.O., Kurhan D.M. Vyrishennia zadach nadiinosti systemy na osnovi modeliuvannia napruzhenodeformatsiynoho stanu zaliznychnoi kolii zasobamy teorii rozpovsiudzhennia pruzhnykh khvyl [Solution of the problems of system reliability by modeling the stress-strain state of rail track using the theory of elastic waves propagation]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 1 (43), pp. 139-148.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

2. Bondarenko I.O., Kurhan D.M. Zastosuvannya teorii rozpovsiudzhennia pruzhnykh khvyli dlia vyreshennia zadach napruzhenno-deformatsiynoho stanu zaliznychnoi kolii [Application the theory of elastic waves distribution for the problems solution of stress-strain state of the railway]. *Transportni systemy i tekhnologii. Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho ekonomiko-tekhnolohichnoho universytetu transportu* [Transport system and Technology. Proc. of State Economy and Technology University of Transport]. Kyiv, 2011, no. 18, pp. 14-18.
3. Brandl Kh., Paulmichl A. Vzaimodeystviye osnovaniy i sooruzheniy vysokoskorostnykh zheleznykh dorog. [The interaction of the grounds and structures of high-speed railways]. *XIII Dunaysko-Yevropeyskaya konferentsiya po geotekhnike (29–31.05.2006)*. [Danube-European conference on geotechnical engineering, Lublin, Slovenia (29–31 May 2006)]. Lyublyana, Sloveniya. Available at: <http://www.gerec.spb.ru/journals/11/files/11009.pdf> (Accessed 17 February 2015).
4. Danilenko E.I. *Zaliznychna kolia. Ulashtuvannya, projektuvannya i rozrakhunky, vzaємodiia z rukhomym skladom* [Railway track. Device design and calculations, interaction with rolling stock]. Kyiv, Inpres Publ., 2010. Vol. 2. 456 p.
5. Danilenko E.I., Rybkin V.V. TsP-0117. *Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist i stiikist* [TsP-0117. The computations rules of the railway track for strength and stability]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2004. 64 p.
6. Petrenko V.D., Alkhdur A.M., Tiutkin O.L., Kovalevych V.V. Doslidzhennia parametriv modernizovanoho zemlianooho polotna [Research of parameters of the modernized subgrade]. *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. 164-169.
7. Kolskiy G. *Volny napryazheniya v tverdykh telakh* [Stress Waves in Solids], Moscow, Inostrannaya literatura Publ., 1955. 192 p.
8. Kurgan D.M., Bondarenko I.O. Model napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zheleznodorozhnogo puti na osnove volnovoy teorii rasprostraneniya napryazheniy [Model of the stress-strain state of the railway track on the basis of the straine-wave propagation theory]. *Problemy Kolejnictva*, 2013, no. 159, pp. 99-111.
9. *Transportna stratehiia Ukrainy na period do 2020 roku. № 2174-r* [The transport strategy of Ukraine for the period till 2020 year. No. 21–74–r]. Available at: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80> (Accessed 17 February 2015).
10. Frishman M.A., Khokhlov I.N., Titov V.P. *Zemlyanoye polotno zheleznykh dorog* [Roadbed for railways]. Moscow, Transport Publ., 1972. 288 p.
11. Connolly D., Giannopoulos A., Forde M. Numerical modelling of ground borne vibrations from high speed rail lines on embankments. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2013, vol. 46, pp. 13-19. doi: 10.1016/j.soildyn.2012.12.003.
12. Koch E., Szepesházi R. A mélykeverés technológia vasútépítési alkalmazásának lehetőségei. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2013, no. 2, pp. 9-14.
13. Krylov V.V., Dawson A.R., Heelis M.E., Collop A.C. Rail movement and ground waves caused by high-speed trains approaching track-soil critical velocities. *Proc. of The Institution of Mechanical Engineers Part F-Journal of Rail and Rapid Transit*, 2000, vol. 214, no. 2, pp. 107-116. doi: 10.1243/0954409001531379.
14. Kouroussis G., Van Parys L., Conti C., Verlinden O. Using three-dimensional finite element analysis in time domain to model railway-induced ground vi-brations. *Advances in Engineering Software*, 2014, vol. 70, pp. 63–76. doi: 10.1016/j.advensoft.2014.01.005.
15. Woldringh R.F., New B.M. Embankment design for high speed trains on soft soils. *Proc. of the 12th Europ. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (7.06-10.06.1999)*. Amsterdam, 1999, vol. 3, pp. 1703-1712.

Prof. V. D. Petrenko, D. Sc. (Tech.) (Ukraine); Prof. D. V. Laukhin, D. Sc. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Received: Jan. 15, 2015

Accepted: March 23, 2015

УДК 625.143.5

М. П. НАСТЕЧИК¹, І. О. БОНДАРЕНКО², Р. В. МАРКУЛЬ^{3*}

¹Каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, ел. пошта nastechik_mp@mail.ru, ORCID 0000-0002-4178-6092

²Каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, ел. пошта igina_bondarenko@ua.fm, ORCID 0000-0003-4717-3032

^{3*}Каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, ел. пошта guaranga_mr@mail.ru, ORCID 0000-0002-7630-8963

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ В ЕЛЕМЕНТАХ ВУЗЛА СКРІПЛЕННЯ ТИПУ КПП-5 ПІД ДІЄЮ РУХОМОГО СКЛАДУ

Мета. На сьогодні існує тенденція з впровадження швидкісного та високошвидкісного руху поїздів на дорогах Укрзалізниці, що потребує підвищення міцності та стійкості конструкції залізничної колії. Одночасно із цим підвищились та розширились вимоги, пред'явлені до проміжних рейкових скріплень. Саме на колійні роботи з утримання та ремонту вузла скріплення припадає від 10 до 18 % трудових витрат під час експлуатації. Одним із основних видів скріплення, які після довготривалих експлуатаційних спостережень увійшли в постійну експлуатацію (5 тис. км) є проміжне скріплення типу КПП-5. Дані попередніх теоретичних досліджень достовірно не давали чітких науково-обґрунтованих відповідей та результатів роботи всього вузла скріплення. Тому метою досліджу є розробка та обґрунтування методики проведення теоретичного дослідження роботи вузла скріплення типу КПП-5 із детальною оцінкою місць появи напруженого стану в його елементах від дії рухомого складу. **Методика.** В основі обґрунтування методики теоретичного дослідження роботи вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 (з детальною оцінкою напруженого стану в його проміжних елементах від дії рухомого складу) лежить теорія методу скінченних елементів (МСЕ). **Результати.** З допомогою застосування теорії МСЕ було встановлено: одним із головних елементів вузла скріплення, які першими сприймають частку величини бічної сили, що передається від дії рухомого складу, є пружні клеми типу КП-5. Аналізуючи отримані дані, встановлено, що значення напружень у прутках клеми з внутрішньої сторони рейкової нитки на 53,1–56 % більше, ніж значення напружень у зовнішній стороні рейкової нитки. **Наукова новизна.** Розроблена математична модель роботи залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 під дією рухомого складу для дослідження напруженого стану в елементах вузла скріплення. Дана математична модель дозволяє врахувати фізико-механічні властивості досліджуваних елементів та геометричні умови закріплення, що представляють собою конструктивні та експлуатаційні характеристики роботи всього вузла скріплення в цілому. **Практична значимість.** Отримані в даній роботі положення та результати скінченно-елементного моделювання дозволяють відобразити та дослідити найбільш імовірні місця появи напруженого стану в елементах скріплення типу КПП-5, в яких в подальшому можуть виникнути пошкодження та дефекти, що впливатиме на стабільність роботи залізничної колії в цілому.

Ключові слова: проміжне скріплення; пружна клема; підрейкова прокладка; жорсткість; сила притискання; метод кінцевих елементів

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Вступ

Більше ніж півтора століття практика експлуатації колії наочно показала, що для всіх видів дерев'яних і залізобетонних підрейкових основ найбільш складним конструктивно і технологічно найважливішим вузлом є проміжні рейкові скріплення. Саме на колійні роботи з утримання і ремонту скріплень припадає значна частина трудових затрат під час експлуатації колії. Із використанням залізобетонних шпал, одночасно підвищилась і жорсткість залізничної колії, тим самим збільшуючи імовірність появи різних дефектів та пошкоджень в рейках, а також і вібраційної взаємодії між елементами верхньої будови колії. Незадовільний вплив вищезазначених факторів певною мірою проявляється опором конструкції колії збільшеному поїзному навантаженню в поперечно-горизонтальній площині. Особливо це спостерігається в кривих малого радіуса, де величина дії бічних сил коливається від 75 до 130 кН [12]. Результатом дії таких сил є поява у певних місцях елементів скріплення значного напружено-деформованого стану, що впливає на стабільність роботи елементів вузла проміжного рейкового скріплення типу та КПП-5, які на сьогодні є основними по всій мережі Укрзалізниці.

Найбільш достовірні місця напружено-деформованого стану в елементах вузла проміжного рейкового скріплення, в яких в подальшому під час тривалої експлуатації можуть виникнути пошкодження переважно від дії бічних сил, визначались в основному експериментальними методами, що виконувались у 60–70-х роках минулого століття.

Дані досліджень достовірно не давали науково обґрунтованих відповідей та чітких результатів роботи всього вузла проміжного рейкового скріплення під дією сил, що передавались на елементи проміжного рейкового скріплення від рухомого складу.

Мета

Метою є розробка та обґрунтування методики виконання теоретичного дослідження роботи вузла скріплення типу КПП-5 з детальною оцінкою місць появи напруженого стану в його елементах під дією рухомого складу.

Методика

Основою теоретичного дослідження роботи залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 з детальною оцінкою напруженого стану в його проміжних елементах під дією рухомого складу є методика, що базується на теорії методу скінченних елементів (далі МСЕ).

Розв'язання певної задачі включає декілька етапів, що зображено на рис. 1.

На рис. 2 наведена остаточна схема моделі для дослідження та детальної оцінки роботи всього вузла рейкового скріплення типу КПП-5 з метою отримання достовірних результатів НДС елементів внаслідок зовнішньої дії сил, що передаються від коліс рухомого складу.

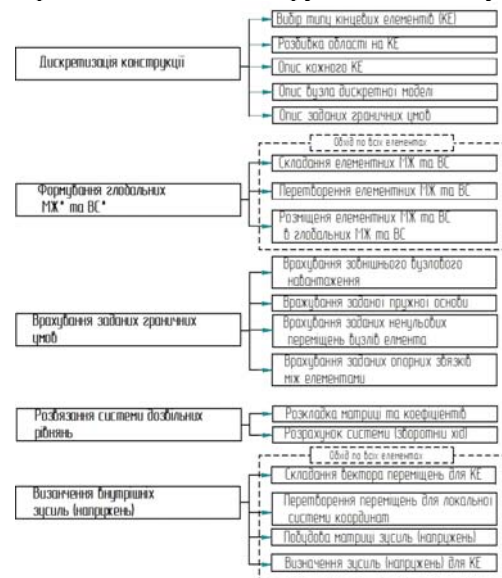


Рис. 1. Основні етапи розрахунку МЖ та послідовність їх виконання

Fig. 1. The main stages of FEM calculation and consistency of their performance

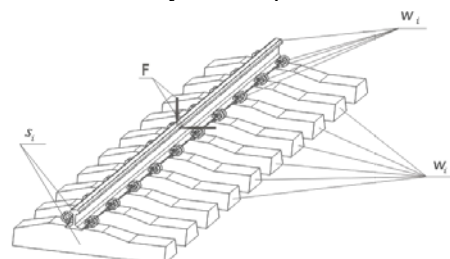


Рис. 2. Модель конструкції залізничної колії із скріпленням типу КПП-5

Fig. 2. Model of railway track construction of a fastening type КПП -5

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Враховуючи велике розсіювання характеристик залізничної колії та екіпажів, точність вимірювання вказаних величин (див. рис. 1) під час виконання експериментів знаходиться з допустимою похибкою на рівні $E = 10\%$. Міра змін цієї величини встановлюється коефіцієнтом варіації « v ». При $E = 10\% \rightarrow v = 10\%$. Тому під час виконання дискретизації конструкції, кількість кроків (рівнів) розбивки області на СЕ в подальших розрахунках визначалось не більше ніж 5% .

На основі попередньо виконаних досліджень було створено такий алгоритм:

$$R = f_{MCE}(\Omega, F, P, n/\Delta = 5\%), \quad (1)$$

$$\text{де } \Omega = \{\{\omega_1, \omega_2, \omega_i \dots\}, \{S_1, S_2, S_i \dots\}\}, \quad (2)$$

$$\omega_i = \{\{g_{i1}, g_{i2}, g_{ij} \dots\}, \{\varphi_{i1}, \varphi_{i2}, \varphi_{ij} \dots\}\}, \quad (3)$$

звідси

$$R = \{\{\sigma_{i1}, \sigma_{i2}, \sigma_{ik} \dots \sigma_{ia} \dots\}, \{y_{i1}, y_{i2}, y_{ik} \dots y_{ia} \dots\}\}, \quad (4)$$

де Ω – збірка елементів колії; ω_i – твердотілий i -ий елемент (об'єкт) сукупності елементів колії (клема, прокладка, рейка та ін.); g_{ij} , φ_{ij} – j -ий елемент сукупності геометричних параметрів і множина фізико-механічних властивостей об'єкта ω_i відповідно; $S = \{S_1, S_2, S_i \dots\}$ – множина (сукупність) зв'язків між об'єктами; F, P – сукупність навантажень та закріплень; n – кількість циклів розрахунку; Δ – %-на схожість суміжних результатів; σ_a , y_a – k -ий елемент напружень та деформацій об'єкта ω_i ; R – стан моделі відповідно розрахункам МКЕ.

Напруження, що пов'язані із деформаціями, описуються співвідношенням:

$$\{\sigma\} = [D] \{\varepsilon^{el}\}, \quad (5)$$

де $\{\sigma\}$ – вектор напружень; $[D]$ – матриця жорсткості; $\{\varepsilon^{el}\}$ – вектор пружної деформації.

Вектор напружень визначається з виразу:

$$\{\sigma\} = [\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \sigma_{xy}, \sigma_{yz}, \sigma_{xz}]^T. \quad (6)$$

Вихідний масив, виражений вектором пружної деформації, описується виразом:

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon^{th}\} + [D^{-1}] \{\sigma\}, \quad (7)$$

де $\{\varepsilon\}$ – вектор повної деформації; $\{\varepsilon^{th}\}$ – вектор температурної деформації.

Звідси

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \varepsilon_{xy}, \varepsilon_{yz}, \varepsilon_{xz}\}. \quad (8)$$

Вектор температурної деформації визначається з виразу:

$$\{\varepsilon^{th}\} = \Delta T [\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z, 0, 0, 0]^T, \quad (9)$$

$$\Delta T = T - T_{REF}$$

де $\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$ – коефіцієнт температурного розширення елемента в напрямку площини x, y, z ; T – існуюча температура в певній точці; T_{REF} – температура, при якій деформації відсутні.

Вектори деформацій (ε) в певних точках x, y, z, xy, yz, xz описуються такими рівняннями:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \Delta_x \Delta T + \sigma_x / E_x - \nu_{xy} \sigma_y / E_y - \nu_{xz} \sigma_z / E_z \\ \varepsilon_y &= \Delta_y \Delta T + \sigma_y / E_y - \nu_{xy} \sigma_x / E_x - \nu_{yz} \sigma_z / E_z \\ \varepsilon_z &= \Delta_z \Delta T + \sigma_z / E_z - \nu_{xz} \sigma_x / E_x - \nu_{yz} \sigma_y / E_y, \end{aligned} \quad (10)$$

$$\varepsilon_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{G_{xy}}; \quad \varepsilon_{yz} = \frac{\sigma_{yz}}{G_{yz}}; \quad \varepsilon_{xz} = \frac{\sigma_{xz}}{G_{xz}}$$

де $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ – величини деформацій елемента в напрямку осей x, y, z ; $\varepsilon_{xy}, \varepsilon_{yz}, \varepsilon_{xz}$ – деформації зсуву КЕ-точок в площинах xy, xz, yz ; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – напруження в елементах по осях x, y, z ; $\sigma_{xy}, \sigma_{yz}, \sigma_{xz}$ – напруження зсуву в площинах xy, xz, yz .

Згідно з виразом (5), обернена матриця описується так:

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

$$[D^{-1}] = \begin{bmatrix} 1/E_x & -\nu_{yx}/E_y & -\nu_{zx}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{yx}/E_x & 1/E_y & -\nu_{zy}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{zx}/E_z & -\nu_{zy}/E_y & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_y & 1/G_z \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

де E – модуль Юнга по осях x, y, z ; ν – коефіцієнт Пуансона; G – модуль зсуву в площинах xy, xz, yz .

Напруження (σ), що виникають в елементах в напрямку осей x, y, z , та напруження зсуву в площинах xy, xz, yz , описуються за такими виразами:

$$\begin{aligned} \sigma_x = & E_x/h \left[1 - (\nu_{yx}^2) E_y/E_z \right] (\varepsilon_x - \Delta_x \Delta T) + \\ & + E_x/h \left[\nu_{yx} + \nu_{zx} \nu_{yz} E_y/E_z \right] \times \\ & \times (\varepsilon_y - \Delta_y \Delta T) + E_x/h \left[\nu_{zx} + \nu_{yz} \nu_{zx} \right] \times \\ & \times (\varepsilon_z - \Delta_z \Delta T) \\ \sigma_y = & E_y/h \left[1 - (\nu_{zx}^2) E_x/E_z \right] (\varepsilon_y - \Delta_y \Delta T) + \\ & + E_y/h \left[\nu_{yx} + \nu_{zx} \nu_{yz} E_x/E_z \right] \times \\ & \times (\varepsilon_x - \Delta_x \Delta T) + E_y/h \left[\nu_{yz} + \nu_{zx} \nu_{yz} E_x/E_z \right] \times \\ & \times (\varepsilon_z - \Delta_z \Delta T) \\ \sigma_z = & E_z/h \left[1 - (\nu_{yx}^2) E_x/E_y \right] (\varepsilon_z - \Delta_z \Delta T) + \\ & + E_z/h \left[\nu_{zx} + \nu_{yz} \nu_{zx} \right] \times \\ & \times (\varepsilon_x - \Delta_x \Delta T) + E_z/h \left[\nu_{yz} + \nu_{zx} \nu_{yz} E_x/E_y \right] \times \\ & \times (\varepsilon_y - \Delta_y \Delta T), \quad (12) \end{aligned}$$

$$\sigma_{xy} = G_{xy} \varepsilon_{xy}, \quad \sigma_{zy} = G_{zy} \varepsilon_{zy}, \quad \sigma_{zx} = G_{zx} \varepsilon_{zx}$$

$$\begin{aligned} \text{де } h = & 1 - (\nu_{xy}^2) E_x/E_y - (\nu_{zy}^2) E_y/E_z - \\ & - (\nu_{xz}^2) E_x/E_z - 2\nu_{xy}\nu_{zy}\nu_{xz} E_x/E_z. \quad (13) \end{aligned}$$

Модуль зсуву в площинах xy, xz, yz описується такими виразами:

$$G_{xy} = (E_x E_y) / (E_x + E_y + 2\nu_{yx} E_x), \quad (14)$$

$$G_{zy} = (E_y E_z) / (E_y + E_z + 2\nu_{yz} E_y), \quad (15)$$

$$G_{xz} = (E_x E_z) / (E_x + E_z + 2\nu_{zx} E_x). \quad (16)$$

Під час дослідження напруженого стану елементів у вузлі проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 до моделі прикладались зовнішні сили (F) (див. рис. 2), які виникають у складних умовах експлуатації, а саме: в кривих ділянках колії.

На основі цього було детально переглянуто та проаналізовано значення бічних та горизонтальних сил, що виникають в кривих ділянках колії під дією рухомого складу, за експериментальними звітами лабораторії КГНДЛ ДНУЗТу [2–5, 7, 15–16]. У ході аналізу брались до уваги різні види дослідного рухомого складу та параметри улаштування ділянок колії.

Оцінка зміни величини бічних та вертикальних сил, що виникають в колії під дією різних типів рухомого складу залежно від діапазону радіусів, зображено на рис. 3–5.

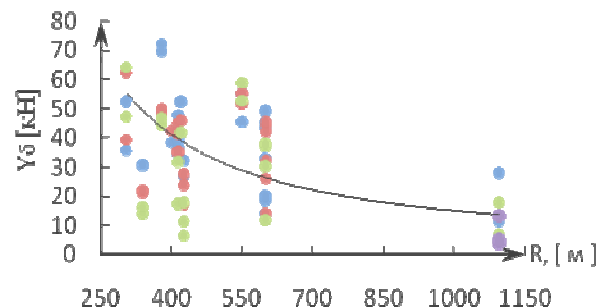


Рис. 3. Залежність бічних сил по зовнішній рейковій нитці від діапазону радіусів

Fig. 3. The dependence of lateral forces in the external rail thread from the range of radii

Величина бічних горизонтальних сил залежно від діапазону радіусів носить нелінійний характер (рис. 3), який можна описати функцією:

$$y = a + \frac{b}{x}, \quad (17)$$

де a, b – постійні параметри.

Параметри функції 17, за яких вона має мінімум, можна описати системою рівнянь:

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

$$\frac{\partial}{\partial a} \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2$$

$$\frac{\partial}{\partial b} \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2, \quad (18)$$

де x_i , y_i – виміряні координати i -ї точки; n – кількість точок з виміряними координатами.

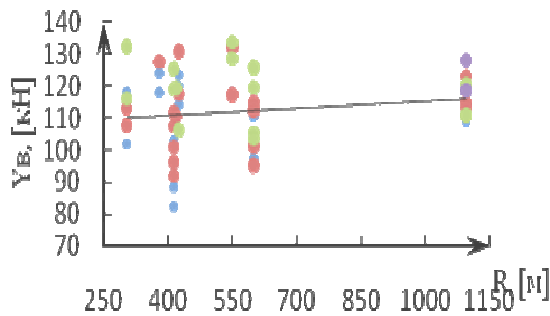


Рис. 4. Значення вертикальних сил по зовнішній нитці кривої залежно від діапазону радіусів

Fig. 4. The value of vertical forces in the external thread of the curve from range of radiuses

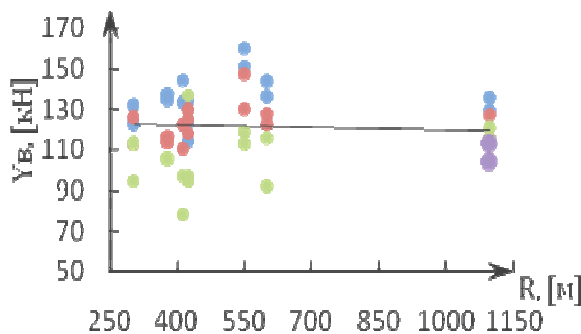


Рис. 5. Значення вертикальних сил по внутрішній нитці кривої залежно від діапазону радіусів

Fig. 5. The value of vertical forces on the internal thread of the curve from range of radiuses

Характер зміни величини вертикальних сил як по внутрішній, так і по зовнішній рейковій нитках залежно від діапазону радіусів R , м (за результатами апроксимування) носить лінійний характер (рис. 4, 5) та може описуватись функцією:

$$y = ax + b. \quad (19)$$

Параметри функції (19) за методом найменших квадратів [11] можна описати такою системою рівнянь:

$$a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i,$$

$$a \sum_{i=1}^n x_i + nb = \sum_{i=1}^n y_i. \quad (20)$$

За результатами апроксимування на рис. 3–5 можна побачити, що:

– величина бічних сил в кривих ділянках колії радіусом $R = \infty$ до $R = 600$ м стрімко збільшується і становить 60,5 %, в діапазонах кривих від 501–600 м до 401–500 м – на 8,33 %, від 401–500 м до 300–400 м – на 20 %;

– по зовнішній рейковій нитці величина вертикальних сил змінюється в діапазонах радіусів від 601–1000 м до 501–600 м на 0,16 %, від 501–600 м до 401–500 м – на 0,19 %, від 401–500 м до 300–400 м – на 1,2 %;

– по внутрішній рейковій нитці величина вертикальних сил змінюється в діапазонах радіусів від 601–1000 м до 501–600 м – на 1,68 %, від 501–600 м до 401–500 м – на 0,24 %, від 401–500 м до 300–400 м – на 6,6 %.

Результати розрахунків при різних середніх значеннях бічних та вертикальних сил, що виникають в діапазонах радіусів $R = 300 \div 420$ м; $421 \div 550$ м; $551 \div 600$ м, зображені у табл. 1.

Таблиця 1

Розрахункові значення напружень (σ , МПа) в клемах

Table 1

The calculated stress values (σ , МПа) in the terminals

Діапазон радіусів R , м	Значення напружень (МПа) в клемах			
	Клема № 1		Клема № 2	
	Нижня частина прутка	Верхня частина прутка	Нижня частина прутка	Верхня частина прутка
300...420	134,945	29,956	57,716	24,512
421...550	98,923	26,991	38,484	20,312
551...600	72,885	23,918	36,712	17,480

Під час дослідження напруженого стану елементів у вузлі проміжного рейкового скріп-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

лення типу КПП-5 до моделі прикладалась система сил (рис. 6), яка виникає у складних умовах експлуатації, а саме: в кривих ділянках колії при різних діапазонах радіусів.

Проаналізувавши теоретично-отримані дані, що зображені на рис. 7, та згідно з табл. 1 встановлено, що середні значення напружень, які виникають в прутках клеми № 1 (внутрішня сторона рейкової нитки), значно більші, ніж величини напружень в прутках клеми № 2 (зовнішня сторона рейкової нитки). Процентне співвідношення яких зображено на рис. 8.

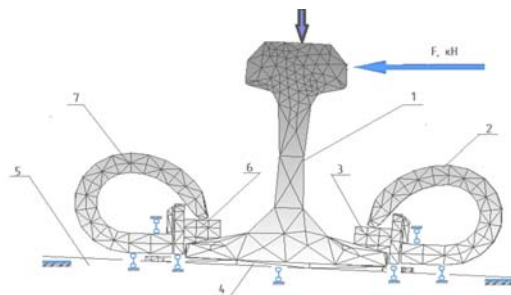


Рис. 6. Розрахункова схема вузла рейкового скріплення типу КПП-5:
1 – рейка; 2, 7 – клеми; 4 – підрейкова прокладка;
5 – залізобетонна шпала; 3, 6 – ізолюючий вкладиш

Fig. 6. Calculation model of node rail fastening, type КПП-5:
1 – rail; 2, 7 – terminals; 4 – rail pad;
5 – concrete ties; 3, 6 – isolating liner

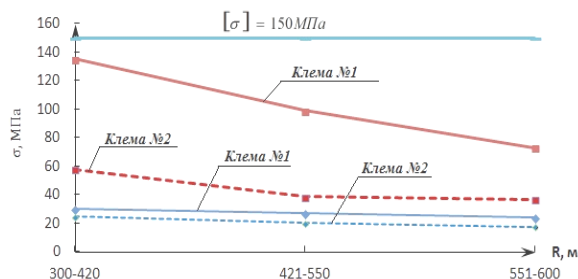


Рис. 7. Залежність напружень у прутках клем по зовнішній та внутрішній стороні рейкової нитки

Fig. 7. The dependence of the stresses in the bars of terminals on the external and internal sides of the rail thread

Згідно з рис. 8 проаналізувавши отримані дані, встановлено, що значення напружень у нижній частині прутка клеми по внутрішній стороні рейкової нитки на 56 % більші, ніж по зовнішній стороні рейкової нитки.

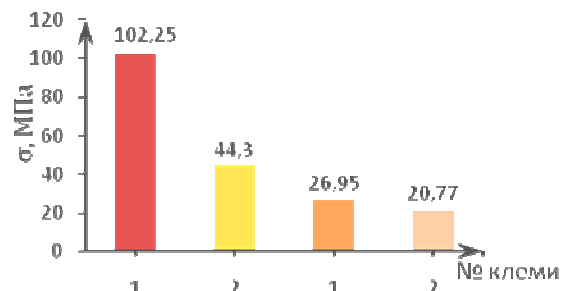


Рис. 8. Порівняльні середні значення напружень в прутках клем 1 та 2

Fig. 8. Comparative average values of stresses in the bars with terminals 1 and terminal 2

Значення напружень у верхній частині прутка клеми на 53,1 % більші, ніж значення напружень у верхній частині прутка клеми, але не перевищують допустимих, що підтверджено також [1, 9, 14].

Результати

В результаті аналізу отриманих даних, що зображені на рис. 8, бачимо, що значення напружень у прутках клеми по внутрішній стороні рейкової нитки на 53,1–56 % більші, ніж значення напружень по зовнішній стороні рейкової нитки.

Отримавши на основі теоретичних розрахунків, згідно з вищенаведеним алгоритмом, вихідні значення напружених властивостей k -ого елемента конструкції, можливо проаналізувати найбільш імовірно-достовірні місця появи максимальних напружень в елементах вузла проміжного рейкового кріплення типу КПП-5, особливо в клемі.

Наукова новизна та практична значимість

Розроблена математична модель роботи залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 під дією рухомого складу для дослідження напруженого стану у елементах вузла скріплення. Ця математична модель дозволяє врахувати фізико-механічні властивості дослідних елементів та геометричні умови закріплення, що являють собою конструктивні та експлуатаційні характеристики роботи всього вузла скріплення в цілому.

Отримані в роботі положення та результати СЕ-моделювання дозволяють відобразити та

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

дослідити найбільш імовірні місця появи напруженого стану в елементах скріплення типу КПП-5, в яких в подальшому можуть виникнути пошкодження та дефекти, що вплине на стабільність роботи залізничної колії в цілому.

Висновки

За допомогою моделювання роботи конструкції залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5, що ґрунтується на теорії МСЕ, було встановлено, що одним із головних елементів вузла скріплення, які першими сприймають частку величини бічної сили, що передається під дією рухомого складу, є пружні клеми типу КП-5.

У місцях клеми, де напружений стан, що виникає від сумісної взаємодії колії та коліс рухомого складу, є максимальним, під час експлуатації будуть виникати напруження втоми [10], які в подальшому можуть призвести до послаблення силового ланцюжка – «рейка-клема-прокладка». Одночасно це призведе до втрати стабільності роботи вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 та можливо-го виникнення угону плітей безстикової колії [8, 10, 17–18,].

На сьогодні особливість утримання скріплення типу КПП-5 полягає у заміні дефектних деталей в ході їх виявлення. Елементи скріплення ремонту не підлягають і замінюються на нові, які визначаються натурним оглядом геометричних розмірів [6].

На цей час існує проблема, що пов'язана з відсутністю методики та засобів контролю за станом роботою вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 в експлуатації, а саме: контроль за роботою клем типу КП-5, оскільки вони визначають надійність роботи вузла скріплення в цілому. Виникає необхідність розробки рекомендацій щодо утримання залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5, які б дозволили підсилити роботу вузла скріплення з одночасним збереженням необхідної величини сили притискання рейки до підрейкової основи протягом всього міжремонтного терміну експлуатації.

Це одночасно відкрило б можливість збільшення полігону укладки проміжних рейкових скріплень типу КПП-5, включаючи і криві радіусом менше ніж 400 м.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Говоруха, В. В. Создание и внедрение упругих элементов промежуточного скрепления рельсового пути / В. В. Говоруха // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – Вип. 2. – С. 162–171.
2. Експериментальне дослідження впливу на колію та стрілочні переводи дослідних піввагонів на візках моделі 18-4129 з навантаженням на вісь 25 тс у порівнянні з піввагоном на візках моделі 18-100 з навантаженням на вісь 23,5 тс. : звіт про НДР / ДНУЗТ ; кер. Рыбкин В. В. ; викон.: Гнатенко В. П., Циганенко В. В., Мойсеев К. В. – Дніпропетровськ, 2008. – 56 с. – Бібліогр.: с. 56. – № ГР 0107U010381.
3. Испытания электровоза ЭПЛ-01 по критерию воздействия на путь и стрелочные переводы : отчет о НИР / ДНУЖТ ; рук. Рыбкин В. В. ; исполн.: Гнатенко В. П., Татуревич А. П. – Днепропетровск, 2002. – 63 с. – Библиогр.: с. 63. – № ГР 0102U005873.
4. Испытания электровоза ЭПЛ9Т-001 по критерию воздействия на путь и стрелочные переводы : отчет о НИР / ДНУЖТ ; рук. Рыбкин В. В. ; исполн.: Гнатенко В. П., Татуревич А. П. – Днепропетровск, 2002. – 158 с. – Библиогр.: с. 158. – № ГР 0102U005875.
5. Испытания электропоезда ЭПЛ2Т-01 по критерию воздействия на путь и стрелочные переводы : отчет о НИР / ДНУЖТ ; рук. Рыбкин В. В. ; исполн.: Гнатенко В. П., Татуревич А. П. – Днепропетровск, 2006. – 114 с. – Библиогр.: с. 114. – № ГР 0102U005873.
6. Інструкція з укладання та утримання рейкової колії з рейками типу Р65, UIC60 і пружним проміжним скріпленням типу КПП-5 та високіми ізолюючими стиками (ЦП-0104) / С. М. Демченко, В. Л. Піскунов, О. В. Саєнко, В. О. Сестринський. – Київ : Транспорт України, 2003. – 46 с.
7. Комплексные ходовые динамические и прочностные и по воздействию на путь, стендовые статистические на действие продольной силы, ударно-определяющие испытания электровоза ДСЗ-001 : отчет о НИР / ДНУЖТ ; рук. Блохин Е. П., Рыбкин В. В. ; исполн.: Блохин Е. П., Рыбкин В. В. – Днепропетровск, 2004. – 196 с. – Библиогр.: с. 196. – № ГР 0103U003009.
8. Нехорошев, Ю. П. Результаты испытаний скрепления СБ-3 / Ю. П. Нехорошев, В. И. Матвеев // Путь и путевое хоз-во. – 2005. – № 6. – С. 26–27.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

9. Оцінка параметрів пружної клеми марки КП-5.2 / М. Д. Костюк., В. В. Рибкін., І. О. Бондаренко., Н. М. Івченко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – Вип. 2. – С. 11–17.
10. Рыбкин, В. В. Исследование вопросов внедрения конструкции бесстыкового пути на железобетонных шпалах в кривых радиусом менее 300 м / В. В. Рыбкин, Н. П. Настечик, Р. В. Маркуль // Соврем. проблемы проектирования, стр-ва и эксплуатации ж.-д. пути : тр. X науч.-техн. конф. – Москва, 2013. – С. 198–201.
11. Рибкін, В. В. Надійність залізничної колії : навч. посіб. / В. В. Рибкін, І. О. Бондаренко, Д. М. Курган. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2013. – 154 с.
12. Рибкін, В. В. Оцінка впливу величини бічної-горизонтальної сили, що передається на вузол проміжного рейкового скріплення типу КБ та КПП-5 / В. В. Рибкін, І. О. Бондаренко, Р. В. Маркуль / Пробл. взаємодії колії та рухомого складу : пр. міжнарод. наук.-практ. конф., присвячений 100-річчю проф. М. А. Фрішмана / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. – Дніпропетровськ, 2013. – С. 38–39.
13. Рибкін, В. В. Оцінка втомлено-міцнісних характеристик елементів вузла проміжного рейкового скріплення типу КБ-65 та КПП-5 при повторно-змінних циклах навантаження конструкції / В. В. Рибкін, І. О. Бондаренко, Р. В. Маркуль / Пробл. взаємодії колії та рухомого складу : пр. міжнарод. наук.-практ. конф., присвячений 100-річчю проф. М. А. Фрішмана / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. – Дніпропетровськ, 2013. – С. 39–40.
14. Уманов, М. И. Исследования напряженно-деформированного состояния пути со скреплением КПП / М. И. Уманов, В. В. Ковалев, С. Н. Сова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – Вип. 2. – С. 101–105.
15. Умови дослідного зразка маневрового тепловоза ТЕМ103, розроблені на підставі результатів експериментальних та теоретичних досліджень його впливу на колію та стрілочні переводи : звіт про НДР / ДНУЗТ ; кер. Рибкін В. В. ; викон.: Гнатенко В. П., Циганенко В. В. – Дніпропетровськ, 2007. – 44 с. – Бібліогр.: с. 44. – № ГР 0107U005238.
16. Условия обращения опытного образца магистрального пассажирского тепловоза ТЕП150-001, разработанные на основании экспериментальных исследований его воздействия на путь и стрелочные переведы : отчет о НИР / ДНУЗТ ; рук. Рыбкин В. В. ; исполн.: Гнатенко В. П., Татуревич А. П. – Дніпропетровськ, 2006. – 102 с. – Библиогр.: с. 102. – № ГР 0106U010227.
17. Rezaie, F. Experimental and numerical studies of longitudinal crack control for pre – stressed concrete sleepers / F. Rezaie, M. R. Shiri, S. M. Farman // Engineering Failure Analysis. – 2012. – Vol. 26. – P. 21–30. doi: 10.1016/j.engfailanal.2012.07.001.
18. Rybkin, V. V. Stability issues of the continuous welded rail track on the concrete sleepers on the curves with radius $R \leq 300$ m / V. V. Rybkin, N. P. Nastechik, R.V. Marcul // Sciences in Cold and Arid Region. – Beijing, 2013. – Vol. 5. – Iss. 5. – P. 1–7.

М. П. НАСТЕЧИК¹, І. А. БОНДАРЕНКО², Р. В. МАРКУЛЬ^{3*}

¹Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, эл. почта nastechik_mr@mail.ru, ORCID 0000-0002-4178-6092

²Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, эл. почта irina_bondarenko@ua.fm, ORCID 0000-0003-4717-3032

^{3*}Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, эл. почта guaranga_mr@mail.ru, ORCID 0000-0002-7630-8963

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ЭЛЕМЕНТАХ УЗЛА СКРЕПЛЕНИЯ ТИПА КПП-5 ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Цель. На сегодняшний день существует тенденция по внедрению скоростного и высокоскоростного движения поездов на дорогах Укрзалізницы, что требует повышения прочности и устойчивости конструкции железнодорожного пути. Одновременно с этим повысились и расширились требования, предъявляемые

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

к промежуточным рельсовым креплениям. Именно на путевые работы по содержанию и ремонту узла крепления приходится от 10 до 18 % трудовых затрат во время эксплуатации. Одним из основных видов крепления, которые после длительных эксплуатационных наблюдений вошли в постоянную эксплуатацию (5 тыс. км), является промежуточное крепление типа КПП-5. Данные предыдущих теоретических исследований достоверно не давали четких научно обоснованных ответов и результатов работы всего узла крепления. Поэтому целью опыта является разработка и обоснование методики проведения теоретического исследования работы узла крепления типа КПП-5 с детальной оценкой мест появления напряженного состояния в его элементах от воздействия подвижного состава. **Методика.** В основе обоснования методики теоретического исследования работы узла промежуточного рельсового крепления типа КПП-5 (с детальной оценкой напряженного состояния в его промежуточных элементах от воздействия подвижного состава) лежит теория метода конечных элементов (МКЭ). **Результаты.** С помощью применения теории МКЭ было установлено: одним из главных элементов узла крепления, которые первыми воспринимают долю величины боковой силы, передаваемой от воздействия подвижного состава, являются упругие клеммы типа КП-5. Анализируя полученные данные, установлено, что значение напряжений в прутках клеммы с внутренней стороны рельсовой нити на 53,1–56 % больше, чем значение напряжений на внешней стороне рельсовой нити. **Научная новизна.** Разработана математическая модель работы железнодорожного пути с промежуточным рельсовым креплением типа КПП-5 под действием подвижного состава для исследования напряженного состояния в элементах узла крепления. Данная математическая модель позволяет учесть физико-механические свойства исследуемых элементов и геометрические условия закрепления, представляющие собой конструктивные и эксплуатационные характеристики работы всего узла крепления в целом. **Практическая значимость.** Полученные в данной работе положения и результаты КЭ-моделирования позволяют отразить и исследовать наиболее вероятные места появления напряженного состояния в элементах крепления типа КПП-5, в которых в дальнейшем могут возникнуть повреждения и дефекты, что повлияет на стабильность работы железнодорожного пути в целом.

Ключевые слова: промежуточное крепление; упругая клемма; подрельсовая прокладка; жесткость; сила прижатия; метод конечных элементов

N. P. NASTECHIK¹, I. A. BONDARENKO², R.V. MARCUL^{3*}

¹Dep. «Railway Track and Track Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 31, e-mail nastechik_mp@mail.ru, ORCID 0000-0002-4178-6092

²Dept. «Railway Track and Track Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 31, e-mail irina_bondarenko@ua.fm, ORCID 0000-0003-4717-3032

^{3*}Dep. «Railway Track and Track Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 31, e-mail guaranga_mr@mail.ru, ORCID 0000-0002-7630-8963

INVESTIGATION OF STRESS STATE IN THE ELEMENTS OF RAIL FASTENINGS, TYPE КПП-5 UNDER THE INFLUENCE OF ROLLING STOCK

Purpose. To date, there is a tendency for the implementation of high-speed trains on the territory of the Ukrainian Railways, which requires increasing the strength and stability of the construction of the railway track. At the same time requirements for intermediate rail fastening have increased and widened. It is on trackwork and repair of the rail fastening labor costs during the operation are from 10 to 18%. One of the main types of fastening, which after long operational observations was included in the permanent operation (5 th. km.) is an intermediate fastening, type КПП-5. Data from previous theoretical studies reliably prevented clear science-based answers and results of the rail fastening. Therefore, the aim is to develop a methodology and rationale for the theoretical research work of rail fastening, type КПП-5 with a detailed assessment of the appearance of stress state places in its elements from the effects of rolling stock. **Methodology.** The basis of study methods of theoretical research work of the intermediate rail fastening, type КПП-5 (with a detailed assessment of the state of stress in its intermediate elements from the effects of the rolling stock) is the theory of finite elements method (FEM). **Findings.** Using the FEM it was found that one of the main elements of the intermediate rail fastening, which first perceives share of the value of the lateral force transmitted from the effects of rolling stock are elastic type terminals, type КП-5. Analyzing the data set, the

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

bars in the terminal voltages at the inner side of the rail thread 53,1-56% are greater than the stresses on the outside of rail thread. **Originality.** A mathematical model of railway track with intermediate rail fastening, type КПП-5 under the action of rolling stock for the study of the stress state in the elements of fastening was developed. This mathematical model let take into account the physical and mechanical properties of the test elements and geometrical fixing fastenings as constructive and operational characteristics of the entire rail fastening in general. **Practical value.** The obtained results in this work of FE simulations allow reflecting and exploring the most likely places of the stress state appearance in the elements of the fastening, type КПП-5, in which damages and defects can be in the future. This in general will affect the operation stability of the railway track as a whole.

Keywords: intermediate fastening; elastic terminal; under-rail pad; stiffness; pressing force; finite element method

REFERENCES

1. Govorukha V.V. Sozdaniye i vnedreniye uprugikh elementov promezhutochnogo skrepleniya relsovogo puti [The creation and implementation of elastic elements of intermediate rail fastening]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2003, issue 2, pp. 162-171.
2. Rybkin V.V., Gnatenko V.P., Tsyhanenko V.V., Moiseienko K.V. *Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu na koliiu ta strilochni perevody doslidnykh pivvahoniv na vizkakh modeli 18-4129 z navantazhenniam na vis 25 t u porivnianni z pivvahonom na vizkakh modeli 18-100 z navantazhenniam na vis 23,5 t* [Experimental study of the effects on the tracks and switches of research gondolas on trucks, model 18-4129 with an axle load of 25 t compared to the gondola on the model 18-100 trucks with axle load of 23.5 t.]. Dnipropetrovsk, 2008. 56 p. No. GR 0107U005238.
3. Rybkin V.V., Gnatenko V.P., Taturevich A.P. *Ispytaniya elektrovoza ЭПЛ-01 po kriteriyu vozdeystviya na put i strelochnyye perevody* [Test of ЭПЛ-01 locomotive by criterion effects on the tracks and switches]. Dnipropetrovsk, 2002. 63 p. No. GR 0102U005873.
4. Rybkin V.V., Gnatenko V.P., Taturevich A.P. *Ispytaniya elektrovoza ЭПЛ9Т-001 po kriteriyu vozdeystviya na put i strelochnyye perevody* [Test of ЭПЛ9Т-001 locomotive by criterion effects on the tracks and switches]. Dnipropetrovsk, 2002. 158 p. No. GR 0102U005875.
5. Rybkin V.V., Gnatenko V.P., Taturevich A.P. *Ispytaniya elektropoyezda ЭПЛ2Т-01 po kriteriyu vozdeystviya na put i strelochnyye perevody* [Test of ЭПЛ2Т-01 locomotive by criterion effects on the tracks and switches]. Dnipropetrovsk, 2006. 114 p. No. GR 0102U005873.
6. Demchenko S.M., Piskunov V.L., Saienko O.V., Sestrynskyi V.O. *Instruktsiia z ukladannia ta utrymannia reikovoï kolii z reikamy typu P65, UIC60 i pruzhnym promizhnym skriplenniam typu КПП-5 ta vysokomitsnymy izoliuiuchymy stykamy (ЦП-0104)* [Instructions for the laying and maintenance of track rails, type P65, UIC60 and elastic intermediate fastening, type КПП-5 and high strength and insulating joints (ЦП-0104)]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2003. 46 p.
7. Blokhin Ye.P., Rybkin V.V. *Kompleksnyye khodovyye i dinamicheskiye i prochnostnyye po vozdeystviyu na put, stendovyye statisticheskiye na deystviye prodolnoy sily, udarno-opredelitelnyye ispytaniya elektrovoza ДС3-001* [Complex leading and dynamic and strength upon influence the track, bench statistics for the longitudinal force, the shock-determinative tests of locomotive ДС3-001]. Dnipropetrovsk, 2004. 196 p. No. GR 0103U003009.
8. Nekhoroshev Yu.P., Matvetsov V.I. Rezultaty ispytaniy skrepleniya СБ-3 [The test results of СБ-3 fastening]. *Put i putevoye khozyaystvo – The Track and Track Facilities*, 2005, no. 6, pp. 26-27.
9. Kostiuk M.D., Rybkin V.V., Bondarenko I.O., Ivchenko N.M. Otsinka parametriv pruzhnoi klemy marky КП-5.2 [Assessment of elastic parameters of the brand КП-5.2.]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2003, issue 2, pp. 11-17.
10. Rybkin V.V., Nastechik N.P., Markul R.V. Issledovaniye voprosov vnedreniya konstruktсии besstykovogo puti na zhelezobetonnykh shpalakh v krivykh radiusom meneye 300 m [Research of the introduction questions of the continuous welded rail design on concrete sleepers in curves with a radius less than 300 m]. *Trudy X nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Sovremennyye problemy proyektirovaniya, stroitelstvava i ekspluatatsii zheleznodorozhnogo puti»* [Proc. of the X Sci.-Technical Conf. «Contemporary issues of design, construction and operation of railways»]. Moscow, 2013, pp. 198-201.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

11. Rybkin V.V., Bondarenko I.O., Kurhan D.M. *Nadiinist zaliznychnoi kolii* [The reliability of a railway track]. Dnipropetrovsk, DNUZT Publ., 2013. 154 p.
12. Rybkin V.V., Bondarenko I.O., Markul R.V. Otsinka vplyvu velychyny bichnoi-horyzontalnoi syly, shcho peredaetsia na vuzol promizhnogo reikovooho skriplennia typu КБ та КПП-5 [Evaluation of the effect of the magnitude of the lateral and horizontal forces transmitted to the node intermediate rail fastening, type КБ and КПП-5]. *Pratsi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Problemy vzaïemodii kolii ta rukhomoho skladu»* [Proc. of Intern. Sci. and Practical Conf. «Problems of Interaction between the Track and Rolling Stock»]. Dnipropetrovsk, 2013, pp. 38-39.
13. Rybkin V.V., Bondarenko I.O., Markul R.V. Otsinka vtomleno-mitsnistnykh kharakterystyk elementiv vuzla promizhnogo reikovooho skriplennia typu КБ-65 та КПП-5 pry povtorno-zminnykh tsyklakh navantazhennia konstrukttsii [Evaluation of wearily and strength characteristics of the elements of the intermediate rail fastening, type КБ-65 and КПП-5 during revariable load cycles design]. *Pratsi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Problemy vzaïemodii kolii ta rukhomoho skladu»* [Proc. of Intern. Sci. and Practical Conf. «Problems of Interaction between the Track and Rolling Stock»]. Dnipropetrovsk, 2013, pp. 39-40.
14. Umanov M.I., Kovalev V.V., Sova S.N. Issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya puti so skrepleniyem КПП [The study of stress-strain state of the road with a КПП fastening]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2003, issue 2, pp. 101-105.
15. Rybkin V.V., Hnatenko V.P., Tsyhanenko V.V. *Umovy doslidnoho zrazka manevrovoho teplovoza TEM103, rozrobleni na pidstavi rezultativ eksperymentalnykh ta teoretychnykh doslidzhen yoho vplyvu na koliiu ta strilochni perevody* [The conditions of the prototype shunting locomotive TEM 103 developed on the basis of the results of experimental and theoretical studies of its effects on the tracks and switches]. Dnipropetrovsk, 2007. 44 p. No. GR 0107U005238.
16. Rybkin V.V., Gnatenko V.P., Taturevich A.P. *Usloviya obrashcheniya opytnogo obraztsa magistralnogo pas-sazhirskogo teplovoza TEП150-001, razrabotannyye na osnovanii eksperimentalnykh issledovaniy yego vozdeystviya na put i strelochnyye perevody* [The conditions of circulation of the prototype mainline passenger locomotive TEП-001, developed on the basis of experimental studies of its effects on the tracks and switches]. Dnipropetrovsk, 2006. 102 p. No. GR 0106U010227.
17. Rezaie F., Shiri M.R., Farman S.M. Experimental and numerical studies of longitudinal crack control for pre – stressed concrete sleepers. *Engineering Failure Analysis*, 2012, vol. 26, pp. 21-30. doi: 10.1016/j.engfailanal.2012.07.001.
18. Rybkin V.V., Nastechik N. P., Marcul R.V. Stability issues of the continuous welded rail track on the concrete sleepers on the curves with radius $R \leq 300$ m. *Sciences in Cold and Arid Region*, 2013, vol. 5, issue 5, pp. 1-7.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Україна); д.т.н. проф. Й. Й. Лучком (Україна)

Надійшла до редколегії: 13.02.2015

Прийнята до друку: 16.04.2015

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 629.4.027.4:669.14.018-044.923

Л. І. ВАКУЛЕНКО^{1*}

^{1*}Управління Придніпровської залізниці, пр. К. Маркса, 108, Дніпропетровськ, Україна, 49600, тел. + 38 (056) 793 00 59, ел. пошта dnuzt_textmat@ukr.net, ORCID 0000-0003-2616-740X

ЗАЛЕЖНІСТЬ РОЗМІРУ ЗЕРНА АУСТЕНІТУ В СТАЛІ ЗАЛІЗНИЧНОГО КОЛЕСА ВІД ПАРАМЕТРІВ ГАРЯЧОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

Мета. Наукова робота має за мету оцінку впливу температури нагріву та ступеня гарячого обтискування заготовки вуглецевої сталі на розмір зерна аустеніту при виготовленні залізничних коліс. **Методика.** Матеріалом для досліджень була вуглецева сталь марки 60 із вмістом вуглецю 0,55 до 0,65 %, яка була відібрана від фрагментів залізничних коліс в роботі. Визначали розмір зерна аустеніту в залежності від температури нагріву під прокатку (800 до 1 150 °С) та ступеня гарячої пластичної деформації (10–50 %). Розмір зерна аустеніту визначали під світловим мікроскопом із використанням методик кількісної металографії. **Результати.** Використання підстужування в процесі гарячого обтискування заготовки залізничного колеса дозволяє диспергувати структуру аустеніту на більшій відстані від поверхні ободу. Обумовлене це тим, що охолоджені об'єми металу мають підвищену міцність та будуть в меншому ступені піддаватися пластичній деформації. У порівнянні з охолодженими прошарками поблизу поверхні ободу більш розігріті внутрішні об'єми металу. За умов безперервності розповсюдження пластичної деформації, маючи підвищену температуру, вони повинні піддаватися обтискуванню на більшу сумарну ступінь деформації. Внаслідок наведених рішень повинна формуватися більш рівномірна аустенітна структура по перетину ободу залізничного колеса. Для отримання ефекту подрібнення зерна аустеніту при виготовленні суцільнокатаних залізничних коліс необхідно знижувати температуру нагріву заготовки під прокатку або підвищувати ступінь обтискування на останніх етапах формоутворюючої деформації. Паузи тривалістю 1,5 хв після обтискування 20 % при температурі 950 °С достатньо для завершення процесів динамічної та статичної рекристалізації аустеніту вуглецевої сталі залізничного колеса. **Наукова новизна.** Підвищення ступеню гарячої пластичної деформації, особливо в центральних об'ємах ободу залізничного колеса супроводжується зниженням неоднорідності аустенітної структури по його перетину. Механізм подрібнення структури зерен аустеніту заснований на уповільненні розвитку процесів рекристалізації в вуглецевій сталі при зниженні температури обтискування металу елементів залізничного колеса під час їх формування на прокатному стані. **Практична значимість.** Зниження температури гарячого обтискування заготовки в умовах прокатного стану від 1 240–1 260 °С до 1 150 °С супроводжується зменшенням розміру зерна аустеніту від 0–1 балів до 2–5 в різних елементах залізничного колеса.

Ключові слова: аустеніт; розмір зерна; гаряча деформація; залізничне колесо; структура; вуглецева сталь

Вступ

Аналіз відомих експериментальних досліджень мікроструктури сталі залізничного колеса свідчить про залежність розміру зерна аустеніту від ступеня пластичної деформації [2], яка

досягається при формуванні визначеного елемента колеса, присутності часток другої фази [1, 13]. Так, в роботах [2, 6] зазначено, що в центральних об'ємах ободу ступінь пластичної деформації складає значення на рівні 5–10 %,

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

а поблизу з поверхнею кочення – до 50–60 %, хоча існують і інші відомості. Наведена різниця в ступені деформації суттєво позначається на розвитку процесів збіркової рекристалізації. Так, при незмінній температурі нагріву пропорційно ступеню деформації (за умов перевищення її критичного значення [7]) розмір зерна аустеніту зменшується. Враховуючи це, величина зерна аустеніту в центральних об'ємах металу обода приблизно відповідає 0 або 1 балу, а поблизу з поверхнею кочення – до 2–3 балів за класифікацією ГОСТ 5 639. Вказані розміри зерна відповідають температурі пластичної деформації вуглецевої сталі на рівні 1 250 °С.

Вирішення питання з підвищення ступеня пластичної деформації, особливо в центральних об'ємах обода, може бути запорукою зниження неоднорідності аустенітної структури по перерізу обода, що буде мати відбиток на комплексі властивостей залізничного колеса [5, 9] і його поведінки в процесі експлуатації [10, 13, 14].

Мета

Оцінка впливу температури нагріву і ступеня гарячого обтискування заготовки вуглецевої сталі на розмір зерна аустеніту під час виготовлення залізничних коліс.

Методика

Матеріалом для досліджень була вуглецева сталь марки 60 з вмістом вуглецю 0,55 до 0,65 %, яка була відібрана від фрагментів залізничних коліс. Визначали розмір зерна аустеніту залежно від температури (від 800 до 1 000 °С) і ступеня гарячої пластичної деформації (10–50 %). Розмір зерна визначали під світловим мікроскопом, використовуючи методики кількісної металографії [4].

Результати

Одним із напрямів зниження структурної неоднорідності аустеніту по перерізу обода може бути формування потрібного градієнта температур по перерізу визначеного елемента колеса в процесі послідовних етапів обтискування заготовки. Річ у тім, що при зниженні температури нагріву сталі, за умов постійного ступеня пластичної деформації, розвиток про-

цесів збіркової рекристалізації супроводжується подрібненням зерна металевої матриці. Зумовлено наведене положення уповільненням процесів дифузійного масопереносу, які в свою чергу знижують швидкість розвитку анігіляції дефектів кристалічної будови, що вводяться в матрицю під час деформації [8]. Внаслідок цього, чим у більший ступені буде збережена густина дефектів кристалічної будови до моменту початку розвитку процесу збіркової рекристалізації, тим більш дрібна буде сформована зеренна структура аустеніту після завершення рекристалізації [11, 15].

З іншого боку, для постійної температури нагріву обернено пропорційно розміру зерна матриці металу змінюється її твердість. Таким чином, послідовне зниження температури нагріву або використання технологічного підстикування металу, наприклад обода залізничного колеса при чергових обтискуваннях заготовки, буде призводити до того, що більш холодні об'єми металу будуть мати підвищену твердість і менше піддаватися деформуванню. На противагу цьому, більш розігріті внутрішні об'єми металу, за умов безперервності розповсюдження пластичної деформації, маючи підвищену температуру, повинні будуть піддаватися обтискуванню на більший сумарний ступінь деформації. Внаслідок наведених рішень повинна формуватися більш рівномірна аустенітна структура по перерізу обода залізничного колеса.

За умов постійного похідного структурного стану сталі залізничного колеса проаналізуємо вплив температури нагріву сталі залізничного колеса на розвиток процесів структурних перетворень при швидкостях охолодження на рівні $2^{\circ}\cdot\text{с}^{-1}$.

На рис.1. наведено мікроструктуру зразків сталі залізничного колеса з вмістом вуглецю 0,55 %, які були відібрані для досліджень з диска колеса. Після нагріву до мінімальної температури досліджуваного інтервала (800 °С) формується достатньо дрібнодисперсна структура. Хоча за наведеною структурою дуже складно визначити форму сформованого зерна аустеніту. В цілому зерна можуть бути віднесені приблизно до 8–9 балів за шкалою ГОСТ 5 639. З іншого боку, вказана зеренна структура за зовнішніми ознаками нагадує структури, які формуються внаслідок

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

розвитку процесів первинної рекристалізації [11]. Дійсно, за більш ретельного дослідження в структурі достатньо складно визначити ознаки розвитку збіркової рекристалізації. Виходячи з цього, слід вважати, що температури нагріву 800 °C недостатньо для формування рівномірної структури зерен аустеніту з рівноважною формою.

Підвищення температури нагріву лише на 50 °C (до 850 °C, рис. 1а) супроводжується не тільки збільшенням середнього розміру зерна аустеніту до приблизно 7–8 балу, але і виникненням осередків структури за ознаками обірваних границь. В цілому отримана структура аустеніту має визначену різнозеренність. У першому наближенні можна вважати, що існування сусідніх зерен з розмірами, які відрізняються в декілька разів, вказує на неповне завершення процесів збіркової рекристалізації [7, 8].

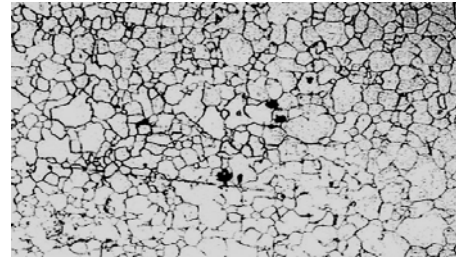
Починаючи від температур нагріву 900 °C (рис. 1, б), за термін витримки при цій температурі формується однорідна поліедрічна структура зерен аустеніту. Середній розмір зерна відповідає приблизно 7 балам, хоча в структурі існують окремі зерна з розмірами до 4 балів. При більш уважному дослідженні в таких зернах (з великими розмірами) можна визначити ознаки існування залишків меж з великими кутами розорієнтації.

Початок розвитку процесів деградації великокутової межі зерна в процесі витримки металу відповідає умовам розвитку рекристалізації за механізмом коалесценції зерен [1,7].

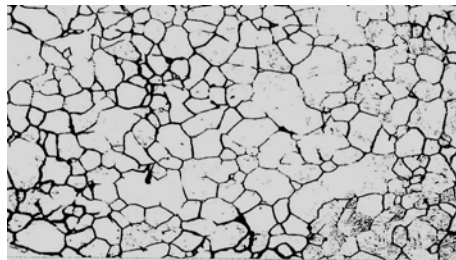
При подальшому підвищенні температури (до 950 °C) в процесі витримки металу, прискорення процесів дифузійного масопереносу, з одночасним зростанням стимулу зниження накопиченої поверхневої енергії [3], сприяють збільшенню середнього розміру зерна аустеніту (рис. 1, в). В середній частині кола дослідження структури, порівняно з температурою 900 °C, присутня більша кількість решток меж зерен з великими кутами розорієнтації, що може розглядатися як додаткове свідчення розвитку рекристалізації аустеніту за механізмом розчинення меж зерен [8].

Нагрів металу до більш високих температур (1 000 °C) супроводжується відповідним прискоренням розвитку процесів рекристалізації. Зростання швидкості структурних перетворень в процесі витримки металу відповідає підвищенню чутливості до незначних відхилень від рівномірності

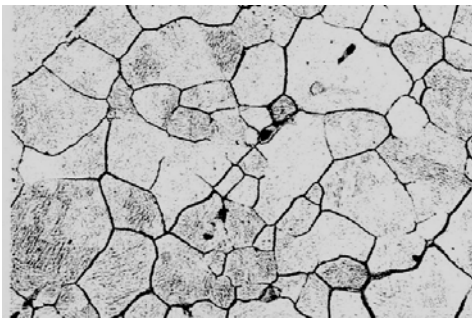
а – а



б – б



в – в



г – д

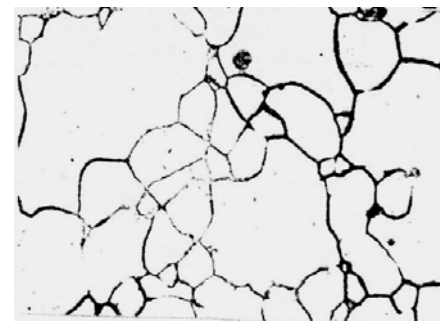


Рис. 1. Вплив температури нагріву (а – 850, б – 900, в – 950, г – 1 000 °C) на структуру аустеніту сталі з вмістом вуглецю 0,55 %. Збільшення 100

Fig. 1. The influence of heating temperature (a – 850, b – 900, c – 950, d – 1 000 °C) on the structure of austenite steel with a carbon content of 0.55 %. Increasing 100

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

розподілу пластичної деформації, ліквідації хімічних елементів, що входять до складу сталі залізничного колеса. Внаслідок цього формується суттєва структурна неоднорідність аустеніту. Різниця в розмірах сусідніх зерен досягає декількох разів [1, 3].

Використання методик кількісної металографії [4] дозволило визначати розмір зерна аустеніту (d_A). Аналіз результатів розрахунків d_A виявив зростання середнього розміру зерна аустеніту від 7 мкм (для температури нагріву 800 °C) до 64 мкм (1 000 °C).

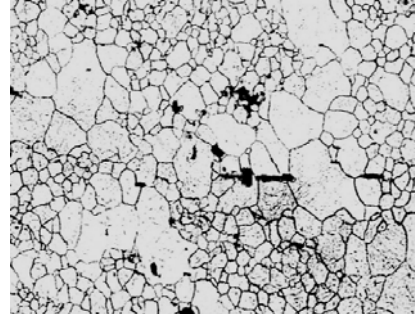
Підвищення вмісту вуглецю в сталі залізничного колеса до 0,65 % не привело до якісних змін в характері розвитку процесів рекристалізації (рис. 2). Порівняльний аналіз розмірів зерна аустеніту показав незначне збільшення абсолютних значень зі зростанням вмісту вуглецю. Так, в процесі витримки вуглецевої сталі з 0,65 % C при температурі 800 °C величина d_A склала значення на рівні 13 мкм, що приблизно в 1,8 разу перевищує аналогічне значення для сталі з 0,55 % C. Подальше підвищення температури нагріву супроводжується монотонним зростанням середнього розміру зерна аустеніту (рис. 2), хоча в цілому при температурах 800, 850 і 900 °C збільшення вмісту вуглецю в сталі супроводжується зростанням нерівномірності зеренної структури. На основі отриманих результатів під час визначення розміру зерна аустеніту можна вважати, що збільшення вмісту вуглецю в сталі повинне знижувати температуру початку розвитку процесів рекристалізації. Дійсно, якщо уявити, що при однаковій дисперсності структури (однаковий середній діаметр карбідної частки) пропорційно збільшенню вмісту вуглецю в сталі буде зростати їх кількість [1, 15]. Враховуючи, що для двофазних сплавів функцію центрів зародження рекристалізованих зерен виконує міжфазова поверхня в структурі сплаву [8], більш розвинена загальна її площа буде полегшувати початок розвитку рекристалізації. З іншого боку, використовуючи співвідношення для однофазних сплавів, яке визначає залежність температури початку розвитку рекристалізації від температури розплавлення металу [7]:

$$T_p = 0,4 \cdot T_{пл}, \quad (1)$$

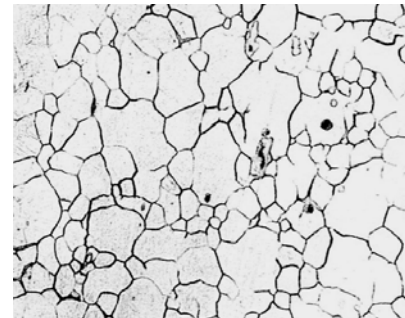
де T_p і $T_{пл}$ – відповідно температури початку рекристалізації і розплавлення металу, можна

здійснити розрахунки T_p залежно від вмісту вуглецю в сталі.

a – a



б – b



в – c

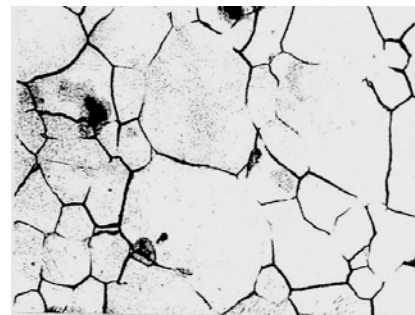


Рис. 2. Вплив температури нагріву (*a* – 850, *б* – 900, *в* – 950, °C) на структуру аустеніту сталі з вмістом вуглецю 0,65 %. Збільшення 100

Fig. 2. Influence of heating temperature (*a* – 850, *b* – 900, *c* – 950, °C) on the structure of austenite steel with a carbon content of 0.65 %. Increasing 100

За температуру розплавлення вуглецевої сталі використовуємо температуру «солідус» із діаграми стану залізо-вуглець. При збільшенні вмісту вуглецю в сталі температура розплавлення («солідус») знижується від приблизно 1 445 °C для сталі з 0,55 % C до 1 410 °C для 0,65 % C. Після підстановки в (1) відповідних значень те-

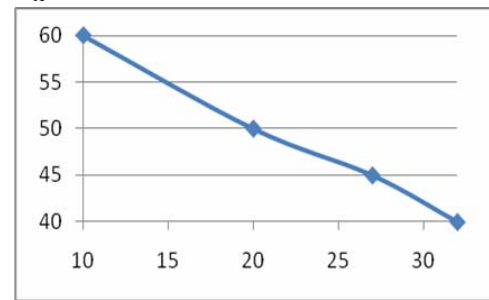
МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

мператур розплавлення (1 712 і 1 683 °K) було отримано якісне співпадання характеру залежності температури початку розвитку рекристалізації, а саме: при збільшенні вмісту вуглецю T_p знижується [1]. Крім температури нагріву металу, на зростання розміру зерна аустеніту визначеного впливу слід очікувати від тривалості витримки металу після закінчення останньої формуючої деформації. Дійсно, цілком очікуваний вплив на зростання d_A буде при одночасному зростанні температури і тривалості витримки після завершення обтискування.

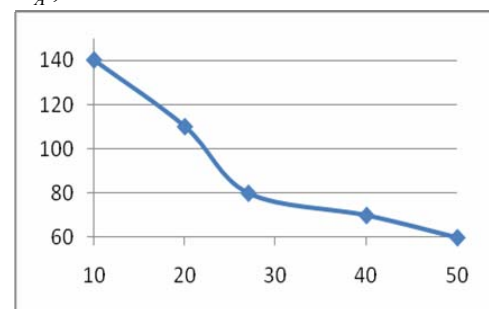
На рис. 3. наведено залежність розміру зерна аустеніту від ступеня пластичної деформації без витримки металу після закінчення деформації. Враховуючи, що величина критичного ступеня деформації для вуглецевих сталей складає значення на рівні 6–10 % [7, 8], максимальні значення d_A відповідають умовам розвитку процесів рекристалізації для вказаного інтервалу деформацій. За цих умов в сталі формується структура аустеніту з дуже великими за розміром зернами з високим ступенем структурної неоднорідності. При підвищенні ступеня пластичної деформації, незалежно від температури нагріву металу, характер зміни d_A залишається незмінним. Одночасно з цим абсолютні значення розміру зерна аустеніту визначаються температурою нагріву [3, 7]. Так, після ступеня пластичної деформації 10 % при підвищенні температури обтискування вуглецевої сталі від 950 до 1 150 °C спостерігається збільшення d_A від 60 до 110 мкм (рис. 3). Аналогічний характер впливу визначається і для всіх інших досліджуваних ступенів деформації.

Таким чином, можна з впевненістю вважати, що ступінь пластичної деформації 10 % для вуглецевих сталей, які використовуються для виготовлення залізничних коліс, є значенням, що перебільшує критичну величину.

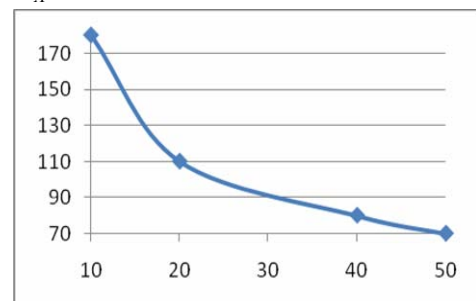
Порівняльний аналіз зміни розміру зерна аустеніту свідчить, що за умов відсутності витримки металу (після закінчення останньої формуючої деформації) збільшення ступеня деформації від 10 до 32 % при температурі 950 °C супроводжується зменшенням d_A на 20 мкм. Для більш високих температур нагріву 1 100 і 1 150 °C вказана характеристика значно більша і дорівнює 80 і 90 мкм відповідно.

а – а d_A , мкм

Ступінь деформації, %

б – б d_A , мкм

Ступінь деформації, %

в – в d_A , мкм

Ступінь деформації, %

Рис. 3. Залежність середнього розміру зерна аустеніту вуглецевої сталі залізничного колеса від ступеня і температури (a – 950; b – 1 100 і c – 1 150 °C) пластичної деформації без витримки після її закінчення

Fig. 3. The dependence of the average grain size of austenite carbon steel of railroad wheels on the degree and temperature (a – 950; b – 1 100 and c – 1 150 °C) plastic deformation without exposure after its ending

З метою оцінки ступеня впливу температури і величини пластичної деформації (ϵ) вуглецевої сталі на розмір зерна аустеніту, для спро-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

щення апроксимуємо експоненціальну залежність $d_A = f(\varepsilon)$ прямою лінією. Тоді кутовий коефіцієнт співвідношення ($d_A = f(\varepsilon)$), який має вигляд $\frac{dd_A}{d\varepsilon}$, дозволить визначити ступінь залежності d_A від деформації при конкретній температурі. За умов відсутності витримки металу після деформації, для температур обтискування 950, 1 100 і 1 150 °C величина $\frac{dd_A}{d\varepsilon}$ складала значення 0,8, 2,0 і 2,25 $\frac{\text{мкм}}{\%}$ відповідно. На

основі виконаної оцінки можна визначити, що швидкість зменшення розміру зерна аустеніту при одиничному зростанні деформації лише при підвищенні температури обтискування на 150 °C (від 950 до 1 100 °C) зростає приблизно в 2,5 разу, а порівняно з температурою 1 150 °C вказана характеристика має ще більше значення. Виконаний аналіз кінетики процесу рекристалізації аустенітної структури, за умов відсутності паузи після завершення деформації, свідчить про розвиток динамічної рекристалізації в процесі гарячого обтискування [12].

Найбільший вплив на $\frac{dd_A}{d\varepsilon}$ зумовлений зростанням розміру зерна аустеніту при мінімальних рівнях пластичної деформації металу. Дійсно, для обтискування 10 % при температурах 950, 1 100 і 1 150 °C d_A дорівнює 60, 140 і 180 мкм відповідно.

Таким чином, незначне зниження температури обтискування на етапі формування залізничного колеса дозволить суттєво зменшити розмір зерна аустеніту, а це позитивно позначиться на комплексі властивостей залізничного колеса після кінцевої зміцнюючої обробки.

Враховуючи, що технологічно достатньо складно здійснити прискорене охолодження елементів залізничного колеса зразу після завершення гарячої деформації (без витримки металу після її закінчення), викликає певний інтерес оцінка характеру зміни розміру зерна аустеніту в залежності від тривалості витримки.

На рис. 4. наведено залежність розміру зерна аустеніту від ступеня пластичної деформації і витримки металу тривалістю 1 хв після закінчення деформації. Аналіз характеру залежності

d_A від ε для досліджуваного інтервалу температур вказує на його незмінність. З іншого боку, порівняльний аналіз з кінетикою процесу рекристалізації аустенітної структури за умов відсутності паузи після завершення деформації має деякі відмінності. Річ у тім, що додатково до впливу від розвитку процесів динамічної рекристалізації (відсутність паузи після деформації) отримуємо внесок від розвитку статичної рекристалізації [3, 7, 15]. Сумарний результат впливу на залежність розміру зерна аустеніту від температури і ступеня пластичної деформації за термін витримки металу 1 хв до моменту інтенсивного охолодження наведено на рис. 4.

Так, з порівняльного аналізу абсолютних значень розміру зерна аустеніту (рис. 3 і 4) можна визначити цілком очікуване збільшення d_A при всіх температурах і ступенях деформації під час паузи тривалістю 1хв по завершенню обтискування. З іншого боку, використання

величини $\frac{dd_A}{d\varepsilon}$ дає змогу оцінити вплив після

деформаційної витримки (тривалість 1хв) на кінетику розвитку процесів рекристалізації аустеніту. За 1 хв після завершення гарячої деформації при температурах 950, 1 100 і 1 150 °C відбувається (на фоні незначного підвищення середнього розміру зерна аустеніту) суттєве зниження різниці між максимальними (при $\varepsilon = 10\%$) і мінімальними (при $\varepsilon = 40\text{--}50\%$) значеннями

d_A . Значення величини $\frac{dd_A}{d\varepsilon}$ є додатковим під-

твердженням наведеного положення. Так, при підвищенні температури гарячого обтискування для вказаного температурного інтервалу (950, 1 100 і 1 150 °C), кутовий коефіцієнт залежності $d_A = f(\varepsilon)$ для металу з витримкою після дефор-

мації 1 хв дорівнює 1,6; 1,5 і 2,0 $\frac{\text{мкм}}{\%}$. Порівня-

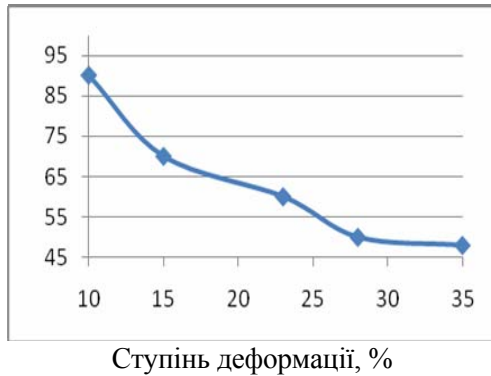
льний аналіз з металом без витримки вказує на досягнення деякого вирівнювання структури аустеніту після відповідного ступеня гарячої деформації.

Подальше збільшення витримки металу після завершення деформації до 1,5 хв привело до збільшення розміру зерна аустеніту лише для температури обтискування 950 °C (рис. 5). Для більш високих температур гарячої деформації максимальні (при $\varepsilon = 10\%$) і мінімальні (при

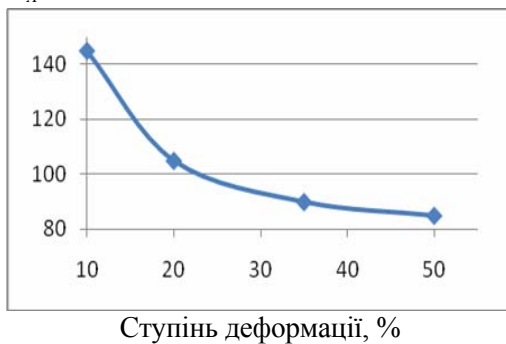
МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

$\varepsilon = 40\text{--}50\%$) величини d_A залишаються практично незмінними (рис. 3–5).

a – a d_A , мкм



б – б d_A , мкм



в – в d_A , мкм

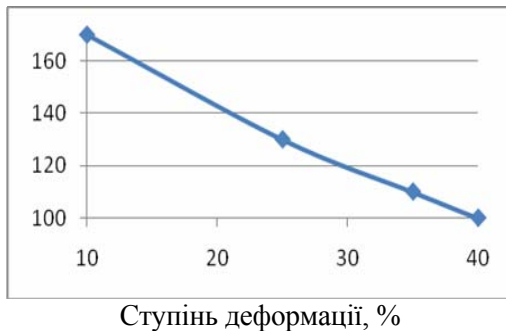
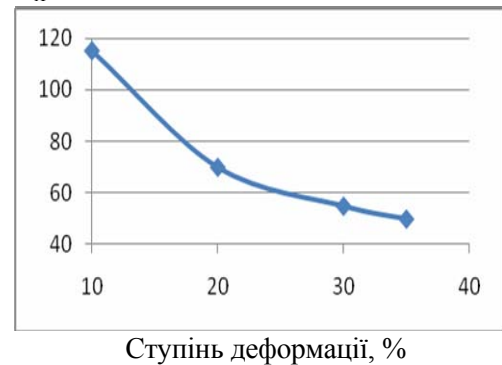


Рис. 4. Залежність середнього розміру зерна аустеніту від ступеня і температури (*a* – 950; *б* – 100 і *в* – 150 °C) пластичної деформації з витримкою металу 1 хв після її закінчення

Fig. 4. Dependence of the average grain size of austenite on the degree and temperature (*a* – 950; *b* – 100 and *c* – 150 °C) plastic deformation with 1 min timing after its ending

a – a d_A , мкм



б – б d_A , мкм

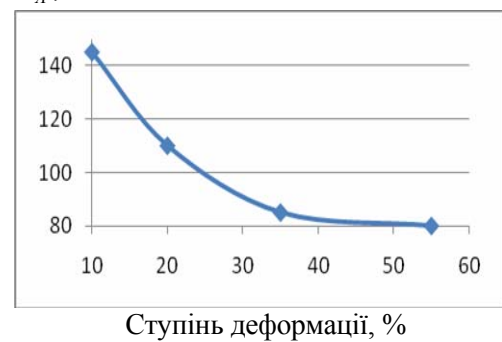


Рис. 5. Залежність середнього розміру зерна аустеніту від ступеня і температури (*a* – 950; *б* – 100 °C) пластичної деформації з витримкою металу 1,5 хв після її закінчення

Fig. 5. Dependence of the average grain size of austenite on the degree and temperature (*a* – 950; *b* – 100 °C) plastic deformation with 1.5 min timing after its ending

Таким чином, можна вважати, що для температури обтискування 950 °C, починаючи від ступеня деформації 20 % і більше, розвиток процесів динамічної і статичної рекристалізації за термін витримки до 1,5 хв практично завершується.

В результаті середній розмір зерна аустеніту стає практично незалежним від тривалості витримки після завершення гарячої деформації металу залізничного колеса. Для більш високих температур гарячого деформування вказане «критичне» значення ступеня деформації зсувається у бік більш малих величин. Так, для температури 100 °C ступеня деформації 15 % вже достатньо для практично повного завершення процесів збіркової рекристалізації аустеніту.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Розмір зерна стає незалежним від температури гарячого обтискування (рис. 3–5) і визначається впливом виключно від ступеня деформації.

На основі отриманих результатів можна вважати, що після завершення останньої формуючої гарячої пластичної деформації при виготовленні залізничного колеса за витримки до 1,5 хв зростання розміру зерна аустеніту не буде суттєвим. Після вказаної витримки, яка повинна бути достатньою для передачі колеса на пристрій примусового охолодження, прискореним охолодженням буде припинено подальше зростання d_A . Внаслідок цього структурні перетворення в процесі прискореного охолодження залізничного колеса будуть відбуватися в металі з попередньо збереженою дрібнозеренною будовою аустеніту.

Ефект зміцнення металу буде зумовлений частковим збереженням гарячого наклепу аустеніту під час обтискування, дрібним зерном і дрібнодисперсними продуктами фазового перетворення під час прискореного охолодження.

Наукова новизна та практична значимість

Підвищення ступеня пластичної деформації, особливо в центральних об'ємах обода, супроводжується зниженням неоднорідності аустенітної структури по його перерізу. Механізм подрібнення зеренної структури заснований на уповільненні розвитку процесів рекристалізації у вуглецевій сталі при зниженні температури обтискування металу елементів залізничного колеса під час їх формування на прокатному стані. Зниження температури гарячого обтискування заготовки в умовах прокатного стану від 1 240–1 260 °С до 1 150 °С супроводжується зменшенням розміру зерна аустеніту від 0–1 до 2–5 балів в різних елементах залізничного колеса.

Висновки

1. Для отримання ефекту подрібнення зерна аустеніту при виготовленні суцільнокатаних залізничних коліс необхідно знижувати температуру нагріву заготовки під прокатку або підвищувати ступінь обтискування на останніх етапах формуючої деформації.

2. Паузи 1,5 хв після обтискування 20 % при

температурі 950 °С достатньо для завершення процесів динамічної і статичної рекристалізації аустеніту у вуглецевої сталі залізничного колеса.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабич, В. К. Деформационное старение стали / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – Москва : Металлургия, 1972. – 320 с.
2. Вакуленко, И. А. Влияние величины и температуры горячей пластической деформации на размер зерна аустенита углеродистой стали / И. А. Вакуленко, О. Н. Перков, Д. М. Болотова // Проблемы и перспективы развития ж.-д. трансп. : тез. докладов 74 Междунар. науч.-практ. конф. – Днепропетровск, 2014. – С. 373–374.
3. Вакуленко, И. А. Морфология структуры и деформационное упрочнение стали / И. А. Вакуленко, В. И. Большаков. – Днепропетровск : Маковецкий, 2008. – 196 с.
4. Вакуленко, И. О. Структурный анализ в материаловедении / И. О. Вакуленко. – Днепропетровск : Маковецкий, 2010. – 124 с.
5. Вакуленко, Л. И. Повреждаемость при эксплуатации катаных железнодорожных колес повышенной прочности / Л. И. Вакуленко, В. Г. Анофриев // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 40. – С. 231–234.
6. Дефекты залізничних коліс / И. О. Вакуленко, В. Г. Анофриев, М. А. Грищенко, О. М. Перков. – Дніпропетровськ : Маковецкий, 2009. – 112 с.
7. Кузін, О. А. Металознавство та термічна обробка металів / О. А. Кузін, Р. А. Яцюк. – Київ : Основа, 2005. – 324 с.
8. Мохорт, А. В. Термічна обробка металів / А. В. Мохорт, М. І. Чумак. – Київ : Либідь, 2002. – 512 с.
9. Мямлин, С. В. Влияние условий эксплуатации на внутреннее строение металла железнодорожных колес / С. В. Мямлин, Л. И. Вакуленко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 42. – С. 164–166.
10. Оцінка необерненої ушкоджуваності при втомі вуглецевої сталі / И. О. Вакуленко, О. М. Перков, М. Кнапінські, Д. М. Болотова // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 3 (51). – С. 65–74.
11. Попова, Л. Е. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана : справ. термиста / Л. Е. Попова, А. А. Попов. – Москва : Металлургия, 1991. – 503 с.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

12. Bhadeshia, H. K. D. H. Bainite in Steels / H. K. D. H. Bhadeshia. – Cambridge : The University Press, 2001. – 454 p.
13. Gubenko, S. Investigation of wear mechanism of tread during operation of railway wheels / S. Gubenko, Y. Proidak // Transport problems. – 2012. – Vol. 7. – Iss. 3. – P. 119–125.
14. Influence of Nonmetallic Inclusions on Microbreaks Formation in Wheel Steel and Railway Wheels / S. Gubenko, Y. Proidak, A. Kozlovsky [et al.] // Transport Problems. – 2008. – Vol. 3, № 3. – P. 77–81.
15. Pickard, S. M. Strain – ageing behavior of fatigued Fe-N-C alloys / S. M. Pickard, F. Guu / Acta Metallurgica et Materialia. – 1990. – Vol. 38, № 3. – P. 397–401. doi: 10.1016/0956-7151(90)90144-6.

Л. И. ВАКУЛЕНКО^{1*}

^{1*}Управление Приднепровской железной дороги, пр. К. Маркса, 108, Днепропетровск, Украина, 49600, тел. +38 (056) 793 00 59, эл. почта dnuzt_textmat@ukr.net, ORCID 0000–0003–2616–740X

ЗАВИСИМОСТЬ РАЗМЕРА ЗЕРНА АУСТЕНИТА В СТАЛИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОЛЕСА ОТ ПАРАМЕТРОВ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ

Цель. Научная работа своей целью имеет оценку влияния температуры нагрева и степени горячего обжата заготовки углеродистой стали на размер зерна аустенита при изготовлении железнодорожных колес. **Методика.** Материалом для исследований являлась углеродистая сталь марки 60 с содержанием углерода 0,55 до 0,65 %, отобранная от фрагментов железнодорожных колес. Определяли размер зерна аустенита в зависимости от температуры нагрева под прокатку (от 800 до 1 150 °С) и степени горячей пластической деформации (10-50 %). Размер зерна аустенита определяли под световым микроскопом с использованием методик количественной металлографии. **Результаты.** Использование подстуживания в процессе горячего обжата заготовки железнодорожного колеса позволит диспергировать структуру аустенита на больших расстояниях от поверхности обода. Обусловлено это тем, что охлажденные объемы металла имеют повышенную прочность и будут в меньшей степени подвергаться пластической деформации. По сравнению с охлажденными прослойками вблизи поверхности обода более разогретые внутренние объемы металла. В условиях непрерывности распространения пластической деформации, имея повышенную температуру, они будут подвергаться обжатию на большую суммарную степень деформации. Вследствие приведенных решений должна формироваться более равномерная аустенитная структура по сечению обода железнодорожного колеса. Для получения эффекта измельчения зерна аустенита при изготовлении цельнокатанных железнодорожных колес необходимо снижать температуру нагрева заготовки под прокатку или повышать степень обжата на последних этапах формообразующей деформации. Паузы длительностью 1,5 мин после обжата 20 % при температуре 950 °С достаточно для завершения процессов динамической и статической рекристаллизации аустенита углеродистой стали железнодорожного колеса. **Научная новизна.** Повышение степени горячей пластической деформации, особенно в центральных объемах обода железнодорожного колеса, сопровождается снижением неоднородности аустенитной структуры по его сечению. Механизм измельчения структуры зерен аустенита основан на замедлении развития процессов рекристаллизации в углеродистой стали при снижении температуры обжата металла элементов железнодорожного колеса, при их формировании на прокатном стане. **Практическая значимость.** Снижение температуры горячего обжата заготовки в условиях прокатного стана от 1 240–1 260 °С до 1 150 °С сопровождается уменьшением размера зерна аустенита от 0–1 до 2–5 балла в разных элементах железнодорожного колеса.

Ключевые слова: аустенит; размер зерна; горячая деформация; железнодорожное колесо; структура; углеродистая сталь

Л. I. VAKULENKO^{1*}

^{1*}Management of the Pridneprovsk Railway, K. Marks Av., 108, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600, tel. + 38 (056) 793 00 59, e-mail dnuzt_textmat@ukr.net, ORCID 0000–0003–2616–740X

DEPENDENCE OF GRAIN SIZE OF AUSTENITE STEEL OF RAILWAY WHEEL FROM PARAMETERS OF HOT DEFORMATION

Purpose. The estimation of heat temperature influence and degree of hot reduction of carbon steel on the size of grain austenite at making of railway wheels. **Methodology.** The material for research was carbon steel, mark 60 with carbon content of 0,55 and 0,65 %, selected from the fragments of railway wheels. The size of grain austenite depending on a temperature (from 800 to 1 150 °C) and degrees of hot deformation (10–50 %) was determined. The size of grain was determined under a light microscope with the use of quantitative metallography methods. **Findings.** The use of cooling in the process of hot reduction of the railway wheel will allow dispersing the structure of austenite on large distances from the surface of the rim. The reason for this is that the volumes of metal after cooling have an increased strength and will be exposed in less degree to the plastic deformation. To compare the cooling layers near-by with the surface of rim, they are more warmed-up in internal volumes of metal. In the conditions of continuity of plastic deformation distribution, having a high temperature, they will be exposed to the reduction on the large total degree of deformation. In consequence of the resulted decisions more even austenitic structure must be formed on the section of rim of railway wheel. To obtain the effect of disperse grain of austenite at making of the whole-rolled railway wheels it is necessary to decrease the heat temperature of billet under rolling or increase the degree of reduction on the last stages of shape-generating deformation. The pause by duration of 1,5 min. after reduction of 20 % at a temperature 950 °C is sufficiently for processes completion of dynamic and static recrystallization of austenite carbon steel of the railway wheel. **Originality.** Increase of plastic deformation degree, especially in the central volumes of rim is accompanied by the decrease of heterogeneity of austenitic structure on his section. The mechanism of disperse structure of austenite is based on slow down of development processes of recrystallization in carbon steel at the metal reduction temperature decrease of elements in the railway wheel when they are formed on a rolling mill. **Practical value.** Temperature decrease of hot reduction of billets in the conditions of flatting mill from 1240–1260 °C to 1 150 °C is accompanied by decrease of size grain of austenite from a 0–1 mark to 2–5 in the different elements of the railway wheel.

Keywords: austenite; size of grain; hot deformation; railway wheel; structure; carbon steel

REFERENCES

1. Babich V. K., Gul Yu. P., Dolzhenkov I. Ye. *Deformatsionnoye stareniye stali* [Strain aging of steel]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1972. 320 p.
2. Vakulenko I. A., Perkov O. N., Bolotova D. M. Vliyaniye velichiny i temperatury goryachey plasticheskoy deformatsii na razmer zerna austenita uglerodisty stali [The effect of the size and temperature of hot plastic deformation on the grain size of the austenite carbon steel]. *Tezisy dokladov 74 Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Problemy i perspektivy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta (15.05–16.05. 2014)»* [Proc. of 74 Intern. Sci. and Practical Conf. «Problems and prospects of development of railway transport»]. Dnipropetrovsk, 2014, pp. 373–374.
3. Vakulenko I. A., Bolshakov V. I. *Morfologiya struktury i deformatsionnoye uprochneniye stali* [The morphology of the structure and strain hardening of steel]. Dnipropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2008. 196 p.
4. Vakulenko I. O. *Strukturnyi analiz v materialoznavstvi* [Structural analysis in material science]. Dnipropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2010. 124 p.
5. Vakulenko L. I., Anofriyev V. G. Povrezhdaemost pri ekspluatatsii katanykh zheleznodorozhnykh koles povyshennoy prochnosti [The damage at exploitation of high strength rolling rail wheels]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 40, pp. 231–234.
6. Vakulenko I. O., Anofriyev V. H., Hryshchenko M. A., Perkov O. M. *Defekty zaliznychnykh kolis* [Defects of railway wheels]. Dnipropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2009. 112 p.
7. Kuzin O. A., Yatsiuk R. A. *Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv* [The metal science and heat treatment of metals]. Kyiv, Osnova Publ., 2005. 324 p.
8. Mokhort A. V., Chumak M. I. *Termichna obrobka metaliv* [Heat treatment of metals]. Kyiv, Lybid Publ., 2002. 512 p.
9. Myamlin S. V., Vakulenko L. I. Vliyaniye usloviy ekspluatatsii na vnutrenneye stroeniye metalla zheleznodorozhnykh koles [The influence on metal structure of condition at exploitation railway wheels]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu imeni akademika*

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

- V. Lazariana [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 164–166.
10. Vakulenko I. O., Perkov O. M., Knapinski M., Bolotova D. M. Otsinka neobernenoi ushkodzhuvanosti pry vtomi vuhletsevoi stali [Estimation of irreversible damageability at fatigue carbon steel]. *Nauka ta Prohress Transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway transport*, 2014, no. 3 (51), pp. 65-74.
 11. Popova L. Ye., Popov A. A. *Diagrammy prevrashcheniya austenita v stalyakh i beta-rastvora v splavakh titana: spravochnik termista* [The austenite transformation charts in steels and beta solution in titanium alloys: Handbook of a heat-treater]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1991. 503 p.
 12. Bhadeshia H. K. D. H. Bainite in Steels. Cambridge, The University Press, 2001. 454 p.
 13. Gubenko S., Proidak Y. Investigation of wear mechanism of tread during operation of railway wheels. *Transport problems*, 2012, vol. 7, issue 3, pp. 119-125.
 14. Gubenko S., Proidak Yu, Kozlovsky A. Influence of Nonmetallic Inclusions on Microbreaks Formation in Wheel Steel and Railway Wheels. *Transport Problems*, 2008, vol. 3, no. 3, pp. 77-81.
 15. Pickard S.M., Guiu F. Strain – ageing behavior of fatigued Fe-N-C alloys. *Acta Metallurgica et Materialia*, 1990, vol. 38, no. 3, pp. 397–401. doi: 10.1016/0956–7151(90)90144–6.

Стаття рекомендована до публікації к.т.н., доц. О. О. Чайковським (Україна); д.т.н., проф. В. О. Заблудовським (Україна)

Поступила в редколлегию: 14.01.2015

Принята к печати: 04.03. 2015

УДК 621.867:620.17:620.193

Л. К. ПОЛІЩУК^{1*}, Р. Д. ІСКОВИЧ-ЛОТОЦЬКИЙ², О. О. КОВАЛЬ³

^{1*}Каф. «Металорізальні верстати та обладнання автоматизованих виробництв», Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, Україна, 21021, тел. +38 (0432) 59 85 23, ел. пошта leo.polishchuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-5916-2413

²Каф. «Металорізальні верстати та обладнання автоматизованих виробництв», Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, Україна, 21021, тел. +38 (0432) 59 85 23, ел. пошта islord@vntu.edu.ua, ORCID 0000-0003-3920-3019

³Каф. «Металорізальні верстати та обладнання автоматизованих виробництв», Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, Україна, 21021, тел. +38 (0432) 59 85 23, ел. пошта kovaloleg@outlook.com, ORCID 0000-0003-2668-0545

ЗМІНА МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА КОРОЗІЙНЕ РОЗТРІСКУВАННЯ ПІД НАПРУЖЕННЯМ МАТЕРІАЛУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЇ СТІЛИ БУРТОУКЛАДНИКА

Мета. Робота спрямована на дослідження впливу умов і тривалості експлуатації металоконструкцій стріли буртоукладника на механічні властивості матеріалу та його корозійне розтріскування під напруженням. Необхідним при цьому є підвищення точності аналізу ресурсу стрілових металоконструкцій підйомно-транспортувальних машин. **Методика.** Зразки для проведення експериментальних досліджень виготовляли із елементів стріли тривало експлуатованого буртоукладника, в яких виникали найбільші робочі напруження. Місця виникнення найбільших зусиль в елементах стрілових конструкцій визначали на її 3D моделі в процесі аналізу отриманих карт напружень методом скінченних елементів. Експериментальні дослідження проводили на установці УВП-6, на якій визначали характеристики міцності й пластичності зразків двох типів шляхом їх розтягу зі швидкістю деформації 10^{-5} с⁻¹ та 10^{-6} с⁻¹ на повітрі та в середовищі синтетичного дощу. Металографічні дослідження проводили на сканувальному електронному мікроскопі. **Результати.** Експериментально встановлено, що після довготривалої експлуатації стріли буртоукладника матеріал її найбільш навантажених елементів зазнав змін щодо характеристик міцності та пластичності. За сумісної дії корозійного середовища та найбільших навантажень на поверхні матеріалу з'являються виразки, точкові дефекти, які є концентраторами локальних механічних напружень, що знижує ресурс елементів конструкції стріли. **Наукова новизна.** 1) вперше встановлені закономірності зміни механічних властивостей тривало експлуатованої металоконструкції стріли буртоукладника, виготовленої з матеріалу Ст. 3; 2) одержала подальший розвиток методологія оцінки залишкового ресурсу тривало експлуатованої стрілової металоконструкції підйомно-транспортувальної машини за рахунок врахування сумісної дії вібраційних і динамічних навантажень та корозійного середовища. **Практична значимість.** Визначення залишкового ресурсу тривало експлуатованих стрілових металоконструкцій підйомно-транспортувальних машин необхідно проводити з урахуванням деградації механічних властивостей матеріалу, а також динамічного характеру їх навантаження. Одержані закономірності щодо зміни механічних властивостей та корозійного розтріскування під навантаженням матеріалу стріли посприяють підвищенню точності оцінки недовговічності залишкового ресурсу несучих металоконструкцій.

Ключові слова: стріла буртоукладника; робочі напруження; корозійне середовище; зміна механічних властивостей; пошкодження поверхні матеріалу; залишковий ресурс

Вступ

Сучасні потокові технологічні та автоматизовані лінії, які широко застосовуються в машинобудуванні, автомобілебудуванні, гірничій, вугільній, будівельній, харчовій промисловості, сільському господарстві тощо, потребують застосування підйомно-транспортних машин та механізмів різних типів, що забезпечують

безперервність, ритмічність та високу продуктивність виробничих процесів. Підйомно-транспортне обладнання відіграє все важливішу роль у технологічних процесах і стає одним із найважливіших чинників, що визначають досконалість та ефективність виробництв.

На багатьох виробництвах застосовуються комплекси підйомно-транспортних машин

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

неперервної дії, що складаються з кількох видів обладнання різного функціонального призначення. Такі комплекси є найбільш ефективними засобами механізації технологічних процесів відкритого видобування корисних копалин, переробних виробництв тощо і використовуються, зокрема, для виконання транспортно-розвантажувальних робіт і складування буряків на цукрових заводах. Спільним для цих комплексів є наявність підйально-транспортного обладнання, оснащеного стріловими конструкціями, які утримуються під заданим кутом за допомогою відтяжок, закріплених на вантових опорах. На стрілових конструкціях улаштовують стрічкові конвеєри, які здійснюють транспортування вантажів.

Ефективність роботи комплексу тим вища, чим більша продуктивність, радіус і висота дії машини, що відвантажує продукцію у відвали чи бурти. Так, довжина стріли деяких відвалоутворювачів фірми «PRODECO» (Чехія) сягає 200 м, «Tenova TAKRAF» (Німеччина) – 195 м, заводу «Азовмаш» – 190 м, «Фамак» (Польща) – 150 м, а швидкість стрічки конвеєра становить 7–9 м/с. Вантажопотоки, що надходять на стрічку конвеєра, характеризуються великою нерівномірністю і носять, як правило, випадковий характер. Коефіцієнт нерівномірності вантажопотоків може досягати значень 1,97–2,02 [10]. Зазначені режими транспортування є характерними, зокрема для конвеєра комплексу БУМ-65М2Б3-К. Нерівномірність завантаження конвеєрів, а також невідносна нерівноваженість обертових ланок трансмісійних ліній комплексу зумовлюють виникнення змінних навантажень, що нерідко збуджують інтенсивні механічні коливання елементів механічної системи і створюють умови для втомного руйнування деталей і вузлів. На рис. 1 наведена осцилограма вібрацій платформи оператора цього комплексу, що зареєстровані за допомогою вібрографа ВР-1 [8].

З рис. 1 видно, що максимальна амплітуда коливань платформи сягає 3,8 мм, основна частота коливань становить близько 7 Гц, друга гармоніка має частоту близько 40 Гц.

Вихід з ладу будь-якого агрегату викликає простоювання всього комплексу, що призводить до значних втрат на виробництві. За таких умов важливого значення набувають

питання довговічності і надійності машин, що входять у технологічний комплекс.

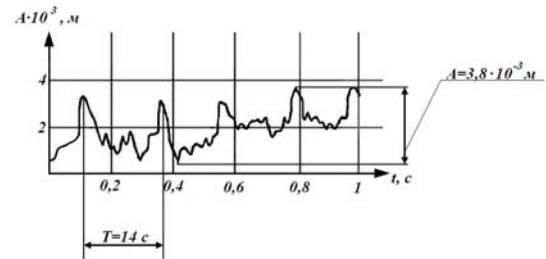


Рис. 1. Осцилограма вібрацій платформи оператора комплексу БУМ-65М2Б3-К

Fig. 1. Oscillogram of vibration of operator's platform of the BUM-65M2B3-K complex

Розв'язання цієї проблеми за рахунок збільшення запасу міцності призводить до зростання початкової вартості машини, а отримувані при цьому масо-інерційні параметри стають неоправдановано завищеними. Слід зазначити, що в деяких випадках збільшення маси вузлів і уявне, на перший погляд, збільшення міцності призводить не до підвищення надійності машини, а до її зниження. Так, збільшення площі поперечного перерізу каната відтяжки стріли великої довжини може призвести до того, що напруження згину в місцях його защемлення через великі амплітуди поперечних коливань за умови резонансу виявляться настільки суттєвими, що, незважаючи на зниження напружень розтягу, еквівалентні втомні напруження не зменшаться, а, навпаки, збільшаться [7].

Більшість агрегатів, з яких складаються комплекси, є коштовними підйально-транспортними машинами, тому економічно доцільною є їх тривала експлуатація на виробництвах (30–50 і більше років). За свідченнями експлуатаційників, після тривалої роботи буртоукладальної машини деякі деталі та вузли укладального конвеєра і стрілової конструкції виходять з ладу, а в місцях шарнірного з'єднання ванти зі стрілою на поверхнях несінних ланок з'являються тріщини. Для підвищення міцності ці місця підсилюються шляхом наварювання пластин на пошкоджені поверхні.

У сучасних інженерних розрахунках детально не враховується вплив умов і тривалості

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

експлуатації конструкції на механічні властивості матеріалу, проте у низці наукових праць автори стверджують, що з часом у виробничих умовах механічні властивості матеріалів деградують [1, 4, 15, 13]. Крім того, небезпечними є процеси корозійного розтріскування металоконструкцій під напруженням. Незважаючи на те, що середня швидкість корозії є незначною, локальні ураження матеріалу є доволі небезпечними і становлять одну з основних причин руйнування несівних елементів металоконструкцій.

Тому для оцінювання технічного стану тривалоексплуатованих металоконструкцій та прогнозування їх залишкового ресурсу необхідно поряд з параметрами циклічних динамічних навантажень враховувати можливу деградацію механічних властивостей сталей, а також корозійне розтріскування матеріалу під напруженням. Це дасть змогу підвищити точність визначення залишкового ресурсу та одержати належну достовірність техніко-економічних розрахунків в інженерній практиці.

Мета

Метою роботи є дослідження умов і тривалості експлуатації металоконструкції стріли буртоукладника на механічні властивості матеріалу та його корозійне розтріскування під напруженням для підвищення точності аналізу залишкового ресурсу стрілових металоконструкцій підіймально-транспортних машин.

Методика

Як відомо [2, 6, 9, 14], деградація матеріалів найбільшою мірою проявляється в елементах конструкцій з максимальними напруженнями. Тому для виявлення найбільш навантажених елементів стріли виконано аналіз напружено-деформованого стану несівної конструкції методом скінченних елементів. Із найбільш навантажених елементів конструкції виготовили зразки для виконання експериментальних досліджень.

Аналіз напружено-деформованого стану виконали із застосуванням обчислювального комплексу APM Structure 3D пакету APM Win Machine.

Досліджували складові елементи металоконструкції стріли, у яких напруження досягають свого екстремуму: ВР – вертикально розміщена

в перерізі полічка кутника поперечного стрижня верхнього пояса стріли з найменшим діючим напруженням, ГР – горизонтально розміщена полічка кутника цього ж стрижня; ВН – вертикально розміщена в перерізі полічка кутника стрижня 1 верхнього пояса стріли з найбільшим діючим напруженням, ГН – горизонтально розміщена полічка цього ж стрижня.

Характеристики міцності та пластичності визначали на циліндричних зразках типу 1 і 2 (рис. 2) шляхом розтягу зі швидкістю деформації 10^{-5} c^{-1} та 10^{-6} c^{-1} на установці УВП-6 (рис. 3).

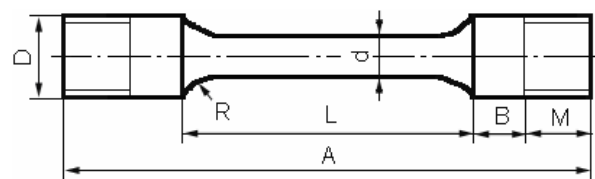


Рис. 2. Зразок для випробувань матеріалів на довготривалу корозійну міцність

Fig. 2. Sample for materials testing for long-term corrosion strength

Зразок типу 1 має такі розміри: $A = 80 \text{ мм}$; $L = 40 \text{ мм}$; $d = 4 \text{ мм}$; $D = 6 \text{ мм}$; $M = 10 \text{ мм}$, а зразок типу 2 відрізняється лише розмірами $d = 3 \text{ мм}$ і $D = 4 \text{ мм}$. Випробування виконували на повітрі та в середовищі синтетичного дощу з метою створення умов, наближених до експлуатаційних. Кислотний дощ утворюється, здебільшого, в результаті реакції між водою і такими забруднюючими речовинами, як діоксид сірки (SO_2) і різні оксиди азоту (NO_x). Аналіз атмосферних опадів у промислових регіонах України, в яких експлуатуються буртоукладники, виявив, що рН такого дощу може досягати 4,4, а його усереднений хімічний склад є таким: $\text{H}_2\text{SO}_4 - 3,19$; $\text{Na}_2\text{SO}_4 - 3,2$; $\text{HNO}_3 - 1,58$; $\text{NaNO}_3 - 2,12$; $\text{NaCl} - 8,48$ [11, 16]. Металографічні дослідження виконано на сканувальному електронному мікроскопі EVO-40XVP (фірма Carl Zeiss).

Як вихідний матеріал використано елемент конструкції ВР стріли, у якому практично не виникали напруження.

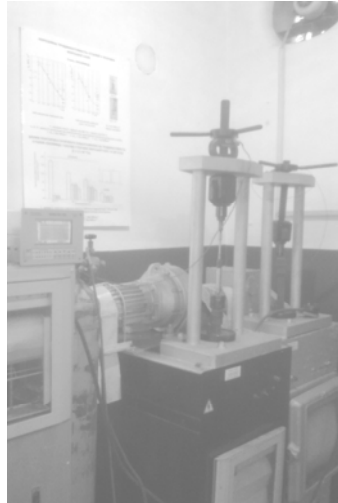
Результати

Розглянуто результати досліджень впливу тривалої експлуатації (близько 30 років на Барському цукровому заводі, Вінницька обл.) бур-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

тоукладника БУМ-65М2БЗ-К на зміну механічних властивостей матеріалу (характеристики міцності та пластичності) і на корозійне розтріскування під напруженням матеріалу стріли, виготовленої із профільної сталі Ст. 3.

a – a



б – б

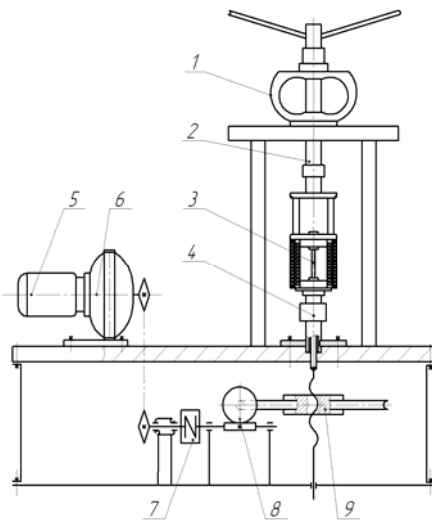


Рис. 3. Загальний вигляд (*a*) та кінематична схема (*б*) установки УВП-6:
1 – динамометр; 2 – тяга верхня; 3 – зразок;
4 – тяга нижня; 5 – мотор-редуктор;
6 – ланцюгова передача; 7 – муфта;
8 – черв'ячна передача;
9 – черв'ячно-гвинтова передача

Fig. 3. General view (*a*) and kinematic scheme (*б*) of plant UVP-6:

1 – dynamometer; 2 – upper traction; 3 – sample;
4 – lower traction; 5 – motor-reducer; 6 – chain gear;
7 – coupling; 8 – worm gear;
9 – worm-screw gear

На рис. 4 зображена розроблена 3D модель стріли укладального конвеєра, яка складається з верхнього 1 та нижнього 2 поясів, скріплених поперечними стійками 3 та відкосами 4. Верхній та нижній пояси виготовлені з рівнополичного кутника *L50-5*, а стійки та відкоси – з кутника *L32-3* (ДСТУ 2251-93 (ГОСТ 8509-93)), які утворюють стрижневу систему стріли. Стріла кріпиться до буртоукладника за допомогою шарнірного з'єднання 5, а до пілона – за допомогою відтяжок шарнірами 6 і таким чином встановлюється під кутом 16° до горизонту.

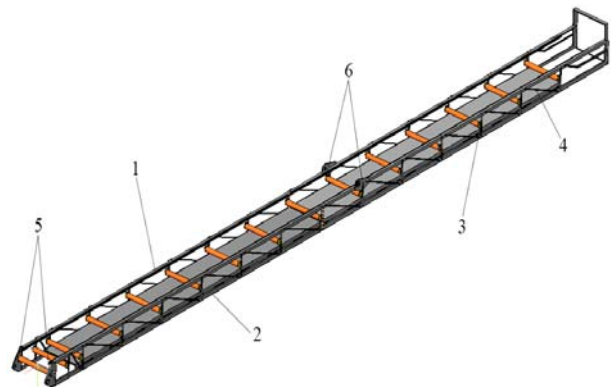


Рис. 4. 3D модель стріли укладального конвеєра

Fig. 4. 3D model of an arrow of placing conveyor

В процесі виконання статичного розрахунку отримуємо карти напружень деформованого стану конструкції (рис. 5), за допомогою яких встановлюємо числові значення напружень у стрижнях. Розглядали три випадки навантаження конвеєра: номінальне, рівномірно розподілене по стрічці (рис. 5, *a*); збільшене у півтора разу щодо номінального (рис. 5, *б*); збільшене у 2 рази щодо номінального (рис. 5, *в*).

Встановлено, що найбільші значення напружень виникають у стрілі в місці кріплення відтяжок до шарнірів 6.

На рис. 6 зображено вісім основних стрижневих елементів конструкції.

Максимальні значення напружень у стрижнях наведені у табл. 1.

Найменші (близькі до нуля) напруження виникають у поперечному стрижні (точка *A*, рис. 5, *a*) відвантажувальної частини стріли, а найбільші – у стрижні 1 (точка *B*, рис. 6) верхнього пояса 1 (див. рис. 4).

За результатами досліджень механічних характеристик зі швидкістю деформації 10^{-5} с^{-1} ,

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

які наведені в табл. 2, виявлено, що в елементі конструкції ГР в обох випробувальних середовищах, порівняно з вихідним матеріалом елемента конструкції ВР (рис. 7 а, б), відбувається незначне зниження характеристик міцності та пластичності, яке прослідковується за характеристикою δ . Характеристика ψ практично не змінилася (в межах похибки).

а – а

б – б

в – в

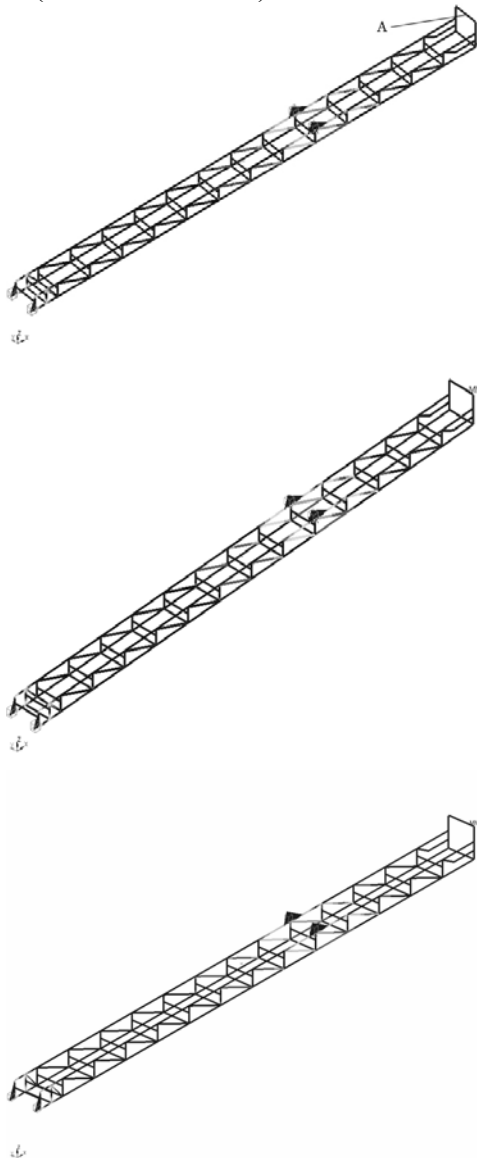


Рис. 5. Напружений стан стріли конвеєра:
а – номінальне навантаження вантажем вагою 10 кН;
б – навантаження вантажем вагою 15 кН;
в – навантаження вантажем вагою 20 кН

Fig. 5. Stressed state of an arrow of conveyor:
а – nominal load, weight of 10 kN; б – load,
weight of 15 kN; в – load, weight of 20 kN

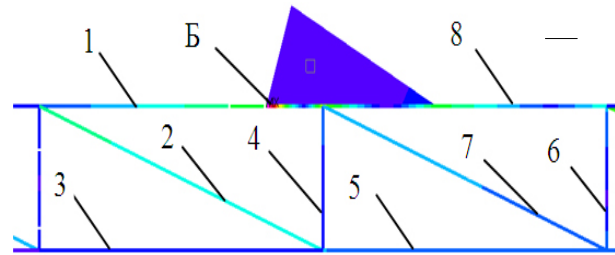


Рис. 6. Зони найбільших напружень
в стрижнях конструкції

Fig. 6. Areas of greatest stress in the bars
of construction

Для елементів конструкції ВН та ГН спостерігається незначне зростання міцнісних характеристик та зниження характеристик пластичності як у повітрі, так і середовищі синтетичного дощу порівняно з вихідним матеріалом, що свідчить про окрихнення експлуатованого матеріалу. Причому, показники δ змінюються в більшій мірі ніж показники ψ . Найнижчі характеристики пластичності в елементах ГН: показники δ та ψ знизилися відповідно на 51,6 % і 7,42 % у повітрі та на 53,6 % і 8,65 % у розчині синтетичного дощу порівняно з вихідним матеріалом.

Таблиця 1





















**Максимальні напруження у
перерізах стрижнів**

Table 1

**The maximum stress in
cross sections of rods**

Номер стрижня	Максимальне значення напруження, МПа	Розподіл на- пружень по поперечному перерізу
Навантаження вантажем вагою 10 кН		
1	119,5	
2	33,57	
3	10,85	
4	9,486	

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Продовження табл. 1			Закінчення табл. 1		
Номер стрижня	Максимальне значення напруження, МПа	Розподіл напружень по поперечному перерізу	Номер стрижня	Максимальне значення напруження, МПа	Розподіл напружень по поперечному перерізу
Навантаження вантажем вагою 10 кН			Навантаження вантажем вагою 20 кН		
5	21,73		3	28,24	
6	9,134		4	43,08	
7	25,26		5	59,67	
8	41,69		6	61,74	
Навантаження вантажем вагою 15 кН			7	68,11	
1	255,9		8	122	
2	87,15		Таблиця 2		
3	23,02		Механічні властивості сталі Ст. 3		
4	40,42		Table 2		
5	48,77		Mechanical properties of steel St. 3		
6	40,64				
7	59,51				
8	97,72				
Навантаження вантажем вагою 20 кН					
1	322,7				
2	92,02				

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Закінчення табл. 2

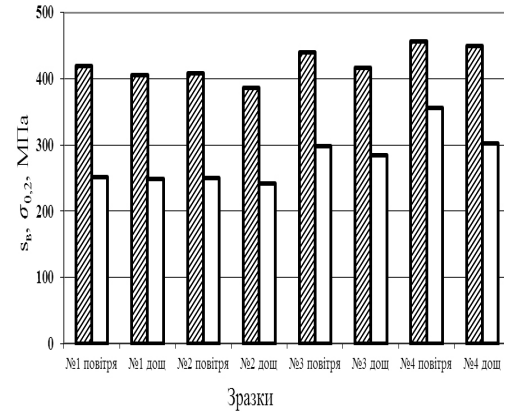
Сталь, елемент конструкції	Середовище	δ	ψ	σ_b	$\sigma_{0,2}$	$V_{\text{деф.}}$
		%	%	МПа	МПа	мм/с
Ст. 3, ГН	повітря	12, 17	61, 97	45 7	35 6	10^{-5}
	синт. дощ	10, 27	59, 88	45 0	30 2	10^{-5}
Ст. 3, ВР	повітря	22, 16	65, 24	42 0	24 6	10^{-6}
	синт. дощ	16, 58	62, 18	39 4	24 2	10^{-6}
Ст. 3, ГР	повітря	18, 24	63, 12	40 6	24 0	10^{-6}
	синт. дощ	15, 93	61, 56	37 4	24 8	10^{-6}
Ст. 3, ВН	повітря	15, 50	59, 05	41 0	29 2	10^{-6}
	синт. дощ	12, 25	52, 00	40 8	28 7	10^{-6}
Ст3, ГН	повітря	10, 86	62, 04	46 2	33 6	10^{-6}
	синт. дощ	7,9 2	52, 00	46 0	32 0	10^{-6}

Для елемента конструкції ВН характеристики пластичності на повітрі знизилися: δ – на 25 %; ψ – на 4,4 %; у розчині синтетичного дощу на 35 % та на 5 % відповідно (порівняно з вихідним матеріалом). Отже, у корозійному середовищі крихкість досліджуваних матеріалів зростає. Зазначимо, що крихким матеріалам властива низька тріщинозійкість. Поява в результаті експлуатації дефектів типу тріщин або інших гострокінцевих концентраторів напружень може спричинити підвищений ризик руйнування [11, 12, 16].

Випробування у розчині синтетичного дощу виявили, що навіть за швидкості деформації (10^{-5} c^{-1}) на поверхні зразка утворюються виразки (рис. 8, а, б) та точкові дефекти, що можна пояснити електрохімічною неоднорідністю деформованої поверхні, яка спричиняє виникнення локальних пошкоджень за електрохімічним механізмом. В результаті довготривалої дії корозійного середовища та напружень розміри пошкоджень зростають. Це є негативним чин-

ником, оскільки такі пошкодження можна розглядати як ефективні концентратори механічних напружень, від яких можливе зародження тріщиноподібних дефектів.

а – а



б – б

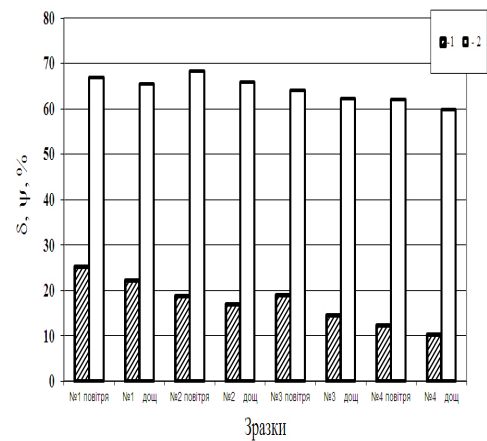


Рис. 7. Міцність (а) та пластичність (б) елементів конструкції за деформації 10^{-5} c^{-1} на повітрі та в розчині синтетичного дощу

Fig. 7. Durability (a) and ductility (b) of elements of construction for strain 10^{-5} mm/s in air and in a solution of synthetic rain

На поверхні зразка елемента конструкції ГН, випробуваного в розчині синтетичного дощу, спостерігається утворення сітки поверхневих тріщин різного розміру та орієнтації, що також є підтвердженням окрихнення матеріалу (рис. 8, в).

За однакових умов випробувань у середовищі синтетичного дощу в матеріалі елемента конструкції ГН з найбільш навантаженої частини стріли розміри пошкоджень є більшими, ніж у зразку елемента конструкції ВР вихідного матеріалу з найменш навантаженої частини стріли (рис. 9).

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

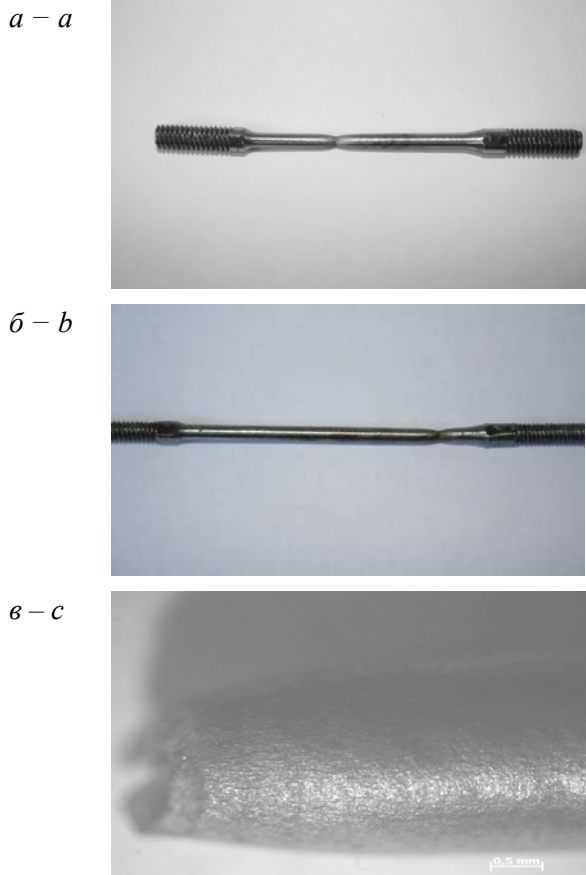


Рис. 8. Зразки після випробувань у середовищі синтетичного дощу:

- a* – зразок елемента конструкції ВР;
b – зразок елемента конструкції ГН;
c – зразок елемента конструкції ГН (збільшено)

Fig. 8. Samples after testing in environment of synthetic rain:

- a* – sample of the design elements VR;
b – sample of the design elements HN,
c – sample of design elements HN (increased)

За випробувань з меншою швидкістю деформації (10^{-6} c^{-1}) спостерігаються такі ж тенденції, як і під час випробувань за деформації 10^{-5} c^{-1} : незначне зниження характеристик міцності та пластичності для елемента конструкції ГР та незначне зростання характеристик міцності та зниження характеристик пластичності для елементів конструкції ГН і ВН порівняно з вихідним матеріалом. Так, для елемента конструкції ГН значення δ та ψ знижуються відповідно на 51 % і на 5 % у повітрі та на 52,2 % і на 6,4 % у розчині синтетичного дощу порівняно з вихідним матеріалом.

doi 10.15802/stp2015/42176

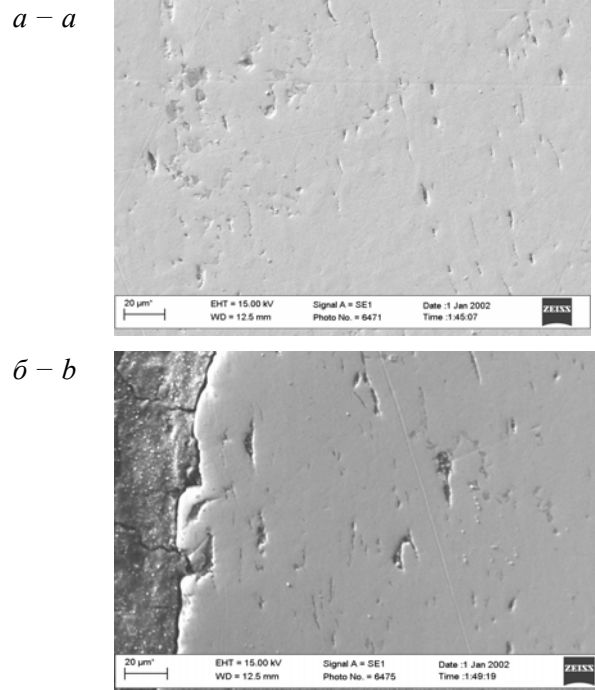


Рис. 9. Пошкодження металу після випробувань у середовищі синтетичного дощу:

- a* – вихідний матеріал;
b – зразок елемента конструкції ГН

Fig. 9. Damages of the metal after testing in environment of synthetic rain:

- a* – the source material;
b – sample of the design elements HN

Оскільки зміни характеристик міцності та пластичності за різних швидкостей деформування (10^{-6} c^{-1} та 10^{-5} c^{-1}) практично не відрізняються, то ці швидкості дають можливість визначення максимального впливу середовища на міцність і пластичність.

Наукова новизна та практична значимість

1. Вперше встановлені закономірності зміни механічних властивостей тривалоексплуатованої металоконструкції стріли буртоукладника, виготовленої з матеріалу Ст. 3.

2. Одержала подальший розвиток методологія оцінки залишкового ресурсу тривалоексплуатованої стрілової металоконструкції підйнятно-транспортної машини за рахунок врахування сумісної дії вібраційних і динамічних

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

них навантажень та корозійного середовища.

Визначення залишкового ресурсу тривало-експлуатованих стрілових металоконструкцій підйально-транспортних машин необхідно проводити з урахуванням деградації механічних властивостей матеріалу, а також динамічного характеру їх навантаження. Одержані закономірності щодо зміни механічних властивостей та корозійного розтріскування під навантаженням матеріалу стріли посприяють підвищенню точності оцінки недовговічності залишкового ресурсу несівних металоконструкцій.

Висновки

Встановлено, що після довготривалої експлуатації механічні властивості матеріалу складових елементів металоконструкції стріли буртоукладника зазнали змін порівняно з вихідним матеріалом: для елементів конструкції ГН та ВН з найбільшим діючим напруженням спостерігається незначне зростання міцнісних характеристик та зниження характеристик пластичності як у повітрі, так і в середовищі синтетичного дощу, що свідчить про окрихчування експлуатованого матеріалу. Найнижчими характеристики пластичності одержані для елементів конструкції ГН найбільш навантаженої частини стріли.

В елементі конструкції ГР спостерігається незначне зниження характеристик міцності і пластичності.

За сумісної дії корозійного середовища (синтетичний дощ) та прикладених статичних навантажень зростає пошкодження поверхні матеріалу: з'являються виразки та точкові дефекти, які знижують довговічність елементів конструкції, оскільки вони можуть бути концентраторами локальних механічних напружень.

Негативним явищем, з огляду на довговічність та безпеку підйально-транспортних машин, є поява сітки поверхневих тріщин різного розміру та орієнтації на поверхні зразка елемента конструкції ГН, що підтверджує окрихчення матеріалу конструкції.

Отже, для визначення залишкового ресурсу стрижневих металоконструкцій тривалої експлуатації необхідно враховувати деградацію механічних властивостей матеріалу, а також синергетичний вплив механічних чинників та

іонної сили середовища, що значно прискорює корозійні процеси.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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 заліз. трансп. ім. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 21. – С. 266–268.
2. Вакуленко, І. О. Умови розвитку процесів динамічного деформаційного старіння в сталі / І. О. Вакуленко, Ю. Л. Надеждін // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 37. – С. 220–223.
3. Василенко, І. І. Коррозионное растрескивание сталей / І. І. Василенко, Р. К. Мелехов. – Київ : Наук. думка, 1977. – 265 с.
4. Деградація металу під час тривалої експлуатації та її вплив на працездатність лопаток парової турбіни / Г. М. Григоренко, О. Д. Сміян, Л. М. Капітанчук [та ін.] // Цільова комплекс. програма НАН України «Проблема ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин» : зб. наук. ст. – Київ : Ін-т електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, 2012. – С. 288–299.
5. Механика разрушения и прочность материалов : справ. пособие : в 4 т. / общ. ред. В. В. Панасюка. – Київ : Наук. думка, 1990. – Т. 4. – 679 с.
6. Ниркова, Л. І. Розроблення методики розрахунку імовірності корозійного розтріскування від напруження ділянки магістрального газопроводу / Л. І. Ниркова, С. О. Осадчук, І. М. Шпільський // Цільова комплекс. програма НАН України «Проблема ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин» : зб. наук. ст. – Київ : Ін-т електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, 2012. – С. 328–332.
7. Панкратов, С. А. Динамика машин для открытых горных и земляных работ / С. А. Панкратов. – Москва : Машиностроение, 1967. – 448 с.
8. Поліщук, Л. К. Вмонтовані гідравлічні приводи конвеєрів з гнучким тяговим органом, чутливі до зміни навантаження : монографія / Л. К. Поліщук, О. О. Адлер. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 184 с.
9. Розрахунок залишкової довговічності тривало експлуатованої ділянки магістрального газопроводу / О. Є. Андрейків, О. В. Гембара, О. Т. Циркульник, Л. І. Ниркова // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2012. – Т. 48, № 2. – С. 103–110.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

10. Спиваковский, А. О. Теория ленточных конвейеров / А. О. Спиваковский, В. Г. Дмитриев. – Москва : Наука, 1982. – 187 с.
11. Хорват, Л. Кислотный дождь / Пер с венг. В. В. Крымского ; Под ред. Ю. Н. Михайловского. – Москва : Стройиздат, 1990. – 80 с.
12. Цыбенко, А. С. Оценка долговечности длительно эксплуатирующихся энергомашиностроительных конструкций на основе расчета напряженно-деформированного состояния / А. С. Цыбенко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 13. – С. 165–167.
13. Effect of the long-term service of the gas pipeline on the properties of the ferrite–pearlite steel / H. Nykyforchyn, E. Lunarska, O. Tsyrlunyk [et al.] // Materials and Corrosion. – 2009. – № 9. – P. 716–725. doi: 10.1002/maco.200805158.
14. Environmentally assisted «in-bulk» steel degradation of long term service gas trunkline / H. Nykyforchyn, E. Lunarska, O. Tsyrlunyk [et al.] // Eng. Failure Analysis. – 2010. – Vol. 17. – Iss. 3. – P. 624–632. doi: 10.1016/j.engfailanal.2009.04.007.
15. Nykyforchyn, H. M. Abnormal manifestation of high-temperature degradation of the weld metal of low-alloy steel welded joints / H. M. Nykyforchyn, O. Z. Student, A. D. Markov // Materials Science. – 2007. – № 1. – P. 77–84. doi: 10.1007/s11003-007-0008-1.
16. Zin, I. M. Under-film corrosion of epoxy-coated galvanized steel: An EIS and SVET study of the effect of inhibition at defects / I. M. Zin, S. B. Lyon, A. Hussain // Progress in Organic Coatings. – 2005. – № 52 (2). – P. 126–135. doi:10.1016/j.porgcoat.2004.10.006.

Л. К. ПОЛИЩУК^{1*}, Р. Д. ИСКОВИЧ-ЛОТОЦКИЙ², О. А. КОВАЛЬ³

^{1*}Каф. «Металлорежальные станки и оборудование автоматизированных производств», Винницкий национальный технический университет, Хмельницкое шоссе, 95, Винница, Украина, 21021, тел. + 38 (0432) 59 85 23, эл. почта leo.polishchuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-5916-2413

²Каф. «Металлорежальные станки и оборудование автоматизированных производств», Винницкий национальный технический университет, Хмельницкое шоссе, 95, Винница, Украина, 21021, тел. + 38 (0432) 59 85 23, эл. почта islord@vntu.edu.ua, ORCID 0000-0003-3920-3019

³Каф. «Металлорежальные станки и оборудование автоматизированных производств», Винницкий национальный технический университет, Хмельницкое шоссе, 95, Винница, Украина, 21021, тел. + 38 (0432) 59 85 23, эл. почта kovaloleg@outlook.com, ORCID 0000-0003-2668-0545

ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И КОРРОЗИОННОЕ РАСТРЕСКИВАНИЕ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ МАТЕРИАЛА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ СТРЕЛЫ БУРТОУКЛАДЧИКА

Цель. Работа направлена на исследование влияния условий и продолжительности эксплуатации металлоконструкций стрелы буртоукладчика на механические свойства материала и его коррозионное растрескивание под напряжением. Необходимым при этом является повышение точности анализа ресурса стреловых металлоконструкций подъемно-транспортных машин. **Методика.** Образцы для проведения экспериментальных исследований изготавливали из элементов стрелы длительно эксплуатируемого буртоукладчика, в которых возникали наибольшие рабочие напряжения. Места возникновения наибольших усилий в элементах стреловых конструкций определяли на ее 3D модели в процессе анализа полученных карт напряжений методом конечных элементов. Экспериментальные исследования проводили на установке УВП-6, на которой определяли характеристики прочности и пластичности образцов двух типов путем их растяжения со скоростью деформации 10^{-5} с^{-1} и 10^{-6} с^{-1} на воздухе и в среде синтетического дождя. Металлографические исследования проводили на сканирующем электронном микроскопе. **Результаты.** Экспериментальными исследованиями установлено, что после длительной эксплуатации стрелы буртоукладчика материал ее наиболее нагруженных элементов претерпел изменения в характеристиках прочности и пластичности. При совместном действии коррозионной среды и наибольших нагрузок на поверхности материала появляются изъявления, точечные дефекты, которые являются концентраторами локальных механических напряжений, что снижает ресурс элементов конструкции стрелы. **Научная новизна.** 1) впервые установлены закономерности изменения механических свойств длительно эксплуатируемой металлоконструкции стрелы буртоукладчика, изготовленной из материала Ст. 3; 2) получила дальнейшее развитие методология оценки остаточного ресурса длительно-эксплуатируемой стреловой металлоконструкции подъемно-транспортной машины за счет учета совместного действия вибрационных и динамических нагрузок и коррозионной

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

среды. **Практическая значимость.** Определение остаточного ресурса длительно эксплуатируемых стреловых металлоконструкций подъемно-транспортных машин необходимо проводить с учетом деградации механических свойств материала, а также динамического характера их нагрузки. Полученные закономерности по изменению механических свойств и коррозионного растрескивания под нагрузкой материала стрелы помогут повышению точности оценки долговечности остаточного ресурса несущих металлоконструкций.

Ключевые слова: стрела буртоукладчика; рабочие напряжения; коррозионная среда; изменение механических свойств; повреждения поверхности материала; остаточный ресурс

L. K. POLISHCHUK^{1*}, R. D. ISKOVYCH-LOTOTSKYI², O. A. KOVAL³

^{1*}Dep. «Metal Cutting Machines and Equipment of Automated Production», Vinnytsia National Technical University, Khmelnytskyi Road, 95, Vinnytsia, Ukraine, 21021, tel. +38 (0432) 59 85 23, e-mail leo.polishchuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-5916-2413

²Dep. «Metal Cutting Machines and Equipment of Automated Production», Vinnytsia National Technical University, Khmelnytskyi Road, 95, Vinnytsia, Ukraine, 21021, tel. +38 (0432) 59 85 23, e-mail islord@vntu.edu.ua, ORCID 0000-0003-3920-3019

³Dep. «Metal Cutting Machines and Equipment of Automated Production», Vinnytsia National Technical University, Khmelnytskyi Road, 95, Vinnytsia, Ukraine, 21021, tel. +38 (0432) 59 85 23, e-mail kovaloleg@outlook.com, ORCID 0000-0003-2668-0545

CHANGE IN THE MECHANICAL PROPERTIES AND STRESS CORROSION CRACKING UNDER TENSION OF A CLAMP-FORMING MACHINE ARROW

Purpose. The aim is to study the effects of conditions and duration of working of structures arrows of a clamp-forming machine on mechanical properties of the material and its stress corrosion cracking under tension. It is necessary to improve the accuracy of resources analysis of boom metalwares of lifting and transporting machines. **Methodology.** Samples for experimental investigations were made of the elements of arrow continued exploited clamp-forming machine where there were major work stress. Centers of greatest efforts in elements of arrows constructions were determined in its 3D model in the analysis of the stress cards by finite element method. Experimental studies were performed at the facility UVP-6, which determined the characteristics of strength and ductility of samples of two types by means of tensile strain, speed 10^{-5} s^{-1} and 10^{-6} s^{-1} in air and in the environment of synthetic rain. Metallographic studies were performed on a scanning electron microscope. **Findings.** Experimental studies found that after long-term operation of arrow of clamp-forming machine material of its most loaded elements changed due to characteristics of strength and ductility. At joint action of corrosion environment and the greatest stress on the surface of the material expressions, point defects are appeared. They are concentrators of local mechanical stress, which reduce the resource construction elements of the arrow. **Originality.** 1) firstly set patterns of changes in the mechanical properties of continued operated metal construction of arrow of clamp-forming machine made of St. 3; 2) received further developed methodology for remaining resource estimation continued operated of metal boom lifting and shipping the machine by taking into account joint action vibration and dynamic loads and corrosive environments. **Practical value.** Determination the residual resource of continued operated boom lifting and transporting metal machines should be carried out taking into account the degradation of the mechanical properties of the material as well as the dynamic nature of the load. The obtained regularities on changes of mechanical properties and stress corrosion cracking under tension of an arrow material will contribute to increase evaluation accuracy of fragility of residual resource of load carrying steel structures.

Keywords: arrow of clamp-forming machine; work stress; corrosive environment; changes in the mechanical properties; damages to the surface of the material; residual resource

REFERENCES

1. Vakulenko I.O., Hryshchenko M.A., Perkov O.M. Doslidzhennia etapiv zarodzhennia ta zrostannia trishchyn pry naturnomu vyprovuvanni na vtomlenist [Research of stages of nucleation and growth of cracks at full scale tests on tiredness]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu 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.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

2. Vakulenko I.O., Nadezhdin Yu.L. Umovy rozvytku protsesiv dynamichnoho deformatsiinoho starinniia v stali [Conditions for development dynamic strain steel ageing]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue. 37, pp. 220-223.
3. Vasilenko I.I., Melekhov R.K. *Korroziynoye rastreskivaniye staley* [Corrosion cracking of steels]. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 1977. 265 p.
4. Hryhorenko H.M., Smiian O.D., Kapitanchuk L.M., Butkova O.I., Solomiichuk T.H. Dehradatsiia metalu pid chas tryvaloi ekspluatatsii ta yii vplyv na pratsездatnist lopatok parovoi turbiny [The degradation of the metal during prolonged use and its impact on the performance of the turbine blades]. *Tsilova kompleksna prohrama NAN Ukrainy «Problema resursu i bezpeky ekspluatatsii konstruksii, sporud ta mashyn»* [Targeted Comprehensive Program of NAS of Ukraine «Problem of life and safety of exploitation of structures, facilities and machines»]. Kyiv, 2012, pp. 288-299.
5. Panasyuk V.V. *Mekhanika razrusheniya i prochnost materialov. Tom 4* [Fracture mechanics and strength of materials. In 4 volumes]. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 1990. Vol. 4. 680 p.
6. Nyrkova L.I., Osadchuk S.O., Shpil'skiy I.M. Rozroblennia metodyky rozrakhunku imovirnosti koroziiinoho roztriskuvannia vid napruzheniia dilianky mahistralnoho hazoprovodu [Development of methods of calculating the probability of stress corrosion cracking section from load of the main gas]. *Tsilova kompleksna prohrama NAN Ukrainy «Problema resursu i bezpeky ekspluatatsii konstruksii, sporud ta mashyn»* [Targeted Comprehensive Program of NAS of Ukraine «Problem of life and safety of exploitation of structures, facilities and machines»]. Kyiv, 2012, pp. 328-332.
7. Pankratov S.A. *Dinamika mashin dlya otkrytykh gornyykh i zemlyanykh rabot* [The dynamics of machine for open pit and earthworks]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1967. 448 p.
8. Polishchuk L.K., Adler O.O. *Vmontovani hidravlichni pryvody konveieriv z hnuchkym tiahovym orhanom, chutlyvi do zminy navantazhennia* [Built hydraulic drives of conveyors with flexible traction body that sensitive to changes in load]. Vinnytsia, VNTU Publ., 2010. 184 p.
9. Andreikiv O.Ye., Hembara O.V., Tsyrunyk O.T., Nyrkova L.I. Rozrakhunok zalyshkovoi dovhovichnosti tryvalo ekspluatovanoi dilianky mahistralnoho hazoprovodu [Calculation of residual durability of continued operated sites of gas pipeline]. *Fiziko-khimicheskaya mekhanika materialov – Physical and Chemical Mechanics of Materials*, 2012, vol. 48 (2), pp. 103-110.
10. Spivakovskiy A.O., Dmitriyev V.G. *Teoriya lentochnykh konveyerov* [Theory of belt conveyors]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 187 p.
11. Khorvat L. *Kislotnyy dozhd* [Acid rain]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1990. 80 p.
12. Tsybenko A.S. Otsenka dolgovechnosti dlitelno ekpluatiruyushchikhsya energomashinostroitelnykh konstruksiy na osnove rascheta napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya [Evaluation of long-term durability of a management power engineering structures based on the calculation of the stress-strain state]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2006, issue 13, pp. 165-167.
13. Nykyforchyn H., Lunarska H., Tsyrunyk O., Nikiforov K., Gabetta G. Effect of the long-term service of the gas pipeline on the properties of the ferrite-pearlite. *Materials and Corrosion*, 2009, vol. 60 (9), pp. 716-725. doi: 10.1002/maco.200805158.
14. Nykyforchyn H., Lunarska H., Tsyrunyk O., Genarro M.E., Gabetta G. Environmentally assisted «in-bulk» steel degradation of long term service gas. *Failure Analysis*, 2010, vol. 17, issue 3, pp. 624-632. doi: 10.1016/j.engfailanal.2009.04.007.
15. Nykyforchyn H.M., Student O.Z., Markov A.D. Abnormal manifestation of high-temperature degradation of the weld metal of low-alloy steel welded joints. *Materials Science*, 2007, vol. 43 (1), pp. 77-84. doi: 10.1007/s11003-007-0008-1
16. Zin I.M., Lyon S.B., Hussain A. Under-film corrosion of epoxy-coated galvanized steel An EIS and SVET study of the effect of inhibition at defect. *Progress in Organic Coatings*, 2005, vol. 52, pp. 126-135. doi:10.1016/j.porgcoat.2004.10.006.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., професором Є. В. Харченком (Україна), д.т.н., проф. В. І. Савуляком (Україна); д.т.н., проф. І. О. Вакуленком (Україна)

Надійшла до редколегії 15.12.2014

Прийнята до друку 25.02.2015

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

УДК [629.463.3.018:539.4]:004.94

А. О. ЛОВСЬКА^{1*}, О. В. ФОМІН^{2*}, А. М. ОКОРОКОВ^{3*}, О. М. МЕЛЬНИЧУК^{4*}

^{1*}Каф. «Вагони», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейербаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 35, ел. пошта alyonaLovskaya@rambler.ru, ORCID 0000-0002-8604-1764

^{2*}Каф. «Вагони та вагонне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту, вул. М. Лукашевича, 19, Київ, Україна, 03049, тел. +38 (067) 813 97 88, ел. пошта fomin1985@list.ru, ORCID 0000-0003-2387-9946

^{3*}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 andrew_okorokoff@mail.ru, ORCID 0000-0002-3111-5519

^{4*}Каф. «Вагони», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейербаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 35, ел. пошта Olga_mel@ukr.net, ORCID 0000-0001-5029-1940

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ КОНТЕЙНЕРА-ЦИСТЕРНИ УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВ

Мета. В роботі проводиться висвітлення результатів та особливостей проведеного комп'ютерного дослідження міцності контейнера-цистерни удосконаленої (шляхом впровадження до несучої системи труб круглого перерізу) конструкції в умовах експлуатації. **Методика.** Для досягнення зазначеної мети досліджено умови експлуатації контейнера-цистерни типової конструкції. У процесі дослідження міцності контейнера-цистерни в умовах експлуатації побудовано його просторову геометричну модель. Визначені максимальні еквівалентні напруження, які виникають в його несучій конструкції при дії найбільш несприятливих експлуатаційних режимів навантажень. Розрахунки проведено з використанням методу скінчених елементів. Встановлено, що запас міцності типової конструкції контейнера-цистерни складає близько 2. Для зменшення матеріалоємності контейнера-цистерни пропонується провести удосконалення його несучої системи шляхом заміни труб квадратного перерізу, які використовуються у типовій конструкції, на круглі труби (при забезпеченні умов міцності та експлуатаційної надійності). **Результати.** Розроблено удосконалену несучу конструкцію контейнера-цистерни для перевезення нафтопродуктів. Для отримання оптимальної конструкції його каркасу проведені оптимізаційні дослідження за критерієм мінімальної матеріалоємності. **Наукова новизна.** Запропоновано модель міцності контейнера-цистерни, котра надає можливість визначення еквівалентних напружень у його несучій конструкції при співударянні, як найбільш несприятливому випадку навантаження. Розроблено удосконалену конструкцію контейнера-цистерни з використанням оптимізаційного моделювання. Ця конструкція контейнера-цистерни розрахована на всі види навантажень, які зазначені у нормативних документах. **Практична значимість.** Результати розрахунку на міцність показали, що напруження в удосконаленій несучій конструкції контейнера-цистерни при основних режимах експлуатаційних навантажень не перевищують допустимі. Техніко-економічне обґрунтування впровадження запропонованих технічних рішень несучої конструкції контейнера-цистерни показало, що можливо досягти суттєвого економічного ефекту вже при їх виробництві. Отримані результати досліджень доводять, що впровадження круглих труб в несучі конструкції вантажних вагонів, а також інших засобів транспортного машинобудування є перспективним напрямком наукових досліджень.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Ключові слова: контейнер-цистерна; удосконалена несуча конструкція; впровадження круглих труб; напружено-деформований стан; оптимізація

Вступ

З метою підвищення ефективності перевезень наливних вантажів в напрямку міжнародних транспортних коридорів виникла необхідність впровадження в експлуатацію контейнерів-цистерн.

Вперше контейнери активно почали використовуватися в середині 50-х років XX сторіччя в США. Геометричні параметри контейнерів до початку 60-х років були стандартизованими відповідно до міжнародних стандартів ISO. Пізніше необхідність перевезення наливних вантажів у інтермодальному сполученні зумовило створення контейнерів-цистерн.

На Україні серійне виробництво контейнерів-цистерн міжнародного типорозміру ICC розпочав ПАТ «Азовмаш». За оцінками фахівців, на сьогодні простежується затребуваність контейнерів-цистерн при комбінованих перевезеннях, що зумовлено їх інтермодальністю. Тому необхідним є розробка та впровадження в експлуатацію контейнерів-цистерн нового покоління з покращеними техніко-економічними та експлуатаційними показниками.

Аналіз останніх досліджень. Перевезення контейнерів-цистерн залізницями здійснюється на вагонах-платформах, які, як відомо, є найбільш затребуваним типом рухомого складу при комбінованих перевезеннях у міжнародному сполученні. На цей час створена велика кількість за конструкційними особливостями та технологією обслуговування вагонів-платформ нового покоління [1, 7, 11, 13]. Однією з важливих проблем перевезення нафтопродуктів у міжнародному сполученні є дефіцит контейнерів-цистерн, при профіциті вагонів-платформ [6].

В роботах [6, 12] наведені результати оптимізації конструкцій контейнерів-цистерн. Обґрунтовано доцільність проектування та впровадження в експлуатацію контейнерів-цистерн, як транспортних засобів. Розроблено удосконалені конструкції контейнерів-цистерн для перевезення нафтопродуктів.

Проте подальший розвиток зазначеного виду транспортування нафти та нафтопродуктів

вимагає впровадження в експлуатацію контейнерів-цистерн нового покоління з поліпшеними техніко-економічними та експлуатаційними показниками, зокрема з меншою матеріалоемністю.

З'ясовано [8–10], що перспективними шляхами зменшення матеріалоемності вантажних вагонів є впровадження у їх несучі системи труб круглого та прямокутного перерізів. Проте аналіз численних інформаційних джерел з досліджуваного питання засвідчив відсутність висвітлення результатів відповідних робіт для контейнерів-цистерн.

Мета

Висвітлення результатів комп'ютерного моделювання міцності контейнера-цистерни удосконаленої (шляхом впровадження до несучої системи труб круглого перерізу) конструкції в умовах експлуатації.

Методика

Необхідність підвищення ефективності експлуатації контейнерів-цистерн у міжнародному сполученні зумовило створення нової удосконаленої конструкції контейнера-цистерни.

Під час удосконалення контейнера-цистерни як прототип обрана конструкція моделі ТК25, побудови ВАТ «Зареченський завод хімічного машинобудування». Зазначений контейнер-цистерна має типорозмір за ISO – ICC та призначений для транспортування: ПЗМ, бензину, дизпалива, мастила моторного, змашувально-охолоджувальної рідини, сольвенту нафтового, нефрасу, піноутворювача. При цьому удосконалення проводилось шляхом визначення надлишкових запасів міцності в існуючій конструкції та їх реалізації у новій конструкції з несучою системою із круглих труб (рис.1). Такий підхід дозволяє зменшувати площу перерізів несучих елементів транспортних конструкцій з відповідним зниженням їх матеріалоемності.

Дослідження міцності типової несучої конструкції контейнера-цистерни з урахуванням найбільш несприятливих режимів навантажень, зазначених у [2], дозволило зробити висновок, що максимальні експлуатаційні еквівалентні

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

напруження в конструкції контейнера-цистерни виникають під час співударяння вагонів у завантаженому стані. При цьому максимальні еквівалентні напруження зафіксовані у зоні розташування завантажувального люка та складають близько 185 МПа, і є значно меншими від допустимих.

Для зменшення матеріалоємності несучої конструкції контейнера-цистерни здійснено удосконалення його несучої системи шляхом заміни труб квадратного перерізу, які використовуються у типовій конструкції, на круглі труби із забезпеченням умов міцності та експлуатаційної надійності.

Під час вибору діаметра круглих труб, з яких пропонується виготовлення каркасу контейнера-цистерни, до уваги прийняті геометричні

розміри фітінгів [5]. Тому як базовий елемент обрані труби з зовнішнім діаметром 152 мм [4].

На початковому етапі було прийняте рішення використовувати круглу трубу за всією висотою вертикальної стійки контейнера-цистерни. Результати розрахунку на міцність виявили, що напруження у зоні взаємодії лапи та вертикальної стійки перевищують допустимі значення. Тому під час побудови просторової комп'ютерної моделі контейнера-цистерни враховано, що вертикальна стійка круглого перерізу розміщується на спеціальній надбудові (рис. 1). Тобто вузол защемлення лапи з вертикальною стійкою залишається незмінним. Діаметр труб укосів торцевих рам, а також її поперечних балок обраний, виходячи з геометричних параметрів фітінга.

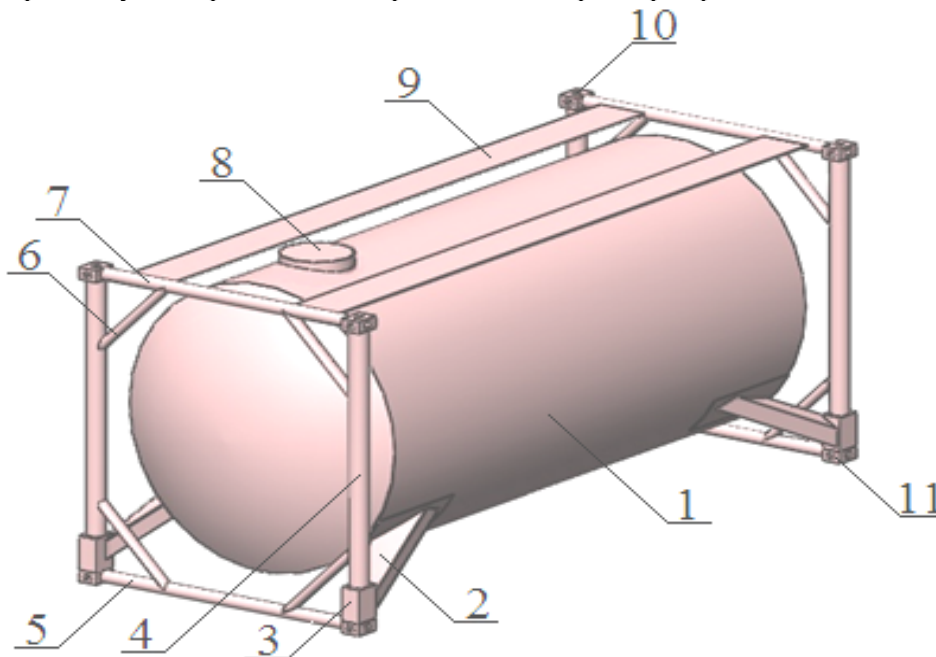


Рис. 1. Просторова модель контейнера-цистерни удосконаленої конструкції:

- 1 – цистерна; 2 – нижній підкіс кріплення цистерни до торцевої рами з підкладним листом;
3 – надбудова для встановлення вертикальної стійки; 4 – вертикальна стійка торцевої рами;
5 – нижня торцева балка; 6 – укос торцевої рами; 7 – верхня торцева балка; 8 – люк-лаз з кришкою;
9 – площадка обслуговування; 10 – верхній кутовий фітінг; 11 – нижній кутовий фітінг

Fig. 1. Spatial model of the a tank container of improved design:

- 1 – tank-car; 2 – the lower strut mounting of the tank to the end frame with the skid board;
3 – superstructure for the vertical installation stand; 4 – the vertical stand of the end frame; 5 – the lower end beam;
6 – the slope of the end frame; 7 – the upper end beam; 8 – the manhole with cover; 9 – maintenance platform;
10 – top corner fitting; 11 – the lower corner fitting

Для отримання оптимальної конструкції каркасу виконані оптимізаційні дослідження за критерієм мінімальної матеріалоємності з ви-

користанням графічного методу [10]. На підставі виконаних досліджень зроблено висновок, що оптимальною є труба із зовнішнім діамет-

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

ром 152 мм та товщиною стінки 3 мм. Додатково правильність виконаних розрахунків підтверджена результатами вирішення цього ж оптимізаційного завдання аналітичним методом.

Після визначення оптимальних значень геометричних параметрів впроваджуваних труб розроблено відповідну просторову комп'ютерну геометричну модель. Розроблена конструкція контейнера-цистерни розрахована на всі види навантажень, зазначених у [3].

Розрахунок на міцність здійснено за допомогою методу скінченних елементів.

Результати розрахунку на міцність несучої конструкції контейнера-цистерни під час співударення, як найбільш несприятливого випадку навантаження його несучої конструкції в умовах експлуатації, наведені на рис. 2.

Під час складання комп'ютерної моделі міцності враховані такі навантаження: у поздовжньому напрямку $P_{np} - 2g$; у поперечному напрямку $P_{п} - 1g$; у вертикальному напрямку $P_{в} - 2g$.

Крім того, в моделі враховані реакції, які виникають у зонах взаємодії контейнера-цистерни з фітінговими упорами вагона-платформи у вертикальному напрямку $P_{в}^{\phi}$ та у поздовжньому під час руху $P_{г}^{\phi}$, а також тиск наливного вантажу на внутрішні стінки котла – P_p .

Допустимі напруження під час співударення з прискоренням $4g$ прийняті рівними межі плинності матеріалу конструкції (сталь марки 09Г2С).

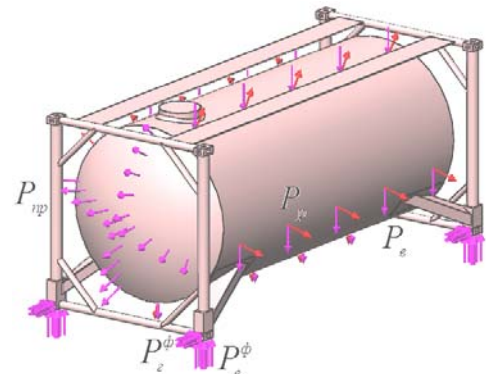
Під час побудови моделі міцності контейнера-цистерни закріплення здійснювалося у зонах його обпирання на фітінгові упори вагона-платформи.

Обмеженнями моделі є відсутність сил тертя між фітінговими упорами вагона-платформи та зоною обпирання контейнера на нього, а також податливість вантажу відносно котла.

Максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції при цьому склали близько 310 МПа, переміщення в вузлах – близько 6 мм, деформації – $1,8 \cdot 10^{-3}$, тобто міцність несучої конструкції контейнера-цистерни забезпечується.

Під час дослідження міцності контейнера-цистерни з урахуванням навантажень, які діють на нього під час штабелювання, врахована максимально допустима кількість контейнерів-цистерн у штабелі для цього типу, що складає чотири яруси (рис. 3).

a–a



b–b

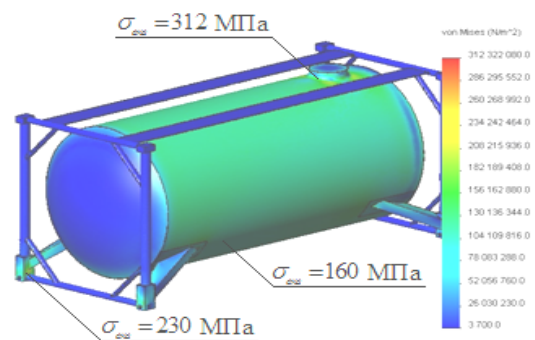


Рис. 2. Розрахунок на міцність контейнера-цистерни удосконаленої конструкції:

a – розрахункова модель міцності;

b – напружений стан

Fig. 2. The calculation of the tank container for strength of improved design:

a – strength calculation model; *b* – stress state

Під час розрахунків на міцність несучої конструкції контейнера-цистерни враховані такі навантаження: вертикальне на верхні кутові фітінги $P_{в}^{\phi}$, вертикальна реакція в нижніх кутових фітінгах $P_{п}^{\phi}$, вертикально-статичне навантаження, зумовлене вагою бруто контейнера-цистерни $P_{в}$, а також тиск наливного вантажу на котел P_p . Закріплення моделі здійснювалося за опорні частини нижніх кутових фітінгів.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

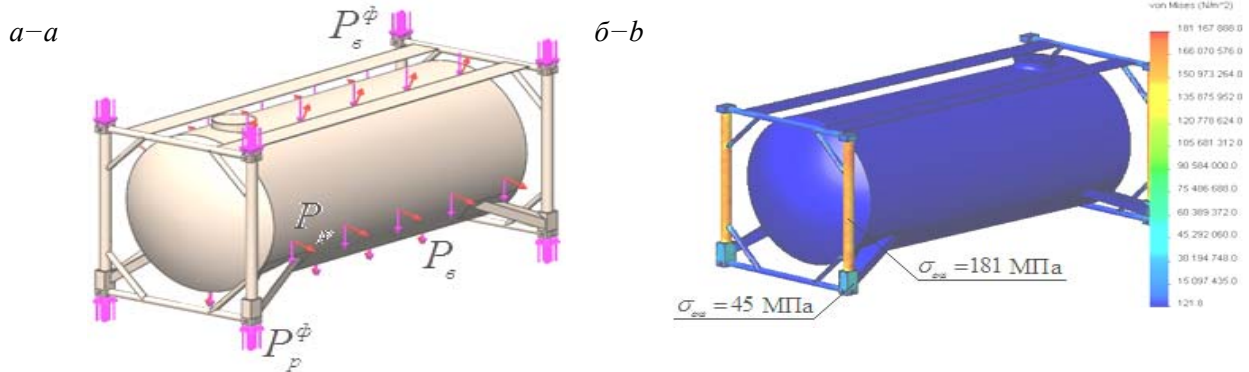


Рис. 3. Розрахунок контейнера-цистерни на міцність під час штабелювання:
 а – розрахункова модель міцності; б – напружений стан

Fig. 3. Calculation of the tank container for strength when stacking:
 а – strength calculation model; б – stress state

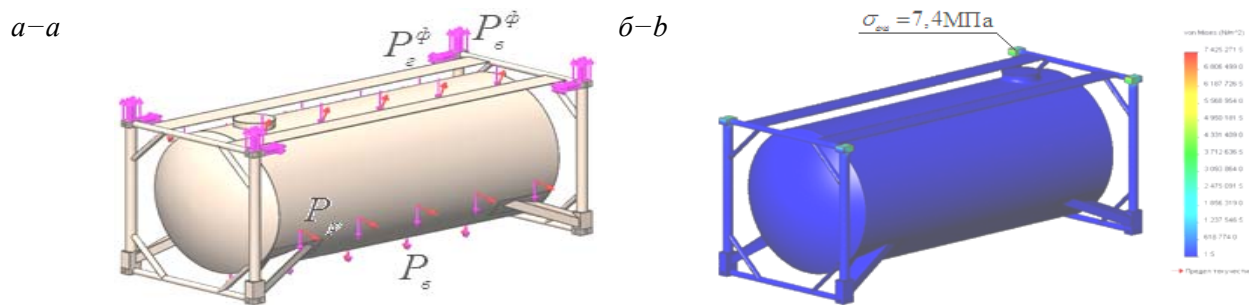


Рис. 4. Розрахунок контейнера-цистерни на міцність при підйомі за верхні кутові фітінги:
 а – розрахункова модель міцності; б – напружений стан

Fig. 4. Calculation of the tank container for strength when lifting from top corner fittings:
 а – strength calculation model; б – stress state

Максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції контейнера-цистерни зафіксовані у вертикальних стійках каркасу та склали близько 180 МПа, що менше, ніж допустимі.

До уваги також прийнятий випадок навантаження контейнера-цистерни за верхні кутові фітінги під час здійснення завантажувально-розвантажувальних операцій.

Під час складання комп'ютерної моделі міцності (рис. 4, а) враховано такі навантаження: вертикально-статичне, зумовлене вагою бруто контейнера-цистерни P_b , тиск наливного вантажу на котел P_p , а також навантаження, які діють на верхні кутові фітінги від закріплювального стропу. Оскільки строп закріплюється по відношенню до фітінга під деяким кутом, то навантаження, яке буде передаватися на фітінг,

розкладалося на дві складові – вертикальну P_ϕ та горизонтальну – P_ϕ . Закріплення моделі здійснювалося за верхні кутові фітінги в зонах взаємодії їх з гаком закріплювального стропу.

Результати розрахунку наведені на рис. 4, б. Максимальні еквівалентні напруження при цьому зафіксовані у верхніх кутових фітінгах та склали 7,4 МПа.

Результати розрахунків на міцність дозволили зробити висновок, що напруження в удосконаленій несучій конструкції контейнера-цистерни при основних режимах експлуатаційних навантажень не перевищують допустимі.

Важливо зазначити, що удосконалена конструкція каркасу контейнера-цистерни буде на 354 кг легшою за існуючий аналог, що з урахуванням їх масовості дозволить досягти суттєво-

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

го економічного ефекту. Початковий розрахунок економічного ефекту від впровадження в експлуатацію контейнерів-цистерн нового покоління складає близько 900 тис. грн на рік та досягається за рахунок зменшення витрат на виготовлення несучої конструкції контейнера-цистерни порівняно з конструкцією прототипу.

Наукова новизна та практична значимість

Запропоновано модель міцності контейнера-цистерни удосконаленої конструкції з урахуванням найбільш несприятливих експлуатаційних навантажень. Особливістю моделі є врахування в її несучій конструкції труб круглого поперечного перерізу, що надає можливість зменшення маси тари контейнера-цистерни на 25 % порівняно з існуючими аналогами. Заходи щодо удосконалення несучої конструкції контейнера-цистерни виконані з урахуванням можливості забезпечення її міцності в умовах експлуатаційних навантажень.

Висновки

На підставі виконаних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Для підтвердження отриманих теоретичних результатів необхідно в подальшому виконати натурні випробування.
2. В результаті виконання техніко-економічного аналізу впровадження запропонованих технічних рішень до конструкції контейнера-цистерни з'ясовано, що можливо досягти суттєвого економічного ефекту вже під час їх виробництва.
3. Отримані в дослідженнях результати свідчать про перспективність подальшого розгортання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт з впровадження круглих труб до несучих конструкцій вантажних вагонів, а також інших засобів транспортного машинобудування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бубнов, В. М. Совершенствование конструкции подвижного состава для перевозки контейнеров / В. М. Бубнов, С. В. Мямлин, Н. Л. Гуржи // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 26. – С. 11–14.

2. ГОСТ 31232. Контейнеры для перевозки опасных грузов. Требования по эксплуатационной безопасности. – Введ. 2005–01–28. – Минск : БелГИСС, 2005. – 6 с.
3. ГОСТ 31314.3. Контейнеры-цистерны для жидкостей, газов и сыпучих грузов под давлением. Технические требования и методы испытаний. – Введ. 2007–07–17. – Москва : Стандартинформ, 2006. – 49 с.
4. ГОСТ Р 54157-2010. Трубы стальные профильные для металлоконструкций. Технические условия. – Введ. 2010.12.21. – Москва : Изд-во стандартов, 2010. – 92 с.
5. ГОСТ 20527-82. Фитинги угловые крупнотоннажных контейнеров. Конструкция и размеры. – Введ. 1983.01.01. – Москва : Изд-во стандартов, 1983. – 8 с.
6. Мямлин, С. В. Перспективные конструкции контейнеров-цистерн для перевозки светлых нефтепродуктов, аммиака и углеводородных газов / С. В. Мямлин, Ю. В. Кебал, С. М. Кондратюк // Заліз. трансп. України. – 2012. – № 2. – С. 44–46.
7. Рудакова, Е. А. Исследование динамических качеств сочлененного вагона-платформы на математических моделях / Е. А. Рудакова, А. М. Орлова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 23. – С. 85–88.
8. Фомін, О. В. Алгоритм визначення оптимальних геометричних параметрів складових елементів вантажних вагонів на основі узагальнених математичних моделей / О. В. Фомін // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – № 6 (48). – С. 140–146.
9. Фомін, О. В. Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів : монографія / О. В. Фомін. – Київ : ДЕТУТ, 2014. – 299 с.
10. Фомін, О. В. Оптимізаційне проектування елементів кузовів залізничних напіввагонів та організація їх виробництва : монографія / О. В. Фомін. – Донецьк : ДонІЗТ, УкрДАЗТ, 2013. – 251 с.
11. Flat wagon Rns [Електронний ресурс] / Technical changes reserved // ERR European Rail Rent GmbH Schifferstraße 196 47059 Duisburg. – Режим доступу: www.railrent.com. – Назва з екрана. – Перевірено : 4.06. 2012.
12. Lisowski, E. Transport and storage of lng in container tanks / E. Lisowski, W. Czyzycki // J. of KONES Powertrain and Transport. – 2011. – Vol. 18, №. 3. – P. 193–201.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

13. New livery for tarmac wagons [Електронний ресурс] / The newsletter of VTG Rail UK Ltd. – 2011. – Iss. 17. – P. 2. – Режим доступу: www.vtg-rail.co.uk/v/s/download/pdf. – Назва з екрана. – Перевірено : 29.07.2011.

А. А. ЛОВСКАЯ^{1*}, О. В. ФОМИН^{2*}, А. М. ОКОРОКОВ^{3*}, О. М. МЕЛЬНИЧУК^{4*}

^{1*}Каф. «Вагоны», Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, площадь Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61050, тел.+38 (057) 730 10 35, эл. почта alyonaLovskaya@rambler.ru, ORCID 0000-0002-8604-1764

^{2*}Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Государственный экономико-технологический университет транспорта, ул. М. Лукашевича, 19, Киев, Украина, 03049, тел. +38 (067) 813 97 88, эл. почта fomin1985@list.ru, ORCID 0000-0003-2387-9946

^{3*}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 andrew_okorokoff@mail.ru, ORCID 0000-0002-3111-5519

^{4*}Каф. «Вагоны», Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, площадь Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61050, тел.+38(057)730 10 35, эл. почта Olga_mel@ukr.net, ORCID 0000-0001-5029-1940

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КОНТЕЙНЕРА-ЦИСТЕРНЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ

Цель. В работе проводится изложение результатов и особенностей проведенного компьютерного исследования прочности контейнера-цистерны усовершенствованной (путем внедрения в несущую систему труб круглого сечения) конструкции в условиях эксплуатации. **Методика.** Для достижения поставленной цели исследованы условия эксплуатации контейнера-цистерны типовой конструкции. В процессе исследования прочности контейнера-цистерны в условиях эксплуатации построена его пространственная геометрическая модель. Определены максимальные эквивалентные напряжения, которые возникают в его несущей конструкции при воздействии наиболее неблагоприятных эксплуатационных режимов нагрузок. Расчеты проведены с использованием метода конечных элементов. Установлено, что запас прочности типовой конструкции контейнера-цистерны составляет около 2. Для уменьшения металлоемкости контейнера-цистерны предлагается проведение усовершенствования его несущей системы путем замены труб квадратного сечения, которые используются в типовой конструкции, на круглые трубы (при обеспечении условий прочности и эксплуатационной надежности). **Результаты.** Разработана усовершенствованная несущая конструкция контейнера-цистерны для перевозки нефтепродуктов. Для получения оптимальной конструкции его каркаса проведены оптимизационные исследования по критерию минимальной материалоемкости. **Научная новизна.** Предложена модель прочности контейнера-цистерны, которая дает возможность определения эквивалентных напряжений в его несущей конструкции при соударении, как наиболее неблагоприятном случае при погрузке. Разработана усовершенствованная конструкция контейнера-цистерны с использованием оптимизационного моделирования. Эта конструкция контейнера-цистерны рассчитана на все виды нагрузок, которые указаны в нормативных документах. **Практическая значимость.** Результаты расчета на прочность показали, что напряжения в усовершенствованной несущей конструкции контейнера-цистерны при основных режимах эксплуатационных нагрузок не превышают допустимых. Техничко-экономическое обоснование внедрения предложенных технических решений в несущую конструкцию контейнера-цистерны показало, что возможно достижение существенного экономического эффекта уже при их производстве. Полученные результаты исследований доказывают, что внедрение круглых труб в несущую конструкцию грузовых вагонов, а также других средств транспортного машиностроения является перспективным направлением научных исследований.

Ключевые слова: контейнер-цистерна; усовершенствованная несущая конструкция; внедрение круглых труб; напряженно-деформированное состояние; оптимизация

A. O. LOVSKA^{1*}, O. V. FOMIN^{2*}, A. M. OKOROKOV^{3*}, O. M. MELNYCHUK^{4*}^{1*}Dep. «Cars», Ukrainian State University of Railway Transport, Feiierbakh Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (057) 730 10 35, e-mail alyonaLovskaya@rambler.ru, ORCID 0000-0002-8604-1764^{2*}Dep. «Cars and Car Facilities», State University of Transport Economy and Technologies, M. Lukashevych St., 19, Kyiv, Ukraine, 03049, tel. +38 (067) 813 97 88, e-mail fomin1985@list.ru, ORCID 0000-0003-2387-9946^{3*}Dep. «Management in 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 Andrew_okorokoff@mail.ru, ORCID 0000-0002-3111-5519^{4*}Dep. «Cars», Ukrainian State University of Railway Transport, Feiierbakh Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (057) 730 10 35, e-mail Olga_mel@ukr.net, ORCID 0000-0001-5029-1940

RESEARCH OF A TANK-CONTAINER STRENGTH OF IMPROVED CONSTRUCTION USING THE COMPUTER SIMULATION OF OPERATING CONDITIONS

Purpose. This article highlights the coverage of the results and characteristics of computer research of tank-container construction strength in operation that was improved by using round pipes as supporting constructions. **Methodology.** To achieve this aim, operation conditions of the typical tank-container construction were investigated. To study the strength of the tank-container in operation the spatial geometric model was constructed. The maximum equivalent stresses that occur in its supporting structures under the action of the most adverse operating conditions load were defined. Calculations were carried out using the finite element method. It was found that the margin of safety of the standard design container is about 2. For the metal content contraction of the tank-container it is proposed the improvement of its supporting construction by replacing round pipes instead of square pipes, which are used in typical design (providing in terms of durability and operational reliability). **Findings.** The improved supporting structure of the tank-container for transporting the petroleum products was developed. For the optimal design of its frame optimality research were conducted on the criterion if minimum material consumption. **Originality.** A model of strength tank-container which provides the possibility to determine the equivalent stresses in its supporting structure by encountering as the most unfavorable case of load was offered. The improved supporting structure of a tank-container using simulation optimization was developed. The improved construction of a tank-container is designed for all types of loads specified in the regulations. **Practical value.** The results of strength calculation showed that the tension of an improved supporting construction of a tank-container in the main modes of operating does not exceed the allowable values. Technical and economic feasibility of the proposed engineering solutions to the supporting construction showed that it was possible to make substantial economic effect during their production. The obtained results prove that the introduction of round pipes as the supporting constructions of freight cars and other means of transport engineering is a promising direction of a scientific research.

Keywords: tank-container; improved supporting construction; introduction of round pipes; stress-deformed state; optimization

REFERENCES

1. Bubnov V.M., Myamlin S.V., Gurzhi N.L. Sovershenstvovaniye konstruktssii podvizhnogo sostava dlya perevozki konteynerov [Improving the design of rolling stock for transportation of containers]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 26, pp. 11-14.
2. GOST 31232. Konteynery dlya perevozki opasnykh tovariv. Trebovaniya po ekspluatatsionnoy bezopasnosti [State Standard 31232. Containers for the transportation of dangerous goods. Requirements for operational safety]. Minsk, BelGISS Publ., 2005. 6 p.
3. GOST 31314.3. Konteynery-tsisterny dlya zhidkostey, gazov i sypuchikh tovariv pod davleniyem. Tekhnicheskiye trebovaniya i metody ispytaniy [State Standard 31314.3. Tank containers for liquids, gases and bulk cargoes under pressure. Technical requirements and test methods]. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 49 p.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

4. GOST R54157-2010. *Truby stalnyye profilnyye dlya metallokonstruktsiy. Tekhnicheskiye usloviya*. [State Standard R54157-2010. R54157-2010. Shaped steel tubes for metal constructions. Technical conditions]. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 92 p.
5. GOST 20527-82. *Fitingi uglovyie krupnotonnazhnykh konteynerov. Konstruktsiya i razmery* [State Standard 20527-82. The corner fittings of large containers. The design and dimensions]. Moscow, Standartinform Publ., 1983. 8 p.
6. Myamlin S.V., Kebal Yu.V., Kondratyuk S.M. Perspektivnyye konstruktzii konteynerov-tsistern dlya perevozki svetlykh nefteproduktov, ammiaka i uglevodorodnykh gazov [Prospective design of tank containers for transportation of light oil products, ammonia and hydrocarbon gases]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2012, no. 2. pp. 44-46.
7. Rudakova Ye.A., Orlova A.M. Issledovaniye dinamicheskikh kachestv sochlenennogo vagona-platformy na matematicheskikh modelyakh [The study of the dynamic properties of the flat wagon on mathematical models]. *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 23, pp. 85-88.
8. Fomin O.V. Alhorytm vyznachennia optymalnykh heometrychnykh parametriv skladovykh elementiv vantazhnykh vahoniv na osnovi uzahalnenykh matematychnykh modelei [Determination algorithm of optimal geometrical parameters for components of freight cars on the basis of generalized mathematical models]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 6 (48), 2013, pp. 140-146.
9. Fomin O.V. *Doslidzhennia defektiv ta poskodzhen nesuchykh system zaliznychnykh napivvahoniv* [The study of defects and damages of bearing systems for railway cars]. Kyiv, DETUT Publ., 2014. 299 p.
10. Fomin O.V. *Optyimizatsiine proektuvannia elementiv kuzoviv zaliznychnykh napivvahoniv ta orhanizatsiia yikh vyrobnytstva* [Optimization design of body components for railway cars and organization of their production]. Donetsk, DonIZT, UkrDAZT Publ., 2013. 251p.
11. Flat wagon Rns. Technical changes reserved. ERR European Rail Rent GmbH Schifferstraße 196 47059 Duisburg. Available at: www.railrent.com (Accessed 04 June 2012).
12. Lisowski E., Czyzycki W. Transport and storage of lng in container tanks. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 2011, vol. 18, no. 3, pp.193-201.
13. New livery for tarmac wagons. The newsletter of VTG Rail UK Ltd, 2011, issue 17, p. 2. Available at: www.vtg-rail.co.uk/v/s/download/pdf (Accessed 29 July 2011).

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Д. М. Козаченком (Україна); д.т.н. проф. О. С. Крашенініним (Україна)

Надійшла до редколегії: 10.02.2015

Прийнята до друку: 17.04.2015

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

UDC 621.867.3

V. M. BOHOMAZ^{1*}, K. TS. HLAVATSKYI^{2*}, O. A. MAZUR^{3*}

^{1*}Dep. «Military Preparation», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793 19 09, e-mail wbogomas@i.ua, ORCID 0000-0001-5913-2671

^{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 kazimir.glavatskii@mail.ru, ORCID 0000-0002-3353-2543

^{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 mazyr-oleg@yandex.ru, ORCID 0000-0002-3704-7799

RESEARCH OF INFLUENCING OF PROJECT DISCRPTIONS OF ELEVATOR ON PARAMETERS OF ITS DRIVE

Purpose. One of basic elements of band bucket elevators is their drive. For determination of power drive it is necessary to conduct calculations on standard by methods, in what it is needed to expend enough time. One of project parameters is productivity of elevator. It is necessary to build parametric dependence of power drive of elevator on its design capacity that takes into account a type and descriptions of load, lifting height, standard sizes and parameters of buckets and tapes. **Methodology.** Using the method of hauling calculation of band buckets elevators, the parametric dependences of power drive of high-speed elevators are built with deep and shallow buckets from their productivity at fixed type of load and height of getting up. **Findings.** It is set on the basis of the built parametric dependences that the change function of a size of elevator power from design capacity (at fixed to the lifting height, load type, rate of tape movement) is piecewise and droningly increasing. The intervals of project values of productivity, which provide the permanent size of elevator power drive are certain in a general view. As the example of application of the recived results the construction process of power drive dependence from design capacity of elevator of shotblasting room, which is intended for transporting of the metallic shot using for consolidating of carriage springs, is considered. For concrete type of load and lifting height of such elevator graphic dependence of power drive on productivity was built. **Originality.** Parametric dependences of elevator power drive on its design capacity were first built, which take into account a type and physical and mechanical descriptions of load, lifting height, standard sizes and parameters of buckets and tapes. **Practical value.** The use of the built dependences enables in relation to rapid determination of approximate value of power drive of vertical high-speed elevators with deep and shallow buckets on the stage of planning and to execute the high-quality selection of its basic elements at concrete project descriptions: type of load, productivity, lifting height.

Keywords: elevator; bucket; drive; power; productivity; load

Introduction

Today it is hard to imagine any industry field without the use of transporting cars. Machines of continuous transport are the basis of complex

mechanization of cargo handling and industrial process. They increase the work productivity and production efficiency. The bucket belt elevators are the separate type of continuous transport machines. The elevators are lifts of vertical action

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

and used for vertical and high-angle (angle 60–82 °) transportation of bulk and manufactured cargo without intermediate loading and unloading. The use of elevators as an intermediate means of transport makes it possible to have a compact transport scheme, which occupies small space. They are used in the chemical, metallurgical, machine-building industry, production of construction materials, coal preparation plants, food plants and in granaries.

The main publications that describe the structure, design features, operational and design values of the elevators are [3, 4, 5, 6, 7, 9, 10]. It is necessary to calculate the reels, the traction unit (tapes), traction calculation and to perform the selection of the main elements of the driving unit for determination the parameters of elevator drive, and in particular its capacity. The order of performing such calculations are described in detail in [6, 7]. But, the definite part of time is spent during the attraction of such elevator drive calculation methodology. For the process of elevator drive design improvement, it is desirable to have a scheme which allows simplifying calculations to determine the desired value for the drive power depending on design capacity in a particular type of cargo and the height of its ascent.

Purpose

The aim of this work is building of a parametric dependence of the elevator power drive from its design capacity, which takes into account the type and characteristics of the cargo, lifting height, standard dimensions and parameters of the buckets and tapes.

Methodology

The value of the drive power of the elevator depends on many parameters. The main parameters are: type of cargo, design capacity and lifting height. For further study we will define the basic components of the overall calculation of the elevator which in varying degrees depends on design capacity. These include: linear capacity of buckets (capacity and disposed step of the buckets); width, number of strips and linear weight of tape; the required distributed weight of the load; linear load on the working branch; draft force on the drive drum.

Linear capacity of elevator buckets:

$$\frac{i_0}{t} = \frac{P}{3,6\nu\rho\psi} = \frac{P}{\alpha}, \quad (1)$$

where $\alpha = 3,6\nu\rho\psi$ – value, that takes into account the properties of the transported cargo, $t \cdot m/l \cdot h$; ψ – coefficient of bucket charge (according to the physical and mechanical properties of cargo); t – disposed step of buckets, m; ρ – cargo density, t/m^3 ; ν – tape speed, m/s.

According to the meaning of linear capacity of the elevator bucket that is calculated by the formula (1) the type and disposed step of buckets are selected by the table 1 [7]. The selection of bucket type depends on the material properties that is transported. The deep buckets are used for easily granular, powdered and small parts of cargoes; shallow – for difficult bulk materials.

With the aim of taking into account the subsequent calculations of the physical and mechanical properties of the cargo that is transported, we'll build a correspondent table of the elevator parameters, defined in table 1, the value of performance, expressed by the formula (1) in parts of the coefficient α . The obtained data will be posted in tables 2 and 3 for elevators with deep and shallow buckets accordingly.

On the basis of design value capacity of the elevator productivity and the type of transported material, parameters of the bucket, the step of their disposition on the tape, and the necessary width of the tape are selected by tables 2 and 3. Characteristics of deep and shallow bucket (width, the bucket outreach, bucket height and capacity) are shown in table 4.

The tapes of State standart 23831-79, State standart 20-85 are used in the bucket elevator as the traction units. The rubber and fabric tapes of State standart 20-85 type BKNL-150 are accepted as a traction units of bucket elevator for the determination of further researches. The actual number of tape strips can be 3, 4, 5, 6.

The thickness of the tape is determined by the formula

$$\delta_s = \delta_r + i\delta_p + \delta_n, \quad (2)$$

where $\delta_r = 3$ mm, $\delta_n = 1,5$ mm is the thickness of the rubber plates with working and non-working sides of the tape; $\delta_p = 1,6$ mm is the thickness of one fabric strip. i is the number of strips.

Table 1

Value of linear capacity of buckets

Bucket width B_k , mm	Tape width B , mm	Disposed step of the bucket t , mm	Bucket			
			deep		shallow	
			i_0 , l	$\frac{i_0}{t}$, l/m	i_0 , l	$\frac{i_0}{t}$, l/m
100	125	200	0,2	1	0,1	0,5
125	150	320	0,4	1,3	0,2	0,66
160	200	320	0,6	2	0,35	1,17
200	250	400	1,3	3,24	0,75	1,87
250	300	400	2,0	5	1,4	3,5
320	400	500	4,0	8	2,7	5,4
400	500	500	6,3	12,6	4,2	8,4
500	650	630	12	19	–	–
650	800	630	18	28,6	–	–
800	1000	800	32	40	–	–
1 000	1 200	800	45	56,25	–	–

Table 2

Dependence of parameters of deep buckets on the productivity to the elevator

Bucket width B_k , mm	Tape width B , mm	Disposed step of buckets t , mm	Bucket capacity i_0 , л	Elevator effectiveness, t/h
100	125	200	0,2	α
125	150	320	0,4	$1,3\alpha$
160	200	320	0,6	2α
200	250	400	1,3	$3,24\alpha$
250	300	400	2,0	5α
320	400	500	4,0	8α
400	500	500	6,3	$12,6\alpha$
500	650	630	12	19α
650	800	630	18	$28,6\alpha$
800	1 000	800	32	40α
1 000	1 200	800	45	$56,25\alpha$

Table 3

Dependence of parameters of shallow buckets on the productivity to the elevator

Bucket width B_k , mm	Tape width B , mm	Disposed step of buckets t , mm	Bucket capacity i_0 , л	Elevator effectiveness, t/h
100	125	200	0,1	$0,5\alpha$
125	150	320	0,2	$0,66\alpha$
160	200	320	0,35	$1,17\alpha$

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

End of table 3

Bucket width B_k , mm	Tape width B , mm	Disposed step of buckets t , mm	Bucket capacity i_0 , л	Elevator effectiveness, t/h
200	250	400	0,75	1,87а
250	300	400	1,4	3,5а
320	400	500	2,7	5,4а
400	500	500	4,2	8,4а

Table 4

Description of buckets to the elevator

Type of the bucket	Internal sizes of the bucket, mm				Capacity of the bucket, l
	width B_k	departure A_k	hight	R	
Curved deep D	100	50	65	25	0,1
	100	75	80	25	0,2
	125	90	95	30	0,4
	160	105	110	35	0,6
	200	125	135	40	1,3
	250	140	150	45	2,0
	320	175	190	55	4,0
	400	195	210	60	6,3
	500	235	255	75	12
	650	250	275	80	18
	800	285	325	85	32
	1 000	310	355	95	45
Curved shallow S	125	65	85	30	0,2
	160	75	100	35	0,35
	200	95	130	40	0,75
	250	120	160	55	1,4
	320	145	190	70	2,7
	400	170	220	85	4,2

The weight of one meter of tape is determined by the formula

$$q_s = 10^{-6} B \delta_s \rho_s g, \quad (3)$$

where $\rho_s = 1100 \text{ kg/m}^3$ is a density of the tape.

Using the formula (2) and (3) for calculation, we presented the table of width and linear weight of tape with different number of stripes and its compliance of elevator productivity for deep and shallow buckets.

Distributed weight per 1 m of the tape is determined by the formula:

$$q_v = \frac{Pg}{3,6v} = \beta P, \quad (4)$$

where $\beta = \frac{g}{3,6v}$ is the coefficient, which depends on the speed tape, $\text{N} \cdot \text{s/kg} \cdot \text{m}$.

The dependence of the distributed weight of the cargo from the design capacity is calculated by the formula (4) and shown in table 7.

Table 5

Linear weight of ribbons for deep buckets

Width of tape B , mm	Linear weight of tape when $i = 3$, N/m	Linear weight of tape when $i = 4$, N/m	Linear weight of tape when $i = 5$, N/m	Linear weight of tape when $i = 6$, N/m	Elevator effective- ness, t/h
125	12,5	14,7	16,8	19,0	α
150	15,0	17,6	20,2	22,8	$1,3\alpha$
200	20,1	23,5	27,0	30,4	2α
250	25,1	29,4	33,7	38,0	$3,24\alpha$
300	30,1	35,3	40,4	45,6	5α
400	40,1	47,0	53,9	60,8	8α
500	50,1	58,8	67,4	76,0	$12,6\alpha$
650	65,2	76,4	87,6	98,8	19α
800	80,2	94,0	107,8	121,6	$28,6\alpha$
1 000	100,3	117,5	134,8	152,0	40α
1 200	120,3	141,	161,7	182,4	$56,25\alpha$

Table 6

Linear weight of ribbons for shallow buckets

Width of tape B , mm	Linear weight of tape when $i = 3$, N/m	Linear weight of tape when $i = 4$, N/m	Linear weight of tape when $i = 5$, N/m	Linear weight of tape when $i = 6$, N/m	Elevator effective- ness, t/h
125	12,5	14,7	16,8	19,0	$0,5\alpha$
150	15,0	17,6	20,2	22,8	$0,66\alpha$
200	20,1	23,5	27,0	30,4	$1,17\alpha$
250	25,1	29,4	33,7	38,0	$1,87\alpha$
300	30,1	35,3	40,4	45,6	$3,5\alpha$
400	40,1	47,0	53,9	60,8	$5,4\alpha$
500	50,1	58,8	67,4	76,0	$8,4\alpha$

Linear weight of tape with buckets is determined by the formula

$$q_h = q_s + \frac{m_k g}{t}, \quad (5)$$

where m_k is bucket weight, kg (table 8).

Linear load on working branch is given by:

$$q_r = q_h + q_v. \quad (6)$$

Tentative mass of deep and shallow buckets are shown in table 8 [7].

Using the formula (5)-(6) and taking into account the data of table 8, we define the linear dependence of the load on the working branch of the elevator from the performance values in the deep and shallow buckets. The results of the calculations for tapes with different numbers of stripes are shown in tables 9, 10.

Traction calculation of bucket tape elevator is performed by the method of the outline traversing, the basic principle of which is the revelation of the characteristic points of the route where the change in tension of the tape takes place.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

Table 7

Distributed weight of load				
Width of tape B_k , mm	Distributed weight during the elevator work with shallow buckets, N/m	Elevator productivity with shallow buckets, N/m	Distributed weight during the elevator work with deep buckets, N/m	Elevator effectiveness with deep buckets, N/m
100	$0,5\alpha\beta$	$0,5\alpha$	$\alpha\beta$	α
125	$0,66\alpha\beta$	$0,66\alpha$	$1,3\alpha\beta$	$1,3\alpha$
160	$1,17\alpha\beta$	$1,17\alpha$	$2\alpha\beta$	2α
200	$1,87\alpha\beta$	$1,87\alpha$	$3,24\alpha\beta$	$3,24\alpha$
250	$3,5\alpha\beta$	$3,5\alpha$	$5\alpha\beta$	5α
320	$5,4\alpha\beta$	$5,4\alpha$	$8\alpha\beta$	8α
400	$8,4\alpha\beta$	$8,4\alpha$	$12,6\alpha\beta$	$12,6\alpha$
500	—	—	$19\alpha\beta$	19α
650	—	—	$28,6\alpha\beta$	$28,6\alpha$
800	—	—	$40\alpha\beta$	40α
1 000	—	—	$56,25\alpha\beta$	$56,25\alpha$

Table 8

Tentative mass of buckets to the elevator			
Bucket weight, mm	Wall thickness, mm	The weight of one bucket, kg	
		Deep	Shallow
100	2	0,5	0,4
125	2	0,7	0,6
160	2	0,9	0,7
200	3	2	1,5
250	3	3	2
320	3	5	5
400	4	11	10
500	5	18	—
650	5	23	—
800	6	28	—
1 000	6	33	—

Table 9

The linear loading on a working branch at deep bucket						
Bucket width B_k , mm	Distributed cargo weight q_v , N/m	Linear load on the working branch in tape with $i = 3$ q_r , N/m	Linear load on the working branch in tape with $i = 4$ q_r , N/m	Linear load on the working branch in tape with $i = 5$ q_r , N/m	Linear load on the working branch in tape with $i = 6$ q_r , N/m	Elevator effectiveness, t/h
100	$\alpha\beta$	$37+\alpha\beta$	$39,2+\alpha\beta$	$41,3+\alpha\beta$	$43,5+\alpha\beta$	α
125	$1,3\alpha\beta$	$36,4+1,3\alpha\beta$	$39+1,3\alpha\beta$	$41,6+1,3\alpha\beta$	$44,2+1,3\alpha\beta$	$1,3\alpha$
160	$2\alpha\beta$	$47,7+2\alpha\beta$	$51,1+2\alpha\beta$	$54,6+2\alpha\beta$	$58+2\alpha\beta$	2α

End of table 9

Bucket width B_k , mm	Distributed cargo weight q_v , N/m	Linear load on the working branch in tape with $i = 3$ q_r , N/m	Linear load on the working branch in tape with $i = 4$ q_r , N/m	Linear load on the working branch in tape with $i = 5$ q_r , N/m	Linear load on the working branch in tape with $i = 6$ q_r , N/m	Elevator effectiveness, t/h
200	3,24αβ	74,1+3,24αβ	78,4+3,24αβ	82,7+3,24αβ	87+3,24αβ	3,24α
250	5αβ	103,6+5αβ	108,8+5αβ	113,9+5αβ	119,1+5αβ	5α
320	8αβ	138,1+8αβ	145+8αβ	151,1+8αβ	158+8αβ	8α
400	12,6αβ	265,7+12,6αβ	274,4+12,6αβ	283+12,6αβ	291,6+12,6αβ	12,6α
500	19αβ	345,2+19αβ	356,4+19αβ	367,6+19αβ	378,8+19αβ	19α
650	28,6αβ	438+28,6αβ	451,8+28,6αβ	465,6+28,6αβ	479,4+28,6αβ	28,6α
800	40αβ	443,3+40αβ	460,5+40αβ	477,8+40αβ	495+40αβ	40α
1 000	56,25αβ	524,6+56,3αβ	545,3+56,3αβ	566+56,3αβ	586,7+56,3αβ	56,25α

Table 10

The linear loading on a working branch at shallow bucket

Bucket width B_k , mm	Distributed cargo weight q_v , N/m	Linear load on the working branch in tape with $i = 3$ q_r , N/m	Linear load on the working branch in tape with $i = 4$ q_r , N/m	Linear load on the working branch in tape with $i = 5$ q_r , N/m	Linear load on the working branch in tape with $i = 6$ q_r , N/m	Elevator effectiveness, t/h
100	0,5αβ	32,1+0,5αβ	34,3+0,5αβ	36,4+0,5αβ	38,6+0,5αβ	0,5α
125	0,66αβ	33,4+0,66αβ	36+0,66αβ	37,8+0,66αβ	40,4+0,66αβ	0,66α
160	1,17αβ	41,5+1,17αβ	44,9+1,17αβ	48,4+1,17αβ	51,8+1,17αβ	1,17α
200	1,87αβ	61,9+1,87αβ	66,2+1,87αβ	70,5+1,87αβ	74,8+1,87αβ	1,87α
250	3,5αβ	79,1+3,5αβ	84,3+3,5αβ	89,4+3,5αβ	94,6+3,5αβ	3,5α
320	5,4αβ	138,1+5,4αβ	145+5,4αβ	151,1+5,4αβ	158+5,4αβ	5,4α
400	8,4αβ	246,1+8,4αβ	254,8+8,4αβ	263,4+8,4αβ	272+8,4αβ	8,4α

In addition the tension in the next point ($i + 1$) is the sum of the tape tension in the point (i) and the resistance of the tape movement on the section between these points:

$$S_{i+1} = S_i + W_{i,i+1}. \quad (7)$$

In case of a drum drive speed (Fig. 1) by clockwise the minimum tension will be at the point 2 – S_2 . Such tension in the tape at normal material scooping satisfies the condition:

$$S_2 = S_{\min} \geq 5q_v. \quad (8)$$

The strength of the tension at the point 3 consists of a resistance force on the drum and resistance of cargo scooping W_{2-3} :

$$S_3 = kS_2 + W_{2-3}, \quad (9)$$

where $k = 1,08$ is the coefficient of tension increase in the tape with buckets during the drum rounding.

Resistance of scooping material is determined by the formula

$$W_{2-3} = \frac{k_z q_v}{g}, \quad (10)$$

where k_z is the coefficient of scooping (Nm/kg), which is determined by the specific work, that is expended on scooping of 1 kg material. When the speed of buckets is $v = 1,0 \dots 1,25$ m/s, $k_z = 12,5 \dots 25$ Nm/kg for pulverous and small pieces materials and $k_z = 20 \dots 40$ N/m for middle pieces materials.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

Thus, substituting the formulas (8) and (10) in (9) we have:

$$S_3 = q_v \left(5,4 + \frac{k_z}{g} \right). \quad (11)$$

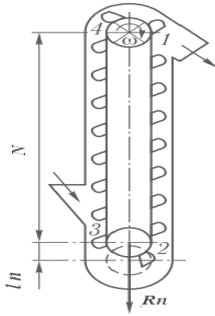


Fig. 1. Chart tape bucket
of the elevator

Choosing the meaning $k_z = 25 \text{ Nm/kg}$ (it satis-

fies all cargoes) we have:

$$S_3 = 7,95q_v. \quad (12)$$

The tension forces in the points 1 and 4 are determined by the formulas:

$$S_4 = S_{nb} = S_3 + W_{3-4} = 7,95q_v + q_r H, \quad (13)$$

$$S_1 = S_{zb} = S_2 + W_{2-1} = 5q_v + q_h H, \quad (14)$$

where H – height of cargo lifting, m.

The dependence of the tension forces values at the point 4, calculated by the formula (13), from the value of design capacity, the type of bucket and the number of strips of tape are summarized in tables 11–12:

Table 11

The strength of tension in a point 4 at deep buckets

Bucket width B_k , mm	The strength of tension in the tape with $i = 3$ S_4 , N	The strength of tension in the tape with $i = 4$ S_4 , N	Elevator effectiveness, t/h
100	$37N + \alpha\beta(7,95+N)$	$39,2N + \alpha\beta(7,95+N)$	α
125	$36,4N + 1,3\alpha\beta(7,95+N)$	$39N + 1,3\alpha\beta(7,95+N)$	$1,3\alpha$
160	$47,7N + 2\alpha\beta(7,95+N)$	$51,1N + 2\alpha\beta(7,95+N)$	2α
200	$74,1N + 3,24\alpha\beta(7,95+N)$	$78,4N + 3,24\alpha\beta(7,95+N)$	$3,24\alpha$
250	$103,6N + 5\alpha\beta(7,95+N)$	$108,8N + 5\alpha\beta(7,95+N)$	5α
320	$138,1N + 8\alpha\beta(7,95+N)$	$145N + 8\alpha\beta(7,95+N)$	8α
400	$265,7N + 12,6\alpha\beta(7,95+N)$	$274,4N + 12,6\alpha\beta(7,95+N)$	$12,6\alpha$
500	$345,2N + 19\alpha\beta(7,95+N)$	$356,4N + 19\alpha\beta(7,95+N)$	19α
650	$438N + 28,6\alpha\beta(7,95+N)$	$451,8N + 28,6\alpha\beta(7,95+N)$	$28,6\alpha$
800	$443,3N + 40\alpha\beta(7,95+N)$	$460,5N + 40\alpha\beta(7,95+N)$	40α
1 000	$524,6N + 56,3\alpha\beta(7,95+N)$	$545,3N + 56,3\alpha\beta(7,95+N)$	$56,25\alpha$

Continuation of table 11

The strength of tension in a point 4 at deep buckets

Bucket width B_k , mm	The strength of tension in the tape with $i = 5$ S_4 , N	The strength of tension in the tape with $i = 6$ S_4 , N	Elevator effectiveness, t/h
100	$41,3N + \alpha\beta(7,95+N)$	$43,5N + \alpha\beta(7,95+N)$	α
125	$41,6N + 1,3\alpha\beta(7,95+N)$	$44,2N + 1,3\alpha\beta(7,95+N)$	$1,3\alpha$
160	$54,6N + 2\alpha\beta(7,95+N)$	$58N + 2\alpha\beta(7,95+N)$	2α
200	$82,7N + 3,24\alpha\beta(7,95+N)$	$87N + 3,24\alpha\beta(7,95+N)$	$3,24\alpha$
250	$113,9N + 5\alpha\beta(7,95+N)$	$119,1N + 5\alpha\beta(7,95+N)$	5α
320	$151,1N + 8\alpha\beta(7,95+N)$	$158N + 8\alpha\beta(7,95+N)$	8α
400	$283N + 12,6\alpha\beta(7,95+N)$	$291,6N + 12,6\alpha\beta(7,95+N)$	$12,6\alpha$

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

End of table 11

Bucket width B_k , mm	The strength of tension in the tape with $i = 5$ S_4 , N	The strength of tension in the tape with $i = 6$ S_4 , N	Elevator effectiveness, t/h
500	$367,6N+19\alpha\beta(7,95+N)$	$378,8N+19\alpha\beta(7,95+N)$	19α
650	$465,6N+28,6\alpha\beta(7,95+N)$	$479,4N+28,6\alpha\beta(7,95+N)$	$28,6\alpha$
800	$477,8N+40\alpha\beta(7,95+N)$	$495N+40\alpha\beta(7,95+N)$	40α
1000	$566N+56,3\alpha\beta(7,95+N)$	$586,7N+56,3\alpha\beta(7,95+N)$	$56,25\alpha$

Table 12

The strength of tension in a point 4 at shallow buckets

Bucket width B_k , mm	The strength of tension in the tape with $i = 3$ S_4 , N	The strength of tension in the tape with $i = 4$ S_4 , N	Elevator effectiveness, t/h
100	$32,1N+0,5\alpha\beta(7,95+N)$	$34,3N+0,5\alpha\beta(7,95+N)$	$0,5\alpha$
125	$33,4N+0,66\alpha\beta(7,95+N)$	$36N+0,66\alpha\beta(7,95+N)$	$0,66\alpha$
160	$41,5N+1,17\alpha\beta(7,95+N)$	$44,9N+1,17\alpha\beta(7,95+N)$	$1,17\alpha$
200	$61,9N+1,87\alpha\beta(7,95+N)$	$66,2N+1,87\alpha\beta(7,95+N)$	$1,87\alpha$
250	$79,1N+3,5\alpha\beta(7,95+N)$	$84,3N+3,5\alpha\beta(7,95+N)$	$3,5\alpha$
320	$138,1N+5,4\alpha\beta(7,95+N)$	$145N+5,4\alpha\beta(7,95+N)$	$5,4\alpha$
400	$246,1N+8,4\alpha\beta(7,95+N)$	$254,8N+8,4\alpha\beta(7,95+N)$	$8,4\alpha$

End of table 12

The strength of tension in a point 4 at shallow buckets

Bucket width B_k , mm	The strength of tension in the tape with $i = 5$ S_4 , N	The strength of tension in the tape with $i = 6$ S_4 , N	Elevator effectiveness, t/h
100	$36,4N+0,5\alpha\beta(7,95+N)$	$38,6N+0,5\alpha\beta(7,95+N)$	$0,5\alpha$
125	$37,8N+0,66\alpha\beta(7,95+N)$	$40,4N+0,66\alpha\beta(7,95+N)$	$0,66\alpha$
160	$48,4N+1,17\alpha\beta(7,95+N)$	$51,8N+1,17\alpha\beta(7,95+N)$	$1,17\alpha$
200	$70,5N+1,87\alpha\beta(7,95+N)$	$74,8N+1,87\alpha\beta(7,95+N)$	$1,87\alpha$
250	$89,4N+3,5\alpha\beta(7,95+N)$	$94,6N+3,5\alpha\beta(7,95+N)$	$3,5\alpha$
320	$151,1N+5,4\alpha\beta(7,95+N)$	$158N+5,4\alpha\beta(7,95+N)$	$5,4\alpha$
400	$263,4N+8,4\alpha\beta(7,95+N)$	$272N+8,4\alpha\beta(7,95+N)$	$8,4\alpha$

The dependence of the values of the tension forces at the point 1 is calculated by the formula (14) the value of design capacity, the type of

bucket and the number of strips of tape are summarized in tables 13-14.

Table 13

The strength of tension in a point 1 at deep buckets

Bucket width B_k , mm	The strength of tension in the tape with $i = 3$ S_1 , N	The strength of tension in the tape with $i = 4$ S_1 , N	The strength of tension in the tape with $i = 5$ S_1 , N	The strength of tension in the tape with $i = 6$ S_1 , N	Elevator effectiveness, t/h
100	$37N+5\alpha\beta$	$39,2N+5\alpha\beta$	$41,3N+5\alpha\beta$	$43,5N+5\alpha\beta$	α
125	$36,4N+6,5\alpha\beta$	$39N+6,5\alpha\beta$	$41,6N+6,5\alpha\beta$	$44,2N+6,5\alpha\beta$	$1,3\alpha$
160	$47,7N+10\alpha\beta$	$51,1N+10\alpha\beta$	$54,6N+10\alpha\beta$	$58N+10\alpha\beta$	2α
200	$74,1N+16,2\alpha\beta$	$78,4N+16,2\alpha\beta$	$82,7N+16,2\alpha\beta$	$87N+16,2\alpha\beta$	$3,24\alpha$

End of table 13

Bucket width B_k , mm	The strength of tension in the tape with $i = 3$ S_1 , N	The strength of tension in the tape with $i = 4$ S_1 , N	The strength of tension in the tape with $i = 5$ S_1 , N	The strength of tension in the tape with $i = 6$ S_1 , N	Elevator effectiveness, t/h
250	103,6N+25αβ	108,8N+25αβ	113,9N+25αβ	119,1N+25αβ	5α
320	138,1N+40αβ	145N+40αβ	151,1N+40αβ	158N+40αβ	8α
400	265,7N+63αβ	274,4N+63αβ	283N+63αβ	291,6N+63αβ	12,6α
500	345,2N+95αβ	356,4N+95αβ	367,6N+95αβ	378,8N+95αβ	19α
650	438N+143αβ	451,8N+143αβ	465,6N+143αβ	479,4N+143αβ	28,6α
800	443,3N+200αβ	460,5N+200αβ	477,8N+200αβ	495N+200αβ	40α
1 000	524,6N+281,5αβ	545,3N+281,5αβ	566N+281,5αβ	586,7N+281,5αβ	56,25α

Table 14

The strength of tension in a point 1 at shallow buckets

Bucket width B_k , mm	The strength of tension in the tape with $i = 3$ S_1 , N	The strength of tension in the tape with $i = 4$ S_1 , N	The strength of tension in the tape with $i = 5$ S_1 , N	The strength of tension in the tape with $i = 6$ S_1 , N	Elevator effectiveness, t/h
100	32,1N+2,5αβ	34,3N+2,5αβ	36,4N+2,5αβ	38,6N+2,5αβ	0,5α
125	33,4N+3,3αβ	36N+3,3αβ	37,8N+3,3αβ	40,4N+3,3αβ	0,66α
160	41,5N+5,85αβ	44,9N+5,85αβ	48,4N+5,85αβ	51,8N+5,85αβ	1,17α
200	61,9N+9,35αβ	66,2N+9,35αβ	70,5N+9,35αβ	74,8N+9,35αβ	1,87α
250	79,1N+17,5αβ	84,3N+17,5αβ	89,4N+17,5αβ	94,6N+17,5αβ	3,5α
320	138,1N+27αβ	145N+27αβ	151,1N+27αβ	158N+27αβ	5,4α
400	246,1N+42αβ	254,8N+42αβ	263,4N+42αβ	272N+42αβ	8,4α

Traction force with regard to the resistance to rotation of the drive drum is determined by the formula

$$F_0 = S_4 - S_1 + (k' - 1)(S_4 + S_1), \quad (15)$$

where $k' = 1,08$ is the coefficient of resistance to the drive drum rotation.

After the algebraic transformations in formula (15) we have:

$$F_0 = 1,08S_4 - 0,92S_1. \quad (16)$$

The value of traction force with regard to the resistance to rotation of the drive drum depending on the values of the design capacity, the type of bucket (deep and shallow) and the number of tape strips are summarized in table 15-16:

Table 15

Traction force on a drive drum at deep bucket

Bucket width B_k , mm	Traction force of the tape with $i = 3$ F , N	Traction force of the tape with $i = 4$ F , N	Elevator effectiveness, t/h
100	5,9N+αβ(4+1,08N)	6,3N+αβ(4+1,08N)	α
125	5,82N+1,3αβ(4+1,08N)	6,2N+1,3αβ(4+1,08N)	1,3α
160	7,63N+2αβ(4+1,08N)	8,2N+2αβ(4+1,08N)	2α
200	11,9N+3,24αβ(4+1,08N)	12,5N+3,24αβ(4+1,08N)	3,24α
250	16,6N+5αβ(4+1,08N)	17,4N+5αβ(4+1,08N)	5α
320	22,1N+8αβ(4+1,08N)	23,2N+8αβ(4+1,08N)	8α
400	42,5N+12,6αβ(4+1,08N)	43,9N+12,6αβ(4+1,08N)	12,6α

End of table 15

Traction force on a drive drum at deep buckets

Bucket width B_k , mm	Traction force of the tape with $i = 3 \quad F, \text{ N}$	Traction force of the tape with $i = 4 \quad F, \text{ N}$	Elevator effective- ness, t/h
500	$55,2N + 19\alpha\beta(4+1,08N)$	$57N + 19\alpha\beta(4+1,08N)$	19α
650	$70,1N + 28,6\alpha\beta(4+1,08N)$	$72,3N + 28,6\alpha\beta(4+1,08N)$	$28,6\alpha$
800	$70,9N + 40\alpha\beta(4+1,08N)$	$73,7N + 40\alpha\beta(4+1,08N)$	40α
1 000	$83,9N + 56,3\alpha\beta(4+1,08N)$	$87,2N + 56,3\alpha\beta(4+1,08N)$	$56,25\alpha$
Bucket width B_k , mm	Traction force of the tape with $i = 5 \quad F, \text{ N}$	Traction force of the tape with $i = 6 \quad F, \text{ N}$	Elevator effective- ness, t/h
100	$6,6N + \alpha\beta(4+1,08N)$	$7N + \alpha\beta(4+1,08N)$	α
125	$6,7N + 1,3\alpha\beta(4+1,08N)$	$7,1N + 1,3\alpha\beta(4+1,08N)$	$1,3\alpha$
160	$8,7N + 2\alpha\beta(4+1,08N)$	$9,3N + 2\alpha\beta(4+1,08N)$	2α
200	$13,2N + 3,24\alpha\beta(4+1,08N)$	$13,9N + 3,24\alpha\beta(4+1,08N)$	$3,24\alpha$
250	$18,2N + 5\alpha\beta(4+1,08N)$	$19,1N + 5\alpha\beta(4+1,08N)$	5α
320	$24,2N + 8\alpha\beta(4+1,08N)$	$25,3N + 8\alpha\beta(4+1,08N)$	8α
400	$45,3N + 12,6\alpha\beta(4+1,08N)$	$46,7N + 12,6\alpha\beta(4+1,08N)$	$12,6\alpha$
500	$58,8N + 19\alpha\beta(4+1,08N)$	$60,6N + 19\alpha\beta(4+1,08N)$	19α
650	$74,5N + 28,6\alpha\beta(4+1,08N)$	$76,7N + 28,6\alpha\beta(4+1,08N)$	$28,6\alpha$
800	$76,4N + 40\alpha\beta(4+1,08N)$	$79,2N + 40\alpha\beta(4+1,08N)$	40α
1 000	$90,6N + 56,3\alpha\beta(4+1,08N)$	$93,9N + 56,3\alpha\beta(4+1,08N)$	$56,25\alpha$

Table 16

Traction force on a drive drum at shallow buckets

Bucket width B_k , mm	Traction force of the tape with $i = 3 \quad F, \text{ N}$	Traction force of the tape with $i = 4 \quad F, \text{ N}$	Elevator effective- ness, t/h
100	$5,1N + \alpha\beta(4+1,08N)$	$5,5N + \alpha\beta(4+1,08N)$	$0,5\alpha$
125	$5,3N + 1,3\alpha\beta(4+1,08N)$	$5,8N + 1,3\alpha\beta(4+1,08N)$	$0,66\alpha$
160	$6,6N + 2\alpha\beta(4+1,08N)$	$7,2N + 2\alpha\beta(4+1,08N)$	$1,17\alpha$
200	$9,9N + 3,24\alpha\beta(4+1,08N)$	$10,6N + 3,24\alpha\beta(4+1,08N)$	$1,87\alpha$
250	$12,7N + 5\alpha\beta(4+1,08N)$	$13,5N + 5\alpha\beta(4+1,08N)$	$3,5\alpha$
320	$22,1N + 8\alpha\beta(4+1,08N)$	$23,2N + 8\alpha\beta(4+1,08N)$	$5,4\alpha$
400	$39,4N + 12,6\alpha\beta(4+1,08N)$	$40,8N + 12,6\alpha\beta(4+1,08N)$	$8,4\alpha$

Continuation of table 16

Traction force on a drive drum at shallow buckets

Bucket width B_k , mm	Traction force of the tape with $i = 5 \quad F, \text{ N}$	Traction force of the tape with $i = 6 \quad F, \text{ N}$	Elevator effective- ness, t/h
100	$5,8N + \alpha\beta(4+1,08N)$	$6,2N + \alpha\beta(4+1,08N)$	$0,5\alpha$
125	$6,0N + 1,3\alpha\beta(4+1,08N)$	$6,5N + 1,3\alpha\beta(4+1,08N)$	$0,66\alpha$
160	$7,7N + 2\alpha\beta(4+1,08N)$	$8,3N + 2\alpha\beta(4+1,08N)$	$1,17\alpha$
200	$11,3N + 3,24\alpha\beta(4+1,08N)$	$12N + 3,24\alpha\beta(4+1,08N)$	$1,87\alpha$

End of table 16

Bucket width B_k , mm	Traction force of the tape with $i = 5$ F , N	Traction force of the tape with $i = 6$ F , N	Elevator effective- ness, t/h
250	$14,3N+5\alpha\beta(4+1,08N)$	$15,1N+5\alpha\beta(4+1,08N)$	$3,5\alpha$
320	$24,2N+8\alpha\beta(4+1,08N)$	$25,3N+8\alpha\beta(4+1,08N)$	$5,4\alpha$
400	$42,1N+12,6\alpha\beta(4+1,08N)$	$43,5N+12,6\alpha\beta(4+1,08N)$	$8,4\alpha$

Kinematic chart of the elevator drive is shown in Fig. 2.

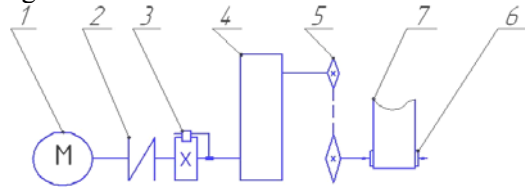


Fig. 2. Chart of the elevator drive:
1 – engine; 2 – elastic clutch; 3 – stopping device (arresting);
4 – reducing gear; 5 – chain transmission;
6 – drive drum; 7 – tape

The coefficient of the drive useful effect performance duty is determined by the formula:

$$\eta = \eta_r \eta_l \eta_m, \quad (17)$$

where $\eta_r = 0,96$ – coefficient of the reducing gear useful effect performance duty; $\eta_l = 0,95$ – coefficient of the chain transmission useful effect performance duty; $\eta_m = 0,98$ – coefficient of the sleeve useful effect performance duty.

Therefore

$$\eta = \eta_r \eta_l \eta_m = 0,96 \cdot 0,95 \cdot 0,98 = 0,89.$$

The power of the engine is determined by the formula

$$P = \frac{F_o v}{1000 \eta}. \quad (18)$$

Design power of the engine is determined by the formula

$$P_r = n_u P, \quad (19)$$

where $n_u = 1,1 \dots 1,2$ – margin of power coefficient.

As far as $\eta = 0,89$ and $n_u = 1,1$, then from the formula (18) and (19) we receive:

$$P_r = \frac{F_o v}{1000 \eta} = 0,001 F_o v. \quad (20)$$

The dependence of the calculated engine power from the values of the design capacity, the type of bucket, the number of tape strips, the speed of belt movement and the lifting height of the load is calculated by the formula (20) that based on the data tables 15-16 are summarized in tables 17-18:

Table 17

Design engine power at deep buckets

Bucket width B_k , mm	Engine power when the tape is $i = 3$ P , W	Engine power when the tape is $i = 4$ P , W	Elevator effective- ness, t/h
100	$(5,9N+\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(6,3N+\alpha\beta(4+1,08N))v$	α
125	$(5,82N+1,3\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(6,2N+1,3\alpha\beta(4+1,08N))v$	$1,3\alpha$
160	$(7,63N+2\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(8,2N+2\alpha\beta(4+1,08N))v$	2α
200	$(11,9N+3,24\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(12,5N+3,24\alpha\beta(4+1,08N))v$	$3,24\alpha$
250	$(16,6N+5\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(17,4N+5\alpha\beta(4+1,08N))v$	5α
320	$(22,1N+8\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(23,2N+8\alpha\beta(4+1,08N))v$	8α
400	$(42,5N+12,6\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(43,9N+12,6\alpha\beta(4+1,08N))v$	$12,6\alpha$
500	$(55,2N+19\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(57N+19\alpha\beta(4+1,08N))v$	19α
650	$(70,1N+28,6\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(72,3N+28,6\alpha\beta(4+1,08N))v$	$28,6\alpha$
800	$(70,9N+40\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(73,7N+40\alpha\beta(4+1,08N))v$	40α
1 000	$(83,9N+56,3\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(87,2N+56,3\alpha\beta(4+1,08N))v$	$56,25\alpha$

End of table 17

Design engine power at deep buckets

Bucket width B_k , mm	Engine power when the tape is $i = 5$ P , W	Engine power when the tape is $i = 6$ P , W	Elevator effective- ness, t/h
100	$(6,6N + \alpha\beta(4+1,08N))v$	$(7N + \alpha\beta(4+1,08N))v$	α
125	$(6,7N + 1,3\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(7,1N + 1,3\alpha\beta(4+1,08N))v$	$1,3\alpha$
160	$(8,7N + 2\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(9,3N + 2\alpha\beta(4+1,08N))v$	2α
200	$(13,2N + 3,24\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(13,9N + 3,24\alpha\beta(4+1,08N))v$	$3,24\alpha$
250	$(18,2N + 5\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(19,1N + 5\alpha\beta(4+1,08N))v$	5α
320	$(24,2N + 8\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(25,3N + 8\alpha\beta(4+1,08N))v$	8α
400	$(45,3N + 12,6\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(46,7N + 12,6\alpha\beta(4+1,08N))v$	$12,6\alpha$
500	$(58,8N + 19\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(60,6N + 19\alpha\beta(4+1,08N))v$	19α
650	$(74,5N + 28,6\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(76,7N + 28,6\alpha\beta(4+1,08N))v$	$28,6\alpha$
800	$(76,4N + 40\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(79,2N + 40\alpha\beta(4+1,08N))v$	40α
1 000	$(90,6N + 56,3\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(93,9N + 56,3\alpha\beta(4+1,08N))v$	$56,25\alpha$

Table 18

Design engine power at shallow buckets

Bucket width B_k , mm	Engine power when the tape is $i = 3$ P , W	Engine power when the tape is $i = 4$ P , W	Elevator effectiveness, t/h
100	$(5,1N + \alpha\beta(4+1,08N))v$	$(5,5N + \alpha\beta(4+1,08N))v$	$0,5\alpha$
125	$(5,3N + 1,3\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(5,8N + 1,3\alpha\beta(4+1,08N))v$	$0,66\alpha$
160	$(6,6N + 2\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(7,2N + 2\alpha\beta(4+1,08N))v$	$1,17\alpha$
200	$(9,9N + 3,24\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(10,6N + 3,24\alpha\beta(4+1,08N))v$	$1,87\alpha$
250	$(12,7N + 5\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(13,5N + 5\alpha\beta(4+1,08N))v$	$3,5\alpha$
320	$(22,1N + 8\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(23,2N + 8\alpha\beta(4+1,08N))v$	$5,4\alpha$
400	$(39,4N + 12,6\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(40,8N + 12,6\alpha\beta(4+1,08N))v$	$8,4\alpha$

End of table 18

Design engine power at shallow buckets

Bucket width B_k , mm	Engine power when the tape is $i = 5$ P , W	Engine power when the tape is $i = 6$ P , W	Elevator effectiveness, t/h
100	$(5,8N + \alpha\beta(4+1,08N))v$	$(6,2N + \alpha\beta(4+1,08N))v$	$0,5\alpha$
125	$(6,0N + 1,3\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(6,5N + 1,3\alpha\beta(4+1,08N))v$	$0,66\alpha$
160	$(7,7N + 2\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(8,3N + 2\alpha\beta(4+1,08N))v$	$1,17\alpha$
200	$(11,3N + 3,24\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(12N + 3,24\alpha\beta(4+1,08N))v$	$1,87\alpha$
250	$(14,3N + 5\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(15,1N + 5\alpha\beta(4+1,08N))v$	$3,5\alpha$
320	$(24,2N + 8\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(25,3N + 8\alpha\beta(4+1,08N))v$	$5,4\alpha$
400	$(42,1N + 12,6\alpha\beta(4+1,08N))v$	$(43,5N + 12,6\alpha\beta(4+1,08N))v$	$8,4\alpha$

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

Findings

Analyse the impact of the design capacity of the elevator shotblasting room to the power of necessary drive should be conducted. Shotblasting room is used to strengthen the metal springs of car by the method of shot peening. For automation work of such room the elevator is used, that transports the spent shot in feed hopper of shotblasting machine of the rotary type. The steel shot of State standart 3184-95 with diameter of 1,2-1,4 mm is used for the strengthen of the springs. Given the physical and mechanical properties of steel shot (can be attributed to hard-running granular bulk cargo), the tape elevator with disposed buckets and centrifugal unloading was selected. The speed of the tape is $v = 1,45$ m/s; the fill factor bucket $\psi = 0,6$; $\rho = 7,2$ t/m³ is the shot density in accordance with State standart 3184–95; lifting height of the load $H = 4,5$ m.

Under these conditions, the coefficients are equal to:

$$\alpha = 3,$$

$$6\nu\rho\psi = 3,6 \cdot 1,45 \cdot 7,2 \cdot 0,6$$

$$= 22,55 \text{ t} \cdot \text{m/l per h};$$

$$\alpha\beta = 3,6\nu\rho\psi \frac{g}{3,6v} = \rho\psi g$$

$$= 7,2 \cdot 0,6 \cdot 9,8 = 42,34 \text{ N/m}^3$$

The dependence of the design power of the electric drive motor of an elevator from the design capacity are shown in table 19.

Given the standard values of three-phase asynchronous briefly closed motors power of 4A series with synchronous rotation speed of 1000 rpm, table of design capacity and necessary engine power correspondence was built for the elevator drive of shotblasting room.

Table 19

Design engine power at deep buckets

Bucket width B_k , mm	Engine power when the tape is $i = 3$ P , W	Engine power when the tape is $i = 4$ P , W	Engine power when the tape is $i = 5$ P , W	Engine power when the tape is $i = 6$ P , W	Elevator effective- ness, t/h
100	5 382,0	585,0	587,0	589,6	22,55
125	745,0	747,6	750,8	753,4	29,31
160	1 137,7	1 141,4	1 144,6	1 148,6	45,1
200	1 840,0	1 843,9	1 848,5	1 853,1	73,1
250	2 828,0	2 833,2	2 838,4	2 844,3	112,75
320	4 495,7	4 502,9	4 509,4	4 516,6	180,4
400	7 130,9	7 140,1	7 149,2	7 158,3	284,1
500	10 695,0	10 706,8	10 718,5	10 730,2	428,45
650	16 014,0	16 028,4	16 042,8	16 057,1	644,9
800	22 220,2	22 238,4	22 256,1	22 274,3	902
1 000	31 171,2	31 192,7	31 214,9	31 236,4	1 268,4

Table 20

Engine power at deep buckets

Bucket width B_k , mm	Engine power P , kW	Type of engine	Elevator effectiveness, t/h
100	0,75	4A80A6U3	22,55
125	1,1	4A80B6U3	29,31
160	1,5	4A90L6U3	45,1

End of table 20

Bucket width B_k , mm	Engine power P , kW	Type of engine	Elevator effectiveness, t/h
200	2,2	4A100L6U3	73,1
250	3,0	4A112MA6U3	112,75
320	5,5	4A132S6U3	180,4
500	11,0	4A160S6U3	428,45
650	18,5	4A180M6U3	644,9
800	30	4A200M6U3	902
1 000	37	4A225M6U3	1 268,4

Analyzing the results of calculations presented in table 20, we conclude that the dependence of the power drive of the elevator from its design capacity (at fixed lifting height, type of cargo, the speed of movement of the tape) in general is a piecewise continuous monotonically increasing function that is continuous on the left side at the point of rupture. In this case values effectiveness given in the last column of the table 20 should be considered where the power value changes and equals to the corresponding value given in the second column of the table 20. But to the value 29,31 t/h capacity is equal to 0,75 kW due to the minimality of such power in a number of engines of this class. The graph of the capacity of the elevator drive shotblasting room on the value of design capacity was built according to the results of calculations (Fig. 3).

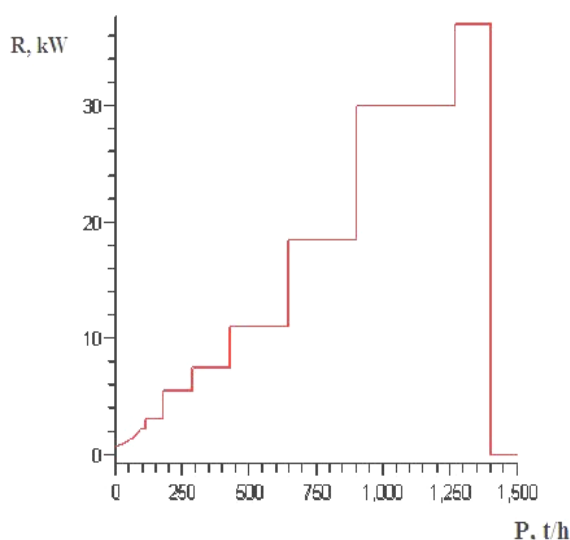


Fig. 3. Dependence of the elevator drive power from the productivity

Originality and Practical value

A parametric dependence of the elevator power drive from its design capacity was built, and it takes into account the type and characteristics of the load, the lifting height, standard dimensions and parameters of the buckets and tapes.

Using the built dependencies enables relatively fast to determine an approximate value of power over the vertical speed elevators with deep and shallow buckets and perform the high-quality selection of its key elements by specific design characteristics: type of load, productivity, lifting height.

On the bases of the proposed approach the impact of the design capacity of the elevator shotblasting room to the required drive was analysed.

Conclusions

The parametric dependence of the values of drive power from its design capacity was built for the bucket tapes elevators. It gives the opportunity to obtain the necessary value of drive power based on the type and physical and mechanical properties of cargoes, the value of the lifting height and design capacity, using only one formula for calculation. The obtained results of the power drive generation process from the expected capacity of the elevator shotblasting room, which is designed to strengthen the car springs are used as an example of attracting. According to the standard of bucket parameters and characteristics of electric motors, the parametric and graphic dependences of drive power from the design capacity was built for

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

such type of elevators. It is proved that the function changes of the elevator capacity value from design capacity (at fixed lift height, type of cargo and the speed of the tape) are piecewise continuous and monotonically increasing.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Александров, М. П. Подъемно-транспортные машины : учеб. / М. П. Александров. – Москва : МГТУ им. Н. Баумана : Высш. шк., 2000. – 522 с.
2. Горячев, Ю. К. Исследование возможности использования резервов энергии приводов подвесных канатных дорог с учетом диаграмм окружных усилий / Ю. К. Горячев, А. С. Куропятник, М. Р. Измайлов // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 3 (51). – С. 109–116.
3. Зенков, Р. Л. Машины непрерывного транспорта : учеб. / Р. Л. Зенков, И. И. Ивашков, Л. Н. Колобов. – Москва : Машиностроение, 1987. – 432 с.
4. Іванченко, Ф. К. Підйомно-транспортні машини : підруч. / Ф. К. Іванченко. – Київ : Вища шк., 1993. – 413 с.
5. Катрюк, И. С. Машины непрерывного транспорта. Конструкции, проектирование и эксплуатация : учеб. пособие / И. С. Катрюк, Е. В. Мусияченко. – Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2006. – 266 с.
6. Кузьмин, А. В. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин : учеб. пособие / А. В. Кузьмин. – Минск : Вышэйш. шк., 1983. – 350 с.
7. Підйомно-транспортні машини: розрахунки підймальних і транспортувальних машин : підруч. / В. С. Бондарев, О. І. Дубинець, М. П. Колісник [та ін.]. – Київ : Вища шк., 2009. – 734 с.
8. 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.
9. Расчет и проектирование транспортных средств непрерывного действия : науч. пособие для вузов / А. И. Барышев, В. А. Будишевский, А. А. Сулима, А. М. Ткачук. – Донецк : Норд-Пресс, 2005. – 689 с.
10. Ромакин, Н. Е. Машины непрерывного транспорта : учеб. пособие. – Москва : Академия, 2008. – 432 с.
11. Jamaludin, J. Development of a self-tuning fuzzy logic controller for intelligent control of elevator systems / J. Jamaludin, N. A. Rahim, W. P. Hew // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2009. – Vol. 22. – Iss. 8. – P. 1167–1178. doi: 10.1016/j.engappai.2009.04.006.
12. Kim, C. S. Nonlinear robust control of a hydraulic elevator: experiment-based modeling and two-stage Lyapunov redesign / C. S. Kim, K. S. Hong, M. K. Kim // Control Engineering Practice, Exeter. – 2005. – Vol. 13. – Iss. 6. – P. 789–803. doi: 10.1016/j.conengprac.2004.09.003.
13. Strakosch, G. R. The Vertical Transportation Handbook / G. R. Strakosch, R. S. Caporale. – New York : John Wiley&Sons, 2010. – 610 p. doi: 10.1002/9780470949818.

В. М. БОГОМАЗ^{1*}, К. Ц. ГЛАВАЦЬКИЙ^{2*}, О. А. МАЗУР^{3*}

^{1*}Каф. «Військова підготовка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 09, ел. пошта wbogomas@i.ua, ORCID 0000-0001-5913-2671

^{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 kazimir.glavatskii@mail.ru, ORCID 0000-0002-3353-2543

^{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 mazur-oleg@yandex.ru, ORCID 0000-0002-3704-7799

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРОЕКТНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ЕЛЕВАТОРУ НА ПОТУЖНІСТЬ ЙОГО ПРИВОДУ

Мета. Одним із основних елементів стрічкових ковшових елеваторів є їх привід. Для визначення потужності приводу необхідно провести розрахунки за стандартними методиками, для чого потрібно витратити достатньо часу. Одним із проектних параметрів є продуктивність елеватору. В статті необхідно побудувати параметричну залежність потужності приводу елеватору від його проектної продуктивності, яка

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

враховує тип та характеристики вантажу, висоту підйому, стандартні розміри і параметри ковшів та стрічок. **Методика.** Використовуючи методику тягового розрахунку стрічкових ківшевих елеваторів, побудовані параметричні залежності потужності приводу швидкохідних елеваторів із глибокими та мілкими ковшами від їх продуктивності при фіксованому типі вантажу та висоті підйому. **Результати.** На основі побудованих параметричних залежностей встановлено, що функція зміни величини потужності елеватору від проектної продуктивності (при фіксованих висоті підйому, типу вантажу, швидкості руху стрічки) є кусково-сталою та монотонно зростаючою. Визначені в загальному вигляді інтервали проектних значень продуктивності, які забезпечують постійну величину потужності приводу елеватору. В якості прикладу залучення отриманих результатів розглянуто процес побудови залежності потужності приводу від проектної продуктивності елеватору дробометної камери, який призначений для транспортування металевих дробу, що використовується при зміцненні вагонних пружин. Для конкретних типу вантажу та висоті підйому такого елеватору побудовано графічну залежність потужності його приводу від продуктивності. **Наукова новизна.** Вперше виведені параметричні залежності потужності приводу елеватору від його проектної продуктивності, які враховують тип та фізико-механічні характеристики вантажу, висоту підйому, стандартні розміри та параметри ковшів і стрічок. **Практична значимість.** Використання побудованих залежностей дає можливість відносно швидкого визначення приблизного значення потужності приводу вертикальних швидкохідних елеваторів із глибокими та мілкими ковшами на стадії проектування. Також можливим є виконання якісного підбору його основних елементів при конкретних проектних характеристиках: тип вантажу, продуктивність, висота підйому.

Ключові слова: елеватор; ківш; привід; потужність; продуктивність; вантаж

В. Н. БОГОМАЗ^{1*}, К. Ц. ГЛАВАЦКИЙ^{2*}, О. А. МАЗУР^{3*}

^{1*}Каф. «Военная подготовка», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 793 19 09, эл. почта wbogomas@i.ua, ORCID 0000-0001-5913-2671

^{2*}Каф. «Прикладная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, эл. почта kazimir.glavatskii@mail.ru, ORCID 0000-0002-3353-2543

^{3*}Каф. «Прикладная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, эл. почта mazur-oleg@yandex.ru, ORCID 0000-0002-3704-7799

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕВАТОРА НА ПАРАМЕТРЫ ЕГО ПРИВОДА

Цель. Одним из основных элементов ленточных ковшевых элеваторов является их привод. Для определения мощности привода необходимо провести расчеты по стандартным методиками, для чего нужно потратить достаточно времени. Одним из проектных параметров является производительность элеватора. Необходимо построить параметрическую зависимость мощности привода элеватора от его проектной производительности, которая учитывает тип и характеристики груза, высоту подъема, стандартные размеры и параметры ковшей и лент. **Методика.** Используя методику тягового расчета ленточных ковшевых элеваторов, построены параметрические зависимости мощности привода быстроходных элеваторов с глубокими и мелкими ковшами от их производительности при фиксированных типе груза и высоте подъема. **Результаты.** На основе построенных параметрических зависимостей установлено, что функция изменения величины мощности элеватора от проектной производительности (при фиксированных высоте подъема, типе груза, скорости движения ленты) является кусочно-постоянной и монотонно возрастающей. Определены в общем виде интервалы проектных значений производительности, которые обеспечивают постоянную величину мощности привода элеватора. В качестве примера применения полученных результатов рассмотрен процесс построения зависимости мощности привода от проектной производительности элеватора дробометной камеры, которая предназначена для транспортировки металлической дробы, используемой при упрочнении вагонных пружин. Для конкретного типа груза и высоты подъема такого элеватора построена графическая зависимость мощности его привода от производительности. **Научная новизна.** Впервые выведены параметрические зависимости мощности привода элеватора от его проектной производительности, которые учитывают тип и физико-механические характеристики груза, высоту подъема, стандартные размеры и параметры ков-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

шей и лент. **Практическая значимость.** Использование построенных зависимостей дает возможность относительно быстрого определения приблизительного значения мощности привода вертикальных быстроходных элеваторов с глубокими и мелкими ковшами на стадии проектирования. Также возможным является выполнение качественного подбора его основных элементов при конкретных проектных характеристиках: тип груза, производительность, высота подъема.

Ключевые слова: элеватор; ковш; привод; мощность; производительность; груз

REFERENCES

1. Aleksandrov M.P. *Podemno-transportnyye mashiny* [Lifting and transporting machines]. Moscow, Izdatelstvo MGTU im. N. Bauman, Vysshaya shkola Publ, 2000. 522 p.
2. Goryachev Yu. K. Kuropyatnik A.S., Izmaylov M.R. Issledovaniye vozmozhnosti ispolzovaniya rezervov energii privodov podvesnykh kanatnykh dorog s uchetom diagramm okruzhnykh usiliy [Possibility research of the use of energy reserve of aerial ropeway drives taking into account the twisting forces diagrams]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 3 (51), pp. 109-116.
3. Zenkov R.L., Ivashkov I.I., Kolobov L.N. *Mashiny nepreryvnogo transporta* [Machines of continuous transport]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1987. 432 p.
4. Ivanchenko F.K. *Pidiomno-transportni mashyny* [Lifting and transporting machines]. Kyiv, Vyshia shkola Publ., 1993. 413 p.
5. Katryuk I.S., Musiyachenko Ye.V. *Mashiny nepreryvnogo transporta. Konstruktsii, proyektirovaniye i ekspluatatsiya* [Machines of continuous transport: Constructions, Planning and Exploitation]. Krasnoyarsk, IPTS KGTU Publ., 2006. 266 p.
6. Kuzmin A.V. *Spravochnik po raschetam mekhanizmov podmno-transportnykh mashin* [Reference book upon settlements of mechanisms of lifting and transporting machines]. Minsk, Vysheysheya Shkola Publ., 1983. 350 p.
7. Bondariev V.S., Dubynets O.I., Kolisnyk M.P. *Pidiomno-transportni mashyny: rozrakhunky pidiimalnykh i transportovalnykh mashyn* [Lifting and transporting machines: calculations of lifting and transporting machines]. Kyiv, Vyshcha Shkola Publ., 2009. 734 p.
8. Raksha S.V., Horiachev Yu.K., Kuropiatnyk O.S. Analiz vplyvu pruzhnykh deformatsii nesuchoho kanata na zusyilia v tiahovomu kanati pidvisnoi dorohy [Influence analysis of the elastic deformations of the track cable on the efforts in the hauling rope of aerial 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.
9. Baryshev A.I., Budishevskiy V.A., Sulima A.A., Tkachuk A.M. *Raschet i proyektirovaniye transportnykh sredstv nepreryvnogo deystviya* [Calculation and planning of transport vehicles of continuous action]. Donezk, 2005. 689 p.
10. Romakin N.E. *Mashiny nepreryvnogo transporta* [Machines of continuous transport]. Moscow, Akademiya Publ., 2008. 432 p.
11. Jamaludin J., Rahim N.A., Hew W.P. Development of a self-tuning fuzzy logic controller for intelligent control of elevator systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2009, vol. 22, issue 8, pp. 1-12. doi: 10.1016/j.engappai.2009.04.006.
12. Kim C.S., Hong K.S., Kim M.K. Nonlinear robust control of a hydraulic elevator: experiment-based modeling and two-stage Lyapunov redesign. *Control Engineering Practice, Exeter*, 2005, vol. 13, issue 6, pp. 789-803. doi: 10.1016/j.conengprac.2004.09.003.
13. Strakosch G.R., Caporale R.S. *The Vertical Transportation Handbook*. New-York, John Wiley&Sons Publ., 2010. 624 p. doi: 10.1002/9780470949818.

Prof. S. V. Raksha, D. Sc. (Tech.) (Ukraine); Prof. V. H. Zarenbin, D. Sc. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Accessed: Nov., 21.2014

Received: March, 27.2015

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

UDC 629.463.077:625.143.58

V. L. HOROBETS¹, L. H. MASLEIEVA², L. V. URSULIAK^{3*}, V. V. ARSONOV⁴

¹ARL DSRS, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St. 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 776 72 44, fax +38 (056) 776 72 44, e-mail onildpps@gmail.com, ORCID 0000-0002-6537-7461

²Dep. «Theoretical Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St. 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 776 72 44, fax +38 (056) 776 72 44, e-mail onildpps@gmail.com, ORCID 0000-0002-5128-0095

^{3*}Dep. «Structural Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St. 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 776 72 44, fax +38 (056) 776 72 44, e-mail lyudmila.urs@yandex.ua, ORCID 0000-0001-5957-6926

⁴Insurance corporation «Taso – Garantiya», Transportna St., 3, Odesa, Ukraine, 65039, tel. +38 (048) 267 77 10, fax +38 (048) 264 54 56, e-mail arsonov@list.ru, ORCID 0000-0002-6202-2657

ABOUT THE EVALUATION OF THE LONGITUDINAL FORCES LEVEL EFFECTING THE TRACK DISPLACEMENT AT TRANSIENT MODES OF TRAIN MOVEMENT

Purpose. Study the transient modes effect of movement on the track displacement for the freight train safety control is supposed in this paper. For this it is necessary to investigate the longitudinal dynamics of a train on the track displacement. Simultaneously to assess the longitudinal forces level of a track and rolling stock interaction.

Methodology. The level of the longitudinal forces, effecting the track displacement, was evaluated using mathematical modeling of longitudinal vibrations of the trains at transient modes of motion caused by braking. It was considered that each train vehicle consists of a body (solid) and the wheel sets, connected with the body by friction bearings (inelastic link). It was believed that during the movement of each train vehicle the vertical plane of its symmetry coincident with the vertical plane of symmetry of the assembled rails and sleepers. At simulation it was also supposed that in the process of translational motion of the vehicle body wheels make pure rolling along the rail without slipping on it.

Findings. In the results of calculations the values of the longitudinal forces at different types of braking were obtained (it is regenerative braking and pneumatic one) under quasi-static and shock transients. For this various initial state of clearances in the inter-car connections up to beginning of transient was considered. The level of dynamic additives to longitudinal forces of interaction between wheel and rail that are substantially depending on vehicle accelerations was assessed. **Originality.** The transient regimes effect of trains movement caused by braking on the level of the longitudinal forces of track and rolling stock interaction was investigated. The longitudinal load of freight trains with regenerative and pneumatic braking was researched. The effect of the initial state of the train and different modes of braking on a dynamic additive to the longitudinal forces of the interaction between the track and rolling stock, which may effect the displacement of assembled rails and sleepers, was estimated. **Practical value.** The obtained results can be used to select rational modes of braking of freight trains, especially on lengthy down grade, from the positions prevent possible track displacement.

Keywords: mathematical modeling; transient modes of train movement; pneumatic braking; recuperative braking; interaction forces between the track and rolling stock

Introduction

As the experience of freight trains operation shows, track displacement occurs when traction-braking running is applied in order to keep given speed of mode, especially on an excessive gradient and downhill length accordingly [2, 3, 6–7, 11–15].

Purpose

Freight trains safety control requires studying the effect of transient mode of their movement on track displacement.

Methodology

Processes of longitudinal forces occurrence of interaction between the track and rolling stock, caused by transient modes of trains movement, were studied by mathematical modeling of longitudinal vibrations of the train using known methods of numerical integration of nonlinear differential equations describing its motion [1, 4, 5, 9, 10].

As a simplified model of the train a chain of bodies (vehicles), interconnected by links (inter-car links) was considered. At this it was assumed that each train vehicle consists of a body (solid) and the wheel sets, connected with the body by friction bearings (inelastic link). The elastic properties of the track and wheel sets were not taking into account. It was thought that during the movement of each train vehicle the vertical plane of its symmetry coincident with the vertical plane of symmetry of the assembled rails and sleepers.

At simulation it was also supposed that in the process of translational motion of the vehicle body wheels make pure rolling along the rail without slipping on it. Such wheel motion was considered as compound, consisting of translational motion with rate V_C and acceleration a_C of center of body masses (Fig. 1) and rotary motion about the axis of the wheel set with an angular velocity ω and angular acceleration ε . Then during pure rolling $\omega = \frac{V_C}{r}$

and $\varepsilon = \frac{a_C}{r}$, where r – wheel radius (Fig. 2).

It was supposed that longitudinal force Q acts on each vehicle of the train (Fig. 1), which includes a component of the vehicle gravity on the slope of the track, the efforts in the links between vehicles (in inter car links), resistance force of translational motion, for example, from the wind load.

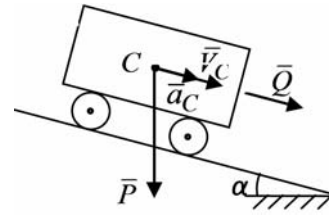


Fig. 1. The computational model of the train vehicle

At this resistance forces moment M_{res}^{ws} , arising in bearings, acts on each wheel set of the vehicle (Fig. 2), and braking moment M_{brak}^{ws} can act in the result of regenerative and pneumatic (locomotives) braking of the vehicle.

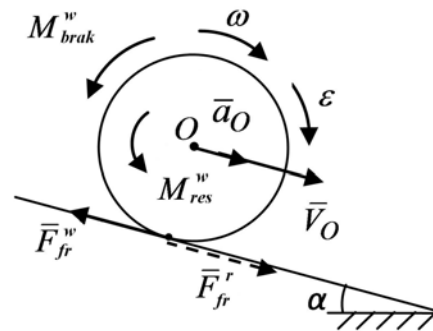


Fig. 2. Force load wheeled of vehicle wheelset

It can be shown that the dynamic equation which describes the motion of the train vehicle in these cases has the form:

$$(m_v + N \cdot \frac{I_O^{ws}}{r^2}) \cdot a_C = Q - N \cdot \frac{M_{brak}^{ws}}{r} - N \cdot \frac{M_{res}^{ws}}{r},$$

where m_v – body mass of the vehicle, N – wheel set number of the vehicle, I_O^{ws} – inertia axial moment of the wheel set.

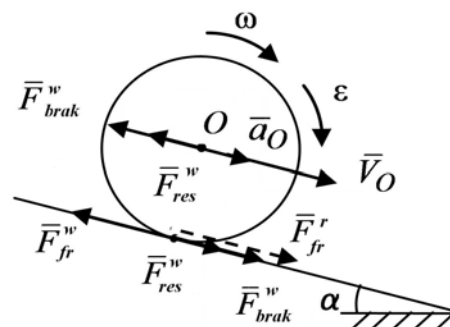


Fig. 3. Force diagram, acting in the center of wheel masses and at the point of wheel and rail contact

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

It should be taken into consideration that braking moment M_{brak}^w and moment of resistance force M_{res}^w , applied to the wheel of the vehicle (Fig. 2), one can change with corresponding moment of forces pair, one of which is attached to the wheel axle, and the other – to the contact point of a wheel and a rail (Fig. 3).

Then each of these moments can be expressed through the moment of the relevant force couples (F_{brak}^w, F_{res}^w): $M_{brak}^w = F_{brak}^w \cdot r$, $M_{res}^w = F_{res}^w \cdot r$.

As a result pointed moments for wheel sets correspond to the formulas

$$M_{brak}^{ws} = 2F_{brak}^w \cdot r = F_{brak}^{ws} \cdot r,$$

$$M_{res}^{ws} = 2F_{res}^w \cdot r = F_{res}^{ws} \cdot r$$

and $\frac{M_{brak}^{ws}}{r} = F_{brak}^{ws}$, but $\frac{M_{res}^{ws}}{r} = F_{res}^{ws}$.

With recent expressions dynamic equation of the vehicle is the following

$$(m_v + N \cdot \frac{I_O^{ws}}{r^2}) \cdot a_C = Q - N \cdot F_{brak}^{ws} - N \cdot F_{res}^{ws}$$

or

$$(m_v + N \cdot \frac{I_O^{ws}}{r^2}) \cdot a_C = Q - F_{brak}^v - F_{res}^v,$$

where $F_{brak}^v = N \cdot F_{brak}^{ws}$ – it is braking force that acts on the vehicle, and $F_{res}^v = N \cdot F_{res}^{ws}$ – it is resistance force to motion from friction in the bearings of the vehicle.

Then acceleration of masses center of the vehicle may be expressed as

$$a_C = \frac{Q - F_{brak}^v - F_{res}^v}{m_v + N \cdot \frac{I_O^{ws}}{r^2}}.$$

Interaction forces between a wheel and a rail in cases in question are the friction forces arising in the contact point of a wheel and a rail (Fig. 3); at this, if \bar{F}_{fr}^w – it is friction force, acting on a wheel from the rail side, then \bar{F}_{fr}^r – it is friction force, acting on a rail from the wheel side; because the action is a reaction, then $\bar{F}_{fr}^r = -\bar{F}_{fr}^w$.

In order to find out what determines the frictional force \bar{F}_{fr}^{ws} that acts on wheel set, it is necessary to make a dynamic equation of rotational motion of wheel set about its axis:

$$I_O^{ws} \cdot \varepsilon = \sum M_O;$$

$$I_O^{ws} \cdot \frac{a_C}{r} = -M_{brak}^{ws} - M_{res}^{ws} - F_{fr}^{ws} \cdot r,$$

where $\bar{F}_{fr}^{ws} \cdot r$ – it is net moment relatively to the axis of wheel set of the friction forces applied to wheel set from the rails side.

Then the expressions for the determination the total frictional force acting on the wheel set and a vehicle have the form:

$$F_{fr}^{ws} = \frac{M_{brak}^{ws}}{r} + \frac{M_{res}^{ws}}{r} + I_O^{ws} \frac{a_C}{r^2},$$

$$F_{fr}^v = N \cdot \frac{M_{brak}^{ws}}{r} + N \cdot \frac{M_{res}^{ws}}{r} + N \cdot I_O^{ws} \frac{a_C}{r^2}$$

or

$$F_{fr}^v = F_{brak}^v + F_{res}^v + N \cdot I_O^{ws} \frac{a_C}{r^2} = F_{brak}^v + F_{res}^v + d,$$

where d – it is dynamic additive to forces F_{brak}^v , F_{res}^v , which depends on the acceleration of the vehicle.

Acceleration values of vehicles can be significant at transient modes of train movement. That is why it seems to be interesting to investigate the processes of longitudinal forces rise of interaction between a track and rolling stock at transient modes of train movement and primarily which are caused by their braking.

Findings

Regenerative (electric braking locomotives) and pneumatic braking of the train with a speed of 40 km/h on horizontal sections of the track and slopes were simulated. In some cases, the train before braking was pre-compacted, in others it was extended.

It was assumed that the train consists of 50 four-homogeneous gondola cars, weight 80 tons and four locomotives, type VL-11. Joint of three

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

locomotives was in the front of a train and one in the rear end of the train.

It was also believed that cars are equipped with an air distributor No. 483 and composition brake shoe while inter-car links with elastic and friction draft gear SH-1-TM.

Levels of longitudinal forces F_{fr}^w , acting on rails from the side of the train vehicle, and values of dynamic additives d were determined.

Below as an example the oscillographes chart of the longitudinal forces (Fig. 4–5) and accelerations (Fig. 6–7) are presented at regenerative braking (all locomotives realize 24 position of electric

brake) in prior extended and pre-compacted trains.

As one should expect, the highest level of longitudinal forces and accelerations occur when regenerative braking of prior extended trains in the rear end sections of the train.

The dependences of the dynamic additives from motion time for the 1st, 4th, 26th and 52nd vehicles during regenerative braking in prior extended and pre-compacted trains correspondingly are shown in Fig. 8–9. The total dynamic additive curve (red line) and the braking force for the entire train are shown in Fig. 10–11.



Fig. 4. Oscillograms of longitudinal forces after the first locomotive, 4th, 26th and 52nd vehicles at regenerative braking in prior extended train

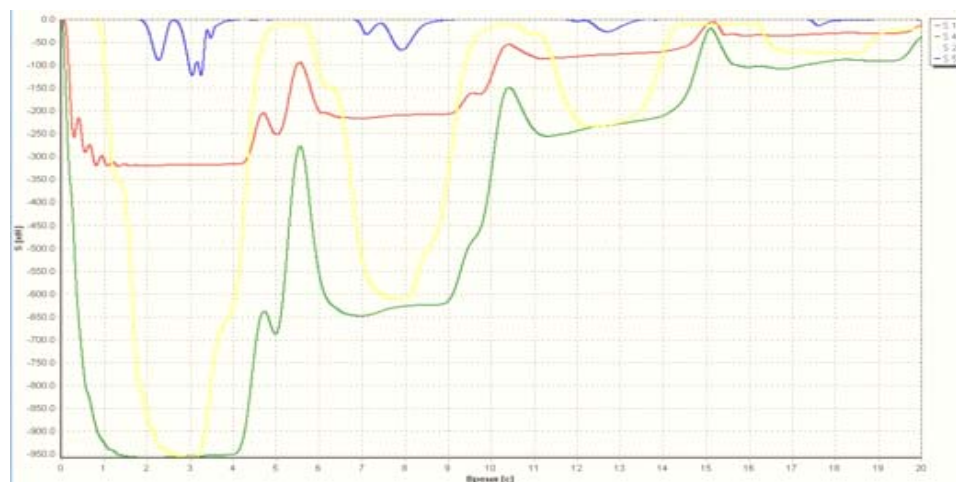


Fig. 5. Oscillograms of longitudinal forces after the first locomotive, 4th, 26th and 52nd vehicles at regenerative braking in pre-compacted train

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

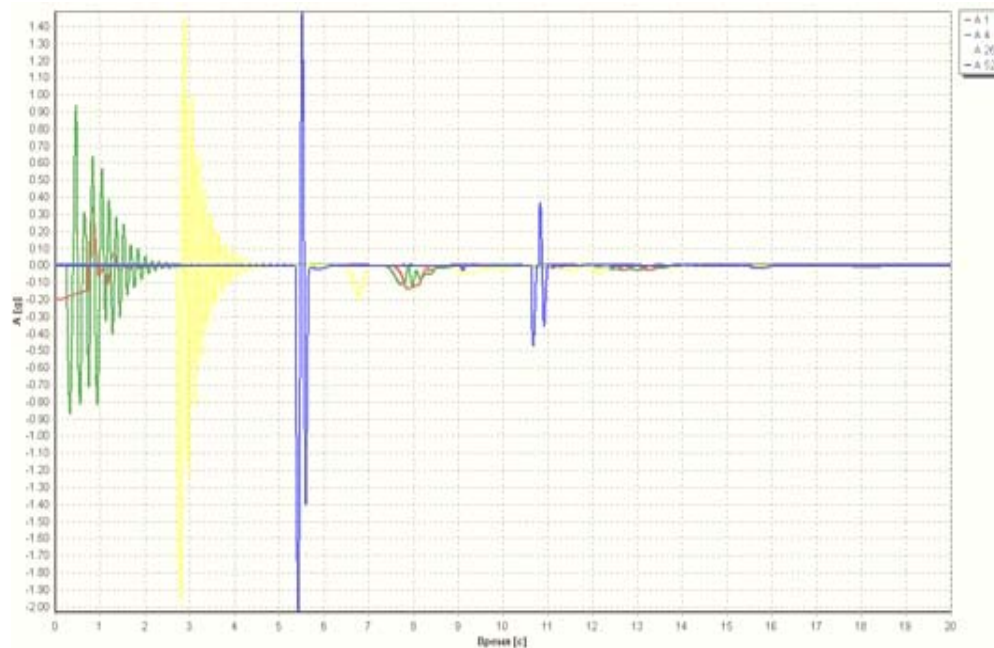


Fig. 6. Oscillograms of longitudinal accelerations of the first locomotive, 4th, 26th and 52nd vehicles at regenerative braking in prior extended train

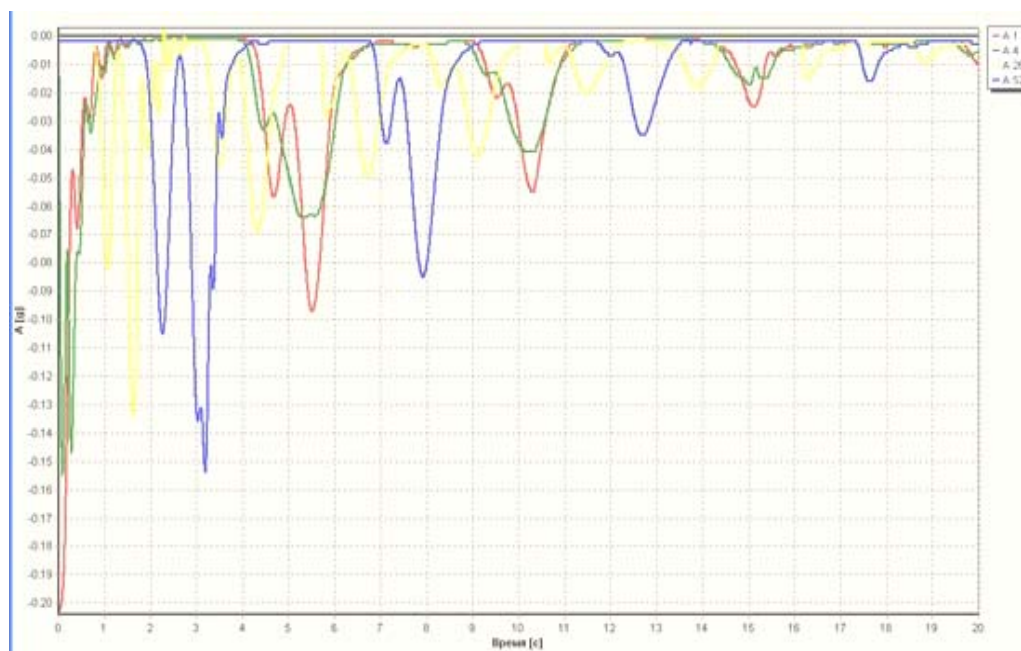


Fig. 7. Oscillograms of longitudinal accelerations of the first locomotive, 4th, 26th and 52nd vehicles at regenerative braking in pre-compacted train

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

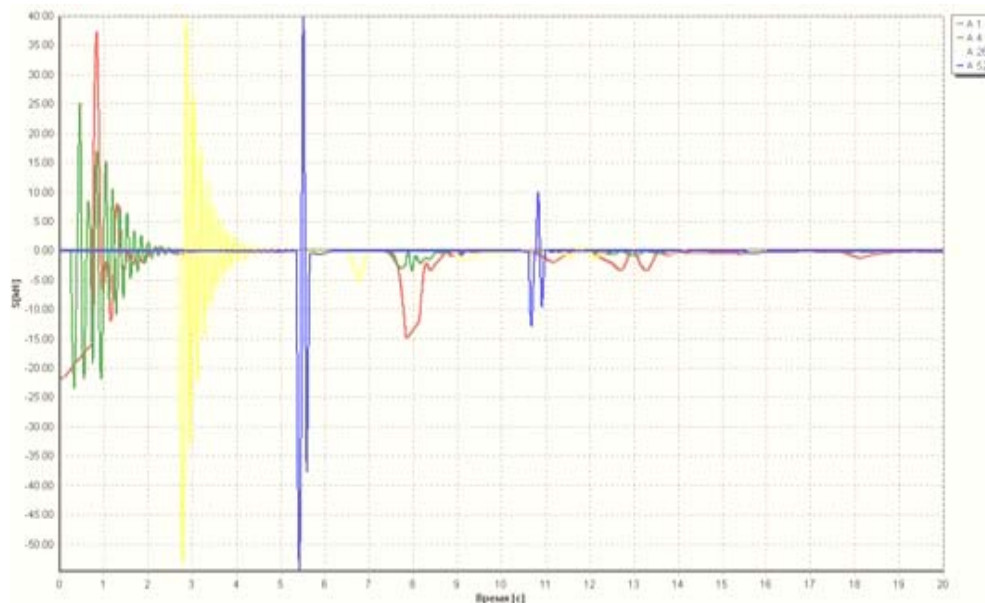


Fig. 8. Dependences of dynamic additives from motion time for the 1st, 4th, 26th and 52th vehicles at regenerative braking in prior extended train

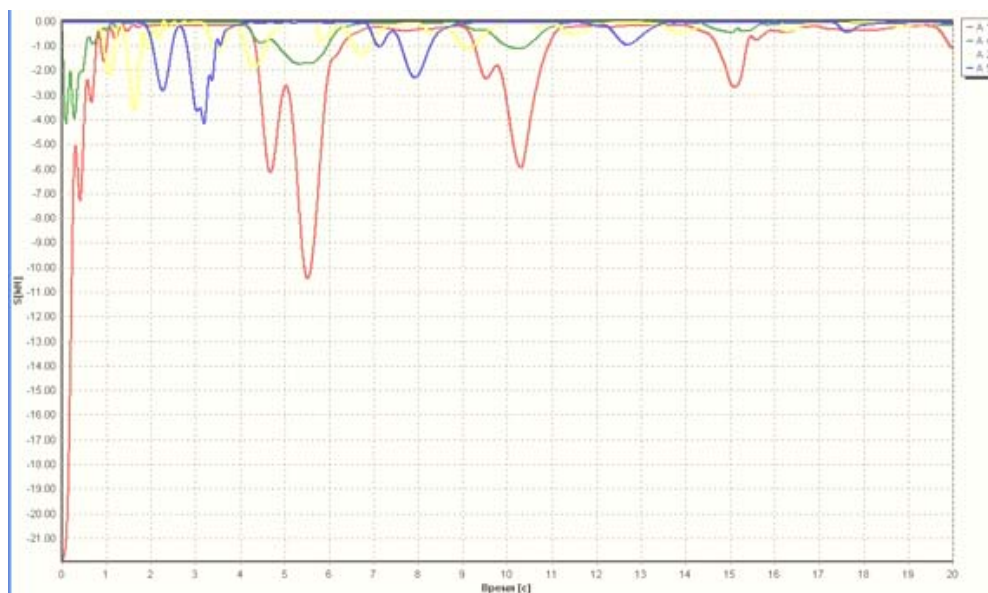


Fig. 9. Dependences of dynamic additives from motion time for the 1st, 4th, 26th and 52th vehicles at regenerative braking in pre-compacted train

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ



Fig. 10. Value change of the total dynamic additive (upper line) and the total braking force for the entire train, depending on the motion time at regenerative braking movement in prior extended train

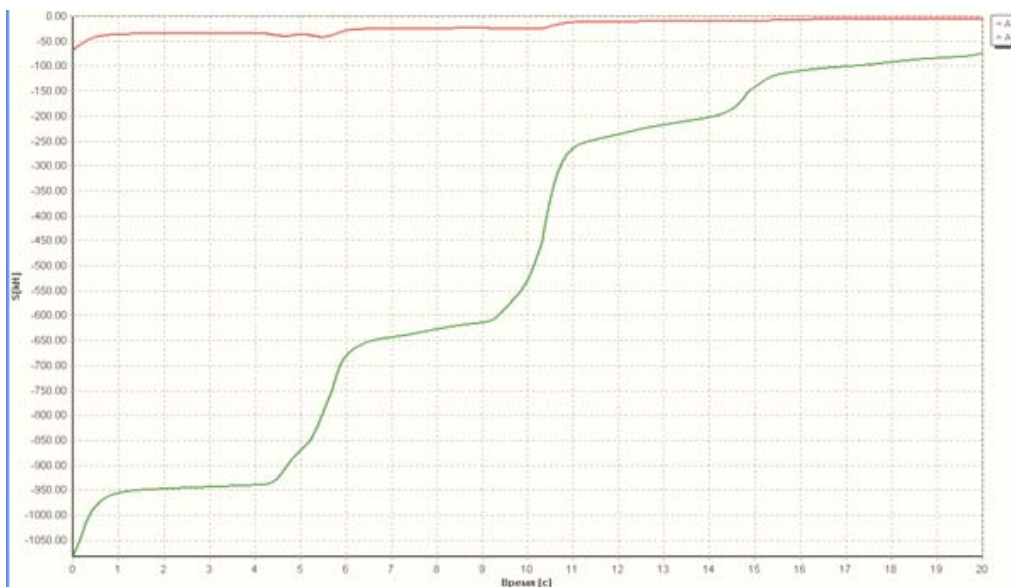


Fig. 11. Value change of the total dynamic additive (upper line) and the total braking force for the entire train, depending on the motion time at regenerative braking in pre-compacted train

At braking in the prior extended train the highest level of compressive longitudinal forces of shock behavior for examined sections of a train is about 1500 kN (Fig. 4) and the quasistatic ones - 950 kN (Fig. 5).

The highest level of longitudinal accelerations is 20 m/s^2 at shock transients (Fig. 6) and 2 m/s^2

(Fig. 7) – in quasistatic ones.

The maximum level of total value additives for the train takes the value of 55 kN at shock processes (Fig. 8) and 21 kN – at quasistatic ones (Fig. 9).

From the graphs shown in Fig. 8–11, one can conclude that the maximum value of dynamic additive is registered in that section of the train where

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

the greatest value of the longitudinal acceleration occurs. Therefore, at regenerative braking the greatest value of dynamic addition in a prior extended train 2.5 times more of that value which occurs than for pre-compacted train. At braking of the prior extended train the greatest value of dynamic additive occurs in the rear end section, and at braking of the pre-compacted train occurs in

front of the train.

The total values of the dynamic additives and braking forces (Fig. 10–11) in the train do not depend on the initial state of the gaps in the intercar links.

Similar dependences during pneumatic braking by the Ist stage with discharging of brake of 0.5 atm are presented in Fig. 12–19.

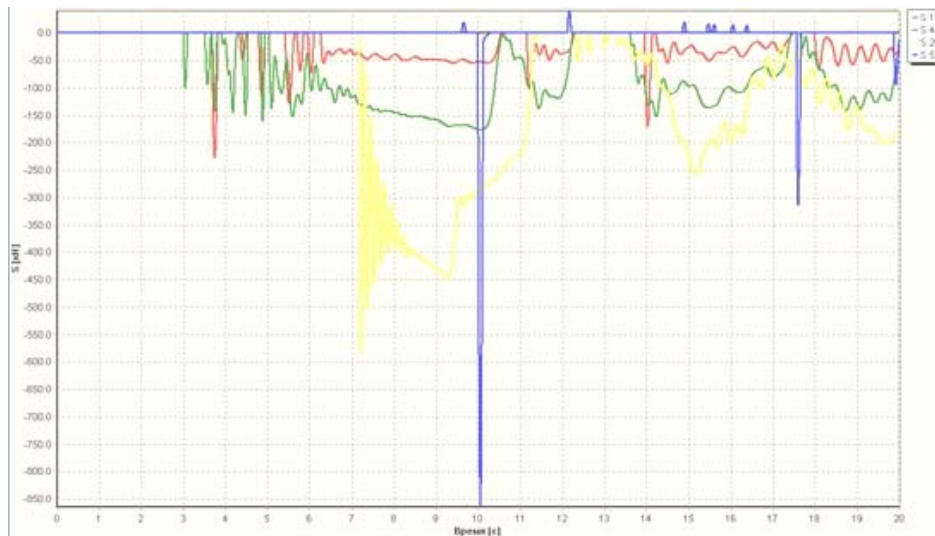


Fig. 12. Oscillograms of longitudinal forces after the first locomotive,
4th, 26th and 52nd vehicles at pneumatic
braking by the 1st stage in prior extended train

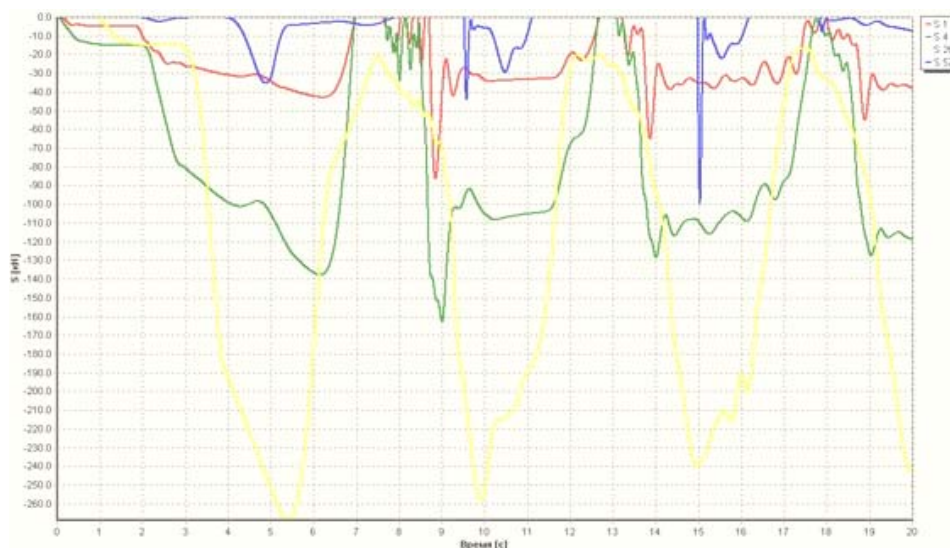


Fig. 13. Oscillograms of longitudinal forces after the first locomotive,
4th, 26th and 52nd vehicles at pneumatic braking
by the 1st stage of pre-compacted train

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

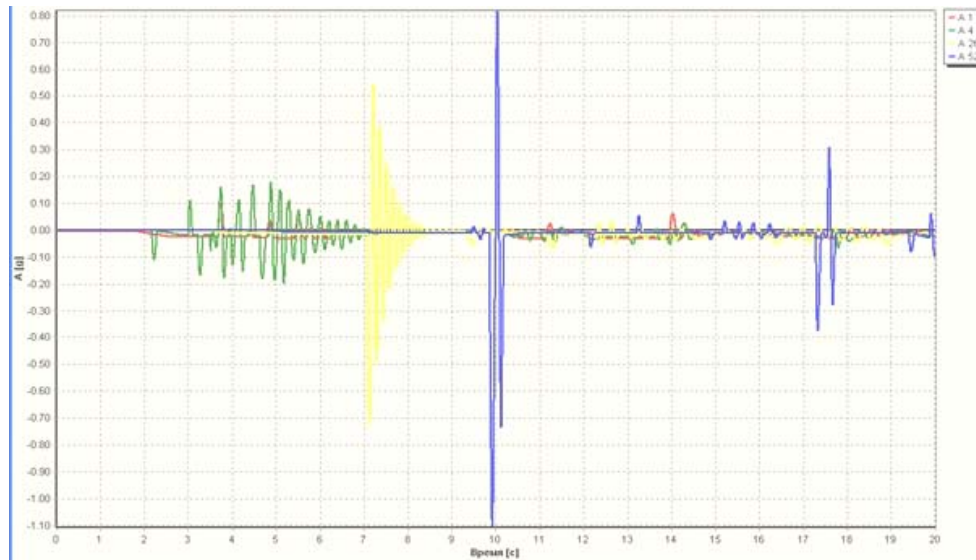


Fig. 14. Oscillograms of longitudinal accelerations of the first locomotive,
4th, 26th and 52nd vehicles at pneumatic braking
by the 1st stage in prior extended train

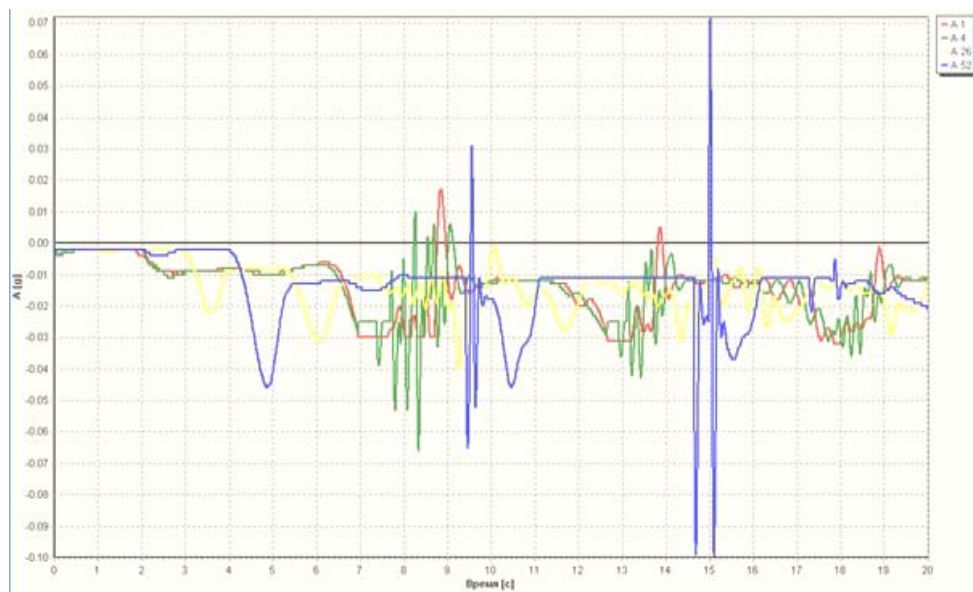


Fig. 15. Oscillograms of longitudinal accelerations of the first locomotive,
4th, 26th and 52nd vehicles at pneumatic braking
by the 1st stage in pre-compacted train

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

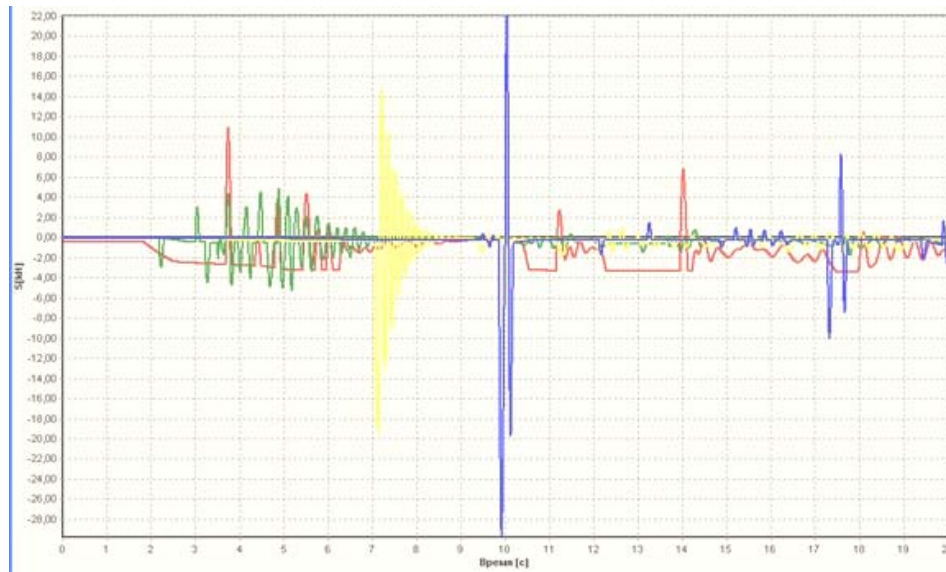


Fig. 16. Dependences of dynamic additives from motion time
for the 1st, 4th, 26th and 52nd vehicles
at pneumatic braking by the 1st stage in prior extended train

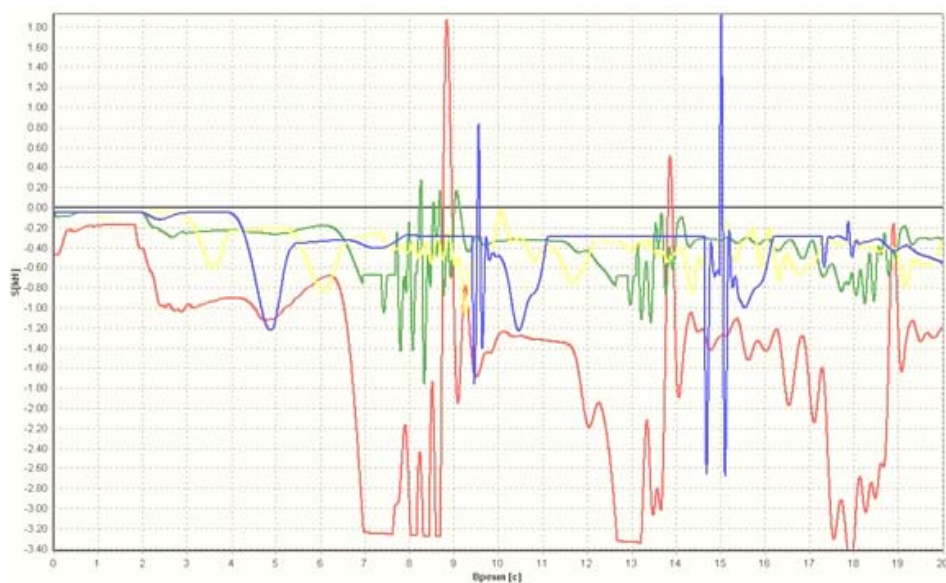


Fig. 17. Dependences of dynamic additives from motion time
for the 1st, 4th, 26th and 52nd vehicles
at pneumatic braking by the 1st stage in pre-compacted train

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

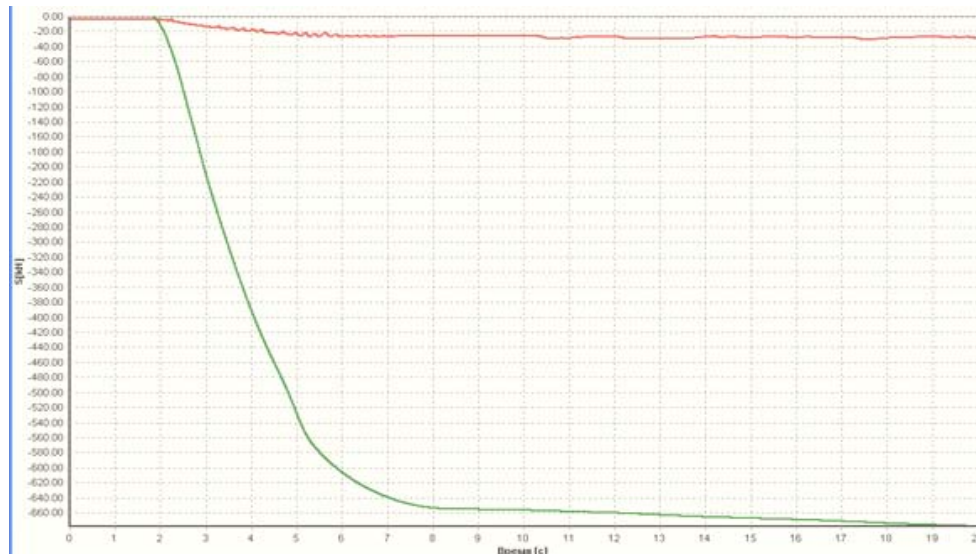


Fig. 18. Value change of the total dynamic additive (upper line) and the total braking force for the entire train, depending on the motion time at pneumatic braking by the 1st stage in prior extended train

As can be seen from the graphs shown in Fig. 12–17, oscillograms behavior of longitudinal forces and accelerations essentially depends on the initial state of gaps in the intercar links. At braking of the prior extended train the greatest value of dynamic additive occurs in the rear end section, as the greatest acceleration arises there. At braking of the pre-compacted train the greatest value of dynamic additive occurs in the front of the train, as in this case due to lack of shock loads, acceleration of

a locomotive substantially exceeds longitudinal acceleration of other vehicles.

Comparison of the results presented in Fig. 8–9 and 16–17, showed that the greatest value of the dynamic additive of the regenerative braking is almost 2 times higher than similar value, obtained during braking by the 1st stage of the prior extended train and almost 6 times higher at regenerative braking of the pre-compacted trains.

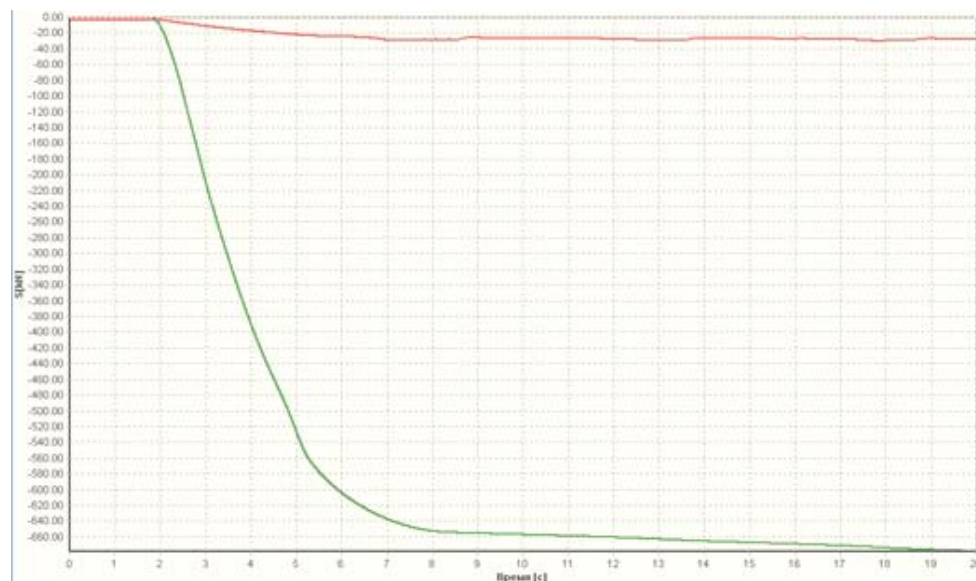


Fig. 19. Value change of the total dynamic additive (upper line) and the total braking force for the entire train, depending on the motion time at pneumatic braking by the 1st stage in the pre-compacted train

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

The highest total value of dynamic additive at braking by the 1st stage occurs in the rear end of the train regardless from the initial state of train set.

When comparing the results in Fig.10–11 and Fig. 18–19 it is clear that the greater value of total dynamic additive to longitudinal forces of interaction between a track and rolling stock for the entire train occurs during regenerative braking, and 2 times higher than similar value arising at pneumatic braking. It is evidence that the regenerative braking is more dangerous for track displacement.

It should be also noted that regardless of the braking type (regenerative or pneumatic) and initial state of gaps in intercar links, dynamic additive value was much less than arising braking forces. That is why the level of longitudinal forces arising in intercar links at the considered modes of movement has little effect on the track displacement.

Originality and practical value

The longitudinal loading of freight trains with regenerative braking and pneumatic one was investigated. The impact of initial state of the train and the different modes of braking on the dynamic additive to the longitudinal forces of interaction between a track and rolling stock was estimated. It may affect the assembled rails and sleepers. Obtained results can be used to select the rationale braking modes of freight trains, especially downhill length, from a position to prevent possible track displacement.

Conclusions

Obtained results show that the dynamic additive to longitudinal forces in the wheel and rail interaction depends on the occurring accelerations.

The total value of the dynamic additive was greater at the regenerative braking and does not depend on the initial state of a train set. The level of total dynamic additive in the train was much less than the level of resulting braking forces. Therefore, the level of longitudinal forces in intercar links has little effect on the track displacement.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Блохин, Е. П. Вычислительный комплекс для решения задач безопасности и устойчивости движения подвижного состава железных дорог / Е. П. Блохин, К. И. Железнов, Л. В. Урсуляк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 18. – С.113–114.
2. Блохин, Е. П. Динамика поезда / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин. – Москва : Транспорт, 1982. – 222 с.
3. Вериго, М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериго, А. Я. Коган. – Москва : Транспорт, 1986. – 558 с.
4. Гребенюк, П. Т. Динамика торможения грузовых поездов / П. Т. Гребенюк // Вестн. ВНИИЖТа. – 2002. – № 1. – с. 23–27.
5. Даніленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість / Е. І. Даніленко, В. В. Рибкін. – Київ : Транспорт України, 2006. – 168 с.
6. Желнин, Г. Г. Устойчивость рельсошпальной решетки сдвига при высоких скоростях движения / Г. Г. Желнин, А. А. Верхотин, Б. С. Шинкарев // Тр. ЦНИИ МПС. – Москва, 1978. – Вып. 592. – С. 106–114.
7. Коган, А. Я. Продольные силы в железнодорожном пути / А. Я. Коган // Тр. ЦНИИ МПС. – Москва, 1967. – Вып. 332. – С. 3–165.
8. Меньшикова, В. И. Динамические продольные силы и перемещения рельсов железнодорожного пути / В. И. Меньшикова // Тр. ЦНИИ МПС. – Москва, 1972. – Вып. 466. – С. 83–187.
9. О вождении длинносоставных поездов / Е. П. Блохин, Л. В. Урсуляк, К. И. Железнов, Я. Н. Романюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 30. – С. 48–55.
10. Расчеты и испытания тяжеловесных поездов / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин, Е. Л. Стамблер [и др.]. – Москва : Транспорт, 1986. – 264 с.
11. Esveld, C. Modern railway track / C. Esveld. – Zaltbommel. The Netherlands : MRT-Productions, 2001. – 632 с.
12. Mohammadi, S. Effects of the power unit location on in-train longitudinal forces during brake application. / S. Mohammadi, A. Nasr // Intern. J. of Vehicle Systems Modelling and Testing. – 2010. – № 5 (2–3). P. 176–196. doi: 10.1504/ijvsm.2010.037125.
13. Sun, Y. Q. A dynamic model for the vertical interaction of the railtrack and wagon system / Y. Q. Sun, M. Dhanasekar // Intern. J. of Solids and Structures. – 2002. – Vol. 39. – P. 1337–1359. doi: 10.1016/s0020-7683(01)00224-4.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

14. Tournay, H. Railwheel interaction from a track and vehicle design perspective / H. Tournay // Proc. of Intern. Heavy Haul Association's Conf. on wheelrail interaction (14.06-17.06.1999). – Moscow, 1999. – P. 54–55.
15. Zhao, X. Influence of locomotive wireless sync control technology on the longitudinal force of 20000 t heavy haul combined train / X. Zhao, C. Wang, D. Ma // China Railway Science. – 2008. – № 29 (3). – P. 78–83.

В. Л. ГОРОБЕЦЬ¹, Л. Г. МАСЛЕСВА², Л. В. УРСУЛЯК^{3*}, В. В. АРСОНОВ⁴

¹ГНДЛ ДМРС, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 776 72 44, факс+38 (056) 776 72 44, ел. пошта onildpps@gmail.com, ORCID 0000-0002-6537-7461

²Каф. «Теоретична механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 776 72 44, факс+38 (056) 776 72 44, ел. пошта onildpps@gmail.com, ORCID 0000-0002-5128-0095

^{3*}Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 776 72 44, факс+38 (056) 776 72 44, ел. пошта lyudmila.urs@yandex.ua, ORCID 0000-0001-5957-6926

⁴Страхова компанія ПАО «Тасо – гарантія», вул. Транспортна, 3, Одеса, Україна, 65039, тел. раб.+38 (048) 267 77 10, факс +38(048) 264 54 56, ел. пошта arsonov@list.ru, ORCID 0000-0002-6202-2657

ПРО ОЦІНКУ РІВНЯ ПОЗДОВЖНІХ СИЛ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА УГОН КОЛІЙ, ПРИ ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМАХ РУХУ ПОЇЗДА

Мета. В статті передбачається вивчити вплив перехідних режимів руху на угон колії для забезпечення безпеки руху вантажних поїздів. Для цього необхідно дослідити вплив поздовжньої динаміки поїзда на угон колії, оцінивши при цьому рівень продольних сил взаємодії колії та рухомого складу. **Методика.** Рівень поздовжніх сил, що впливають на угон шляху, оцінювався за допомогою математичного моделювання поздовжніх коливань поїзда при перехідних режимах руху, викликаних різними видами гальмування. При цьому передбачалось, що кожен екіпаж поїзда складається з кузова (тверде тіло) та колісних пар, сполучених із кузовом підшипниками ковзання (зв'язок непружний). Вважалося, що в процесі руху кожного екіпажу поїзда вертикальна площина його симетрії збігалася з вертикальною площиною симетрії рельсошпальної решітки. При моделюванні вважалося також, що в процесі поступального руху кузова екіпажу колеса роблять чисте кочення по рейці без прослизання щодо нього. **Результати.** У результаті розрахунків були отримані значення поздовжніх сил при різних видах гальмування (рекуперативних і пневматичних) у квазістатичних та ударних перехідних процесах. Для цього розглядався різний початковий стан зазорів у міжвагонних з'єднаннях до початку перехідного процесу. Оцінений також рівень динамічних добавок до поздовжніх сил взаємодії колеса та рейки, істотно залежних від прискорень екіпажів. **Наукова новизна.** Досліджено вплив перехідних режимів руху поїздів, викликаних гальмуванням, на рівень поздовжніх сил взаємодії колії та рухомого складу. Досліджена поздовжня навантаженість вантажних поїздів при рекуперативних та пневматичних гальмуваннях. Оцінено вплив початкового стану поїзда та різних режимів гальмувань на динамічну добавку до поздовжніх сил взаємодії колії й рухомого складу, яка може впливати на угон рельсошпальної решітки. **Практична значимість.** Отримані результати можуть бути використані для вибору раціональних режимів гальмування вантажних поїздів, особливо на затяжних спусках, із позицій запобігання можливого угону шляху.

Ключові слова: математичне моделювання; перехідні режими руху поїзда; гальмування пневматичне; гальмування рекуперативне; сили взаємодії колії та рухомого складу

В. Л. ГОРОБЕЦЬ¹, Л. Г. МАСЛЕЕВА², Л. В. УРСУЛЯК^{3*}, В. В. АРСОНОВ⁴

¹ОНИЛ ДППС, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 776 72 44, факс+38 (056) 776 72 44, эл. почта onildpps@gmail.com, ORCID 0000-0002-6537-7461

²Каф. «Теоретическая механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 776 72 44,
факс+38 (056) 776 72 44, эл. почта onildpps@gmail.com, ORCID 0000-0002-5128-0095

³*Каф. «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени
академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 776 72 44,
факс+38 (056) 776 72 44, эл. почта lyudmila.urs@yandex.ua, ORCID 0000-0001-5957-6926

⁴Страховая компания ЧАО «Гасо – гарантия», ул. Транспортная, 3, Одесса, Украина, 65039, тел. раб.+38 (048) 267 77 10,
факс +38(048) 264 54 56, эл. почта arsonov@list.ru, ORCID 0000-0002-6202-2657

ОБ ОЦЕНКЕ УРОВНЯ ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ, ВЛИЯЮЩИХ НА УГОН ПУТИ, ПРИ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА

Цель. В статье предполагается изучить влияние переходных режимов движения на угон пути для обеспечения безопасности движения грузовых поездов. Для этого необходимо исследовать влияние продольной динамики поезда на угон пути, оценив при этом уровень продольных сил взаимодействия пути и подвижного состава. **Методика.** Уровень продольных сил, влияющих на угон пути, оценивался с помощью математического моделирования продольных колебаний поезда при переходных режимах движения, вызванных различными режимами торможения. При этом полагалось, что каждый экипаж поезда состоит из кузова (твердое тело) и колесных пар, соединенных с кузовом подшипниками скольжения (связь неупругая). Считалось, что в процессе движения каждого экипажа поезда вертикальная плоскость его симметрии совпадала с вертикальной плоскостью симметрии рельсошпальной решетки. При моделировании полагалось также, что в процессе поступательного движения кузова экипажа колеса совершают чистое качение по рельсу без проскальзывания относительно него. **Результаты.** В результате расчетов были получены значения продольных сил при различных видах торможения (рекуперативных и пневматических) в квазистатических и ударных переходных процессах. Для этого рассматривалось различное начальное состояние зазоров в межвагонных соединениях к началу переходного процесса. Оценен также уровень динамических добавок к продольным силам взаимодействия колеса и рельса, существенно зависящих от ускорений экипажей. **Научная новизна.** Исследовано влияние переходных режимов движения поездов, вызванных торможением, на уровень продольных сил взаимодействия пути и подвижного состава. Исследована продольная нагруженность грузовых поездов при рекуперативных и пневматических торможениях. Оценено влияние начального состояния поезда и различных режимов торможений на динамическую добавку к продольным силам взаимодействия пути и подвижного состава, которая может влиять на угон рельсошпальной решетки. **Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы для выбора рациональных режимов торможения грузовых поездов, особенно на затяжных спусках, с позиций предотвращения возможного угона пути.

Ключевые слова: математическое моделирование; переходные режимы движения поезда; торможение пневматическое; торможение рекуперативное; силы взаимодействия пути и подвижного состава

REFERENCES

1. Blokhin Ye.P., Zheleznov K.I., Ursulyak L.V. Vychislitelnyy kompleks dlya resheniya zadach bezopasnosti i ustoychivosti dvizheniya podvizhnogo sostava zheleznikh dorog [Computing system for solving problems of security and stability of railway rolling stock]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 18, pp. 106-114.
2. Blokhin Ye.P., Manashkin L.A. *Dinamika poyezda* [Dynamics of a train]. Moscow, Transport Publ., 1982. 222 p.
3. Verigo M.F., Kogan A.Ya. *Vzaimodeystviye puti i podvizhnogo sostava* [Track and Rolling stock Interaction]. Moscow, Transport Publ., 1986. 558 p.
4. Grebenyuk P.T. Dinamika tormozheniya gruzovykh poyezdov [The braking dynamic of freight trains]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of All-Russian Research Institute of Railway Transport], 2002, no. 1, pp. 23-27.
5. Danilenko E.I., Rybkin V.V. *Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist i stiikist* [Terms of railway line calculations for strength and stability]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2006. 168 p.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

6. Zhelnin G.G., Verkhotin A.A., Shinkarev B.S. Ustoychivost relsoshpalnoy reshetki sdvigu pri vysokikh skorostyakh dvizheniya [Track panel stability of displacement at high speeds]. *Trudy Tsentralnogo nauchno issledovatel'skogo instituta Ministerstva putey soobshcheniya* [Proc. of Central Scientific Research Institute of the Railways Ministry]. Moscow, Transport Publ., 1978, issue 592, pp. 106-114.
7. Kogan A.Ya. Prodolnyye sily v zheleznodorozhnom puti [Longitudinal forces in the railway track]. *Trudy Tsentralnogo nauchno issledovatel'skogo instituta Ministerstva putey soobshcheniya* [Proc. of Central Scientific Research Institute of the Railways Ministry]. Moscow, Transport Publ., 1967, issue 332, 168 p.
8. Menshikova V.I. Dinamicheskiye prodolnyye sily i peremeshcheniya relsov zheleznodorozhnogo puti [Dynamic longitudinal force and rails moving of the railway track]. *Trudy Tsentralnogo nauchno issledovatel'skogo instituta Ministerstva putey soobshcheniya* [Proc. of Central Scientific Research Institute of the Railways Ministry]. Moscow, Transport Publ., 1972, issue 466, pp. 83-187.
9. Blokhin Ye.P., Ursulyak L.V., Zheleznov K.I., Romanyuk Ya.N. O vozhdenii dlinnosostavnykh poyezdov [About driving of long compound trains]. *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 30, pp. 48-56.
10. Blokhin Ye.P., Manashkin L.A., Stambler Ye.L. *Raschety i ispytaniya tyazhelovesnykh poyezdov* [Calculations and tests of heavy trains]. Moscow, Transport Publ., 1986. 264 p.
11. Esveld C. Modern railway track. Zaltbommel. The Netherlands, MRT-Productions, 2001. 632 p.
12. Mohammadi S., Nasr A. Effects of the power unit location on in-train longitudinal forces during brake application. *Intern. Journal of Vehicle Systems Modelling and Testing*, 2010, no. 5 (2-3), pp. 176-196. doi: 10.1504/ijvsmt.2010.037125.
13. Sun Y.Q., Dhanasekar M. A dynamic model for the vertical interaction of the railtrack and wagon system. *Intern. Journal of Solids and Structures*, 2002, vol. 39, pp. 1337-1359. doi: 10.1016/s0020-7683(01)00224-4.
14. Tournay H. Railwheel interaction from a track and vehicle design perspective. Proc. of Intern. Heavy Haul Association's Conf. on wheelrail interaction (14-17 June 1999). Moscow, 1999, pp. 54-55.
15. Zhao X., Wang C., Ma D. Influence of locomotive wireless sync control technology on the longitudinal force of 20000 t heavy haul combined train. *China Railway Science*, 2008, no. 29 (3), pp. 78-83.

Ph.D. N. Yu. Naumenko, Senior Researcher (Tech.) (Ukraine); Ph.D. O. M. Patlasov, Associate Professor, (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Received: Jan., 05.2015

Accepted: March, 19.2015

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 624.91-027.45

А. В. РАДКЕВИЧ^{1*}, В. Ф. ХУДЕНКО^{2*}, В. М. ГЛУЩЕНКО^{3*}

^{1*}Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 85, эл. почта KVP@DSST.gov.ua, ORCID 0000-0001-6325-8517

^{2*}Каф. «Управление проектами, здания и строительные материалы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 46, эл. почта valhood53@gmail.com, ORCID 0000-0002-6846-9601

^{3*}Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 85, эл. почта vira.glushenko.ua@gmail.com, ORCID 0000-0002-2608-9782

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОБЛЕМ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ КРОВЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Цель. В работе необходимо провести анализ существующих подходов к проектированию, устройству, реконструкции и капитальному ремонту кровельных систем зданий и сооружений для решения проблем их организационно-технологической надежности. **Методика.** Данное исследование базируется на методах аналогий, научного анализа и синтеза. **Результаты.** Проведен анализ инновационных технологий, а также новых строительных материалов для устройства кровельных систем. Выделены проблемы, связанные с их организационно-технологической надежностью. Обоснована актуальность решения данных проблем. Определена зависимость надежности выполненного устройства или ремонта кровельных систем от подобранной и детально проработанной технологии, а также организации выполнения работ в комплексе. Разделены все характеристики, влияющие на организационно-технологическую надежность кровельной системы, – на основные и второстепенные. Разработана концепция новой методики, учитывающей все составляющие кровельной системы в целом. Учтены требования нормативных документов Украины, а также Европы. Предложена схема организационно-технологической надежности кровельной системы с учетом факторов, формирующих надежность. Выделена острая необходимость в создании модели кровельной системы с учетом инновационных технологий и новейших кровельных материалов для выбора ее рационального варианта, отвечающего требованиям заказчика и нормативным документам, а также заданному уровню организационно-технологической надежности. **Научная новизна.** Впервые применено понятие «организационно-технологическая надежность» к кровельной системе. Предложено углубленное исследование этого понятия. Проанализирована зависимость надежности кровельной системы от всех ее составляющих в комплексе. Разработана концепция нового подхода к решению проблем кровельных систем. **Практическая значимость.** Результаты исследований могут применяться при анализе деятельности строительных организаций, занимающихся проектированием и устройством кровельных систем. Результаты исследования имеют практическую ценность в создании кровельных систем с заданной организационно-технологической надежностью.

Ключевые слова: покрытие; крыша; кровля; кровельный «пирог»; кровельная система; инновационные технологии устройства кровельной системы; организационно-технологическая надежность кровельной системы

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Введение

Насыщение строительного рынка инновационными технологиями и новыми материалами показывает тенденцию использования понятия долговечности кровельного материала в качестве основного критерия надежности кровельной системы. Стоит отметить, что в этом случае полагаются на срок службы кровельного материала и говорят о надежности кровельной системы в целом, что влечет за собой упущение многих других не менее важных факторов, влияющих на качество кровельной системы. Нельзя отождествлять долговечность кровельного материала и надежность кровельной системы, так как надежность является комплексной характеристикой и состоит из нескольких свойств, касающихся практически всех ее компонентов. Поэтому проблема надежности кровельных систем зданий и сооружений и способы ее определения являются актуальными, особенно в период становления и развития строительной отрасли Украины.

Цель

Целью данной работы является анализ существующих подходов к проектированию, устройству, реконструкции и капитальному ремонту кровельных систем для решения проблем их организационно-технологической надежности и разработка концепции новой методики, которая будет учитывать все составляющие кровельной системы.

Методика

Данное исследование базируется на методах аналогий, научного анализа и синтеза.

Результаты

Для того чтобы расставить все акценты, необходимо начать с определений, которые будут использованы в данной статье, так как четкость терминологии лежит в основе постановки и решения научных и практических задач.

Во многих источниках один и тот же термин используют по-разному. Так, например, термином «кровля» называют всю верхнюю конструкцию здания, а определение «покрытие» присваивают гидроизоляционному материалу. Также на-

блюдается отождествление понятий надежности и долговечности [1].

Покрытие здания или крыша – верхняя конструкция здания, которая служит для защиты от атмосферных осадков, дождевой и талой воды. Другой основной ее функцией является теплоизоляционная – сохранение тепла и защита от перегрева [6].

Существует более актуальное определение верхней конструкции здания – кровельная система – это комплексная конструкция («пирог»), состоящая из несущей конструкции, основания, пароизоляции, утеплителя, гидроизоляции, причем последовательность расположения, количество слоев, их материал, толщина и расстояние между ними может меняться.

Кровля – материал верхнего слоя кровельного «пирога».

Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств.

Работоспособное состояние – состояние объекта, которое характеризуется его способностью выполнять все необходимые функции.

Предельное состояние – состояние объекта, за которым его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно [4].

Количественной оценкой надежности является вероятность выполнения объектом своих функций [10].

Организационно-технологическая надежность (ОТН) строительного производства – способность организационных, технологических и экономических решений сохранять в заданных пределах свои запроектированные качества в условиях воздействия возмущающихся факторов, присущих строительству как весьма сложной вероятностной системе [2].

На схеме (рис. 1) отображены факторы, формирующие надежность кровельной системы.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО



Рис. 1. Факторы, формирующие надежность кровельной системы

Fig. 1. Factors, forming the reliability of the roofing system

Организационно-технологическая надежность кровельной системы с учетом факторов, которые ее формируют, изображена на схеме (рис. 2).

ОТН кровельной системы заключается во взаимосвязи разработки проекта с заданной надежностью, технологией ее устройства или ремонта кровельной системы, организацией реализации этого проекта в реальном времени, контролем качества на всех этапах процесса, правильной эксплуатация.

Экономически важным аспектом ОТН является существенное уменьшение затрат на эксплуатационные расходы и максимальное соответствие заданному проектом уровню надежности системы.

Самым ответственным моментом в процессе выработки организационно-технологических решений есть постановка задачи. Существующий опыт свидетельствует, что в мире тратятся колоссальные средства на решение неправильно поставленных задач [9].

Для достижения цели, а именно обеспечения ОТН кровельной системы, эта система должна соответствовать предъявленным требованиям, которые должны быть четко сформулированы и отражены в нормативных документах.

На сегодняшний день действующий на территории Украины нормативный документ ДБН В.2.6-97 «Конструкції будинків і споруд. Покриття будинків і споруд» [3] не отражает современных тенденций на рынке кровельных

doi 10.15802/stp2015/42182

услуг. Поэтому процессы проектирования и производства работ по устройству кровельных систем регулируются исключительно рекомендациями или инструкциями по монтажу кровельного «пирога», разработанными производителями кровельных материалов.

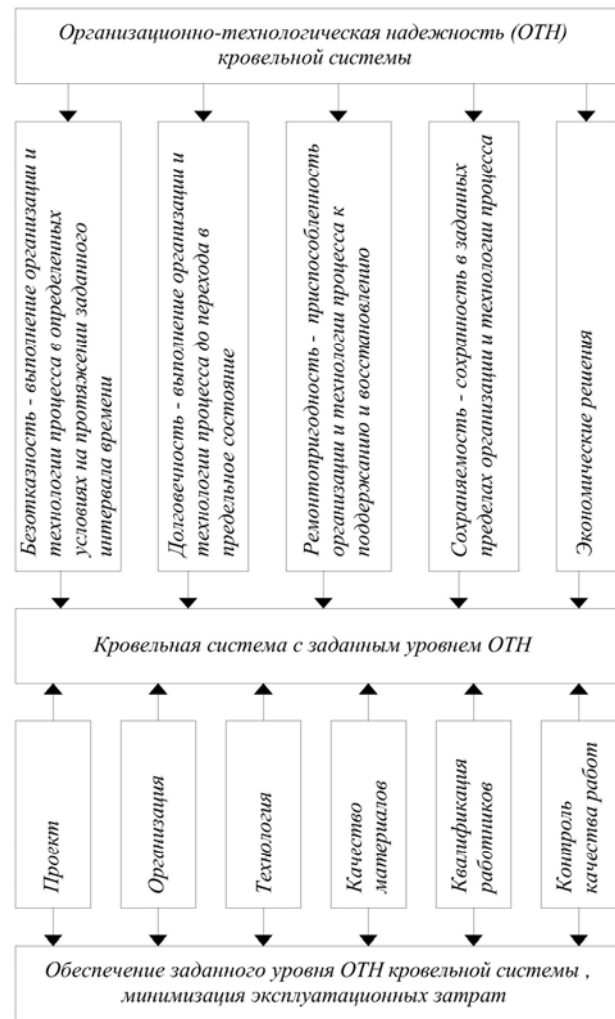


Рис. 2. Организационно-технологическая надежность кровельной системы

Fig. 2. Organizational and technological reliability of the roofing system

В связи с этим, при рассмотрении кровельных систем, сталкиваемся с такими проблемами: отсутствие опыта применения инновационных технологий по устройству систем с новыми кровельными материалами; отсутствие взаимосвязи технологии и организации производства работ, как факторов, влияющих на надежность систем; некомпетентность исполнителей; отсутствие нормативной базы для воз-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

возможности контроля качества кровельных работ; нерегулируемая конкуренция на рынке строительных услуг; непредусмотренные проектом дополнительные расходы при выполнении работ; необоснованная экономия при проектировании и устройстве кровельных систем, которая приводит к значительному повышению эксплуатационных расходов в будущем; поддержание кровельной системы в работоспособном состоянии.

В комплекте строительных Еврокодов базовым считается документ «EN 1990 Eurocode – Basis of structural design», в котором определены принципы и требования по обеспечению безопасности, эксплуатационной пригодности и долговечности конструкций. Он дает также руководящие указания относительно надежности, которые относятся к безопасности, эксплуатационной пригодности и долговечности [13].

Исходя из вышеизложенного, разработка и введение в действие новой нормативной документации должна стать первоочередной задачей отрасли строительного производства Украины [12].

Многие исследователи занимались проблемами кровельных систем. Большинство работ посвящены ремонту отдельных компонентов кровельных систем, а вот проблеме проектирования и устройства кровельной системы как «пирога» уделено недостаточно внимания. Касательно ОТН кровельной системы на сегодняшний день наработок нет.

С. Д. Сокова обратила внимание на целесообразность разделения кровли на малонадежные элементы – воронки, ендовы, примыкания, деформационные швы, более надежные элементы – участки рядового покрытия. В этом случае каждый элемент рассматривается как взаимосвязанный с соседним элементом. Существенными отличиями предлагаемой модели от остальных автор называет разные площади элементов, отличающиеся условиями на разных участках, отличие последствий дефектов в зависимости от условий участков [11].

В предлагаемой модели надежность системы ограничивается характеристиками расположенного сверху кровельного материала. Однако, к примеру, в инверсионных кровельных системах кровельный (гидроизоляционный) материал располагается под несколькими другими слоями и является защищенным от ряда

воздействий, таких как температура, атмосферные осадки, ультрафиолет, химические воздействия [1, 13, 14–16]. Очевидно, что изменение размещения гидроизоляционного слоя меняет надежность кровельной системы в целом. В то же время, рассматривать каждый элемент кровли как взаимосвязь с соседними элементами только по горизонтали нельзя, так как он связан с другими элементами и по вертикали. Схема влияния конструктивно-технологических факторов на ОТН кровельной системы отображена на рис. 3.

На сегодняшний день широко исследован вариант размещения гидроизоляционного материала в верхнем слое кровельной системы. Все производители кровельных материалов гарантируют срок службы кровельной системы, основываясь на долговечности гидроизоляционного материала. Но ведь проблема надежности кровельной системы лежит гораздо глубже. Сложность решения этой проблемы заключается во взаимосвязи всех слоев кровельного «пирога» не только свойствами материалов, но и их технологическими, организационными и экономическими характеристиками.

Важность надежности гидроизоляционного слоя однозначно выше надежности всех остальных слоев. Тем не менее, нельзя недооценивать влияние других слоев на надежность кровельной системы в целом.

Каждая система или отдельные элементы конструкции имеют определенное назначение и эксплуатируются в четко определенных условиях [8].

В процессе эксплуатации кровельная система, как и всякий другой элемент здания, кроме физического износа накапливает и моральный износ, характеризующий степень несоответствия ее основных параметров, определяющих эксплуатационные свойства кровельной системы, современным требованиям [5].

Существующее разнообразие кровельных систем [7] позволяет определить, что их надежность не может быть обеспечена только надежным гидроизоляционным слоем. Надежность кровельной системы нужно рассматривать в целом, что означает рассмотрение влияния каждого из слоев, а также влияния различных элементов кровельной системы (примыкания, ендовы, воронки и т. д.) с их организационно-технологическими решениями.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

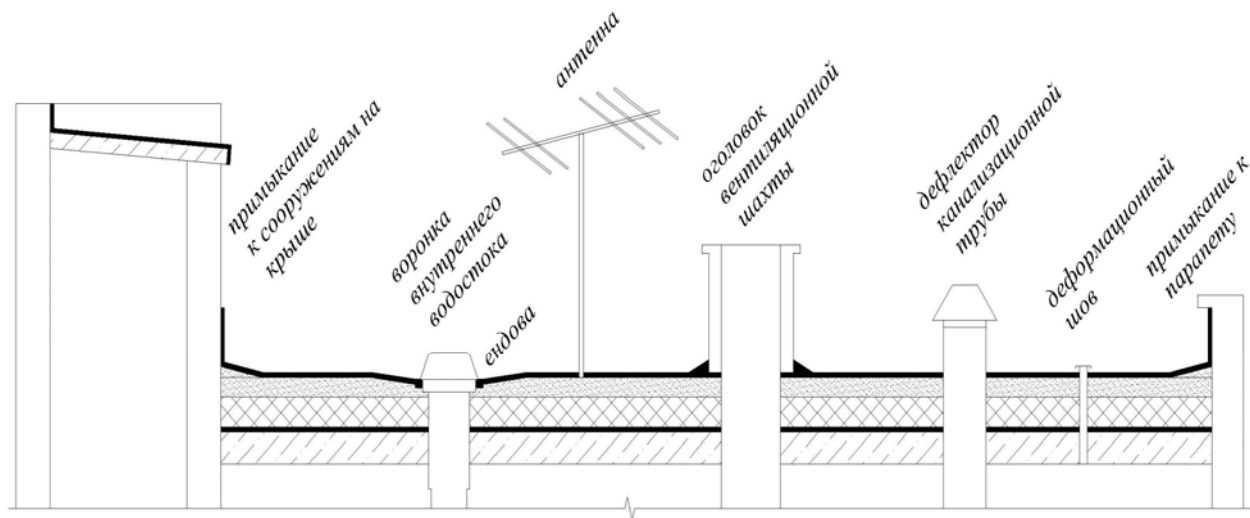


Рис. 3. Учет влияния конструктивно-технологических факторов на организационно-технологическую надежность кровельных систем

Fig. 3. Influence accounting of constructional and technological factors on organizational and technological reliability of the roofing system

Все факторы, формирующие ОТН кровельных систем разделим на основные и второстепенные. А именно: к основным отнесем гидроизоляционный и теплоизоляционный материалы; ко второстепенным – основание, пароизоляцию, стяжку и т.д.

Необходимо проранжировать все слои кровельной системы и определить влияние каждого из слоев на надежность системы в целом, обеспечив требуемые сроки выполнения кровельных работ и их стоимость, то есть выбор рационального варианта.

Научная новизна и практическая значимость

В работе впервые применено понятие организационно-технологической надежности к кровельной системе. Предложено углубленное исследование этого понятия. Рассмотрены существующие принципы проектирования кровельных систем, применения инновационных технологий и новых материалов, а также обоснования выбора того или иного варианта. Проанализирована зависимость надежности кровельной системы от всех ее составляющих в комплексе. Разработана концепция нового подхода к решению проблем кровельных систем. Обоснована зависимость ОТН выше ука-

занных систем от факторов, формирующих надежность и разделение этих факторов на основные и второстепенные.

Выводы

В работе был проведен анализ существующих подходов к проектированию, устройству, реконструкции и капитальному ремонту кровельных систем, который показал острую необходимость углубленного изучения организационно-технологической надежности кровельных систем. Установлено понятие ОТН кровельной системы, как системы, состоящей из различных слоев, взаимосвязанных между собой, а также различных участков кровельной системы с их организационно-технологическими и экономическими решениями.

Обоснована необходимость комплексного учета всех факторов, рассматривая кровельную систему в целом, с учетом влияния каждого слоя друг на друга и воздействий на «пирог». Актуальным вопросом является определение того, насколько каждый из слоев влияет на надежность системы, учитывая различные варианты расположения слоев в кровельной системе. Выделены основные и второстепенные факторы, формирующие надежность. Разработана

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

концепция новой методики, которая учитывает технологические, организационные и экономические решения для обеспечения ОТН надежности кровельной системы. Это позволит проектировщикам кровельных организаций обоснованно выбирать тот или иной рациональный вариант кровельной системы, который будет максимально отвечать требованиям заказчика, обеспечивая ее надежность с гарантированным сроком службы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Бондарь, В. А. Анализ долговечности и надежности покрытий зданий и сооружений / В. А. Бондарь, З. П. Рошупкина // Гірничий вісн., – 2014. – Вип. 97. – С. 297–301.
- Гусаков, А. А. Организационно-технологическая надежность строительного производства / А. А. Гусаков. – Москва : Стройиздат, 1974. – 256 с.
- ДБН В.2.6-97. Конструкції будинків і споруд. Покриття будинків і споруд. – Введ. 2007-08-13. – Київ : Держстандарт України, 1980. – 44 с.
- ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. – Введ. 1996-01-01. – Київ : Держстандарт України, 1994. – 92 с.
- Жолобов, А. Л. Новый подход в проектировании, устройстве, реконструкции и капитальном ремонте кровель / А. Л. Жолобов // Перспективы развития строит. комплекса : материалы IV междунар. науч.-практ. конф. (22.10–26.10.2012) / Астрах. инж.-строит. ин-т. – Астрахань, 2012. – С. 34–38.
- Крыша [Электронный ресурс] // Википедия. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/крыша>. – Загл. с экрана. – Проверено 23.03.2015.
- Менейлюк, О. І. Сучасні технології в будівництві : підруч. для студ. вищ. навч. закладів / О. І. Менейлюк. – 3-є вид., доп. і перероб. – Київ : Освіта України, 2011. – 534 с.
- Пішнінко, О. М. Аналіз сучасних підходів до організаційно-технологічної надійності транспортних споруд / О. М. Пішнінко, А. В. Радкевич, І. В. Сальнікова // 36. наук. пр. ДонІЗТ. – Донецьк, 2012. – Вип. 32. – С. 205–211.
- Радкевич, А. В. Організаційно-технологічні аспекти формування програм результативності будівельних підприємств / А. В. Радкевич, Т. В. Ткач // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 42. – С. 234–241.
- Савчинский, Б. В. Некоторые аспекты надежности железобетонных пролетных строений автодорожных мостов / Б. В. Савчинский // Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 3. – С. 163–166.
- Сокова, С. Д. Расчет надежности и долговечности кровель / С. Д. Сокова // Строит. материалы и конструкции. – 2010. – № 3. – С. 633–638.
- Фаренюк, Є. Г. Проблема нормативної бази покрівельних робіт України, можливі шляхи їх рішення / Є. Г. Фаренюк, П. О. Павлюк // Буд. конструкції. – 2014. – № 80. – С. 3–8.
- Cash, C. G. The relative durability of low-slope roofing / C. G. Cash // Proc. of the Fourth Intern. Symposium on Roofing Technology. – Arlington : Massachusetts, 1997. – P. 119–124.
- EN 1990 (2002) (English) : Eurocode – Basis of structural design [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, 2004/18/EC] [Електронний ресурс]. – 116 p. – Режим доступа: <https://law.resource.org/pub/eur/ibr/en.1990.2002.pdf>. – Загл. с экрана. – Проверено : 24.03.2015.
- Martins, N. Dynamic monitoring of a stadium suspension roof: Wind and temperature influence on modal parameters and structural response / N. Martins, E. Caetano // Engineering Structures. – 2012. – № 59. – P. 80–94. doi: 10.1016/j.engstruct.2013.10.021.
- Pisello, A. L. Influence of human behavior on cool roof effect for summer cooling [Електронний ресурс] / A. L. Pisello, C. Piselli, F. Cotana // Building and Environment. – 2015. – Vol. 88. – P. 116–128. doi: 10.1016/j.buildenv.2014.09.025.

А. В. РАДКЕВИЧ^{1*}, В. Ф. ХУДЕНКО^{2*}, В. М. ГЛУЩЕНКО^{3*}

^{1*}Каф. «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 85, ел. пошта KVP@DSST.gov.ua, ORCID 0000-0001-6325-8517

^{2*}Каф. «Управління проектами, будівлі та будівельні матеріали», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 46, ел. пошта valhood53@gmail.com, ORCID 0000-0002-6846-9601

^{3*}Каф. «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 85, ел. пошта vira.glushenko.ua@gmail.com, ORCID 0000-0002-2608-9782

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРОБЛЕМ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ПОКРІВЕЛЬНИХ СИСТЕМ

Мета. В роботі необхідно провести аналіз існуючих підходів до проектування, влаштування, реконструкції та капітального ремонту покрівельних систем будівель і споруд для вирішення проблем їх організаційно-технологічної надійності. **Методика.** Дане дослідження базується на методах аналогій, наукового аналізу та синтезу. **Результати.** Проведений аналіз інноваційних технологій, а також нових будівельних матеріалів для влаштування покрівельних систем. Виділені проблеми, пов'язані з їх організаційно-технологічною надійністю. Обґрунтована актуальність рішення даних проблем. Визначена залежність надійності виконаного влаштування чи ремонту покрівельних систем від підбраної та детально проробленої технології, а також організації виконання робіт у комплексі. Розділені всі характеристики, які впливають на організаційно-технологічну надійність покрівельної системи, – на основні та другорядні. Розроблена концепція нової методики, яка враховує всі складники покрівельної системи в цілому. Враховані вимоги нормативних документів України, а також Європи. Запропонована схема організаційно-технологічної надійності покрівельної системи з врахуванням факторів, які формують надійність. Виділена гостра необхідність у створенні моделі покрівельної системи з урахуванням інноваційних технологій та новітніх покрівельних матеріалів для вибору її раціонального варіанту, який відповідатиме вимогам замовника та нормативним документам, а також заданому рівню організаційно-технологічної надійності. **Наукова новизна.** Вперше застосовано поняття «організаційно-технологічна надійність» до покрівельної системи. Запропоновано поглиблене дослідження цього поняття. Проаналізована залежність надійності покрівельної системи від усіх її складових в комплексі. Розроблена концепція нового підходу до вирішення проблем покрівельних систем. **Практична значимість.** Результати досліджень можуть застосовуватись при аналізі діяльності будівельних організацій, які займаються проектуванням та влаштуванням покрівельних систем. Результати досліджень мають практичну цінність у створенні покрівельних систем із заданою організаційно-технологічною надійністю.

Ключові слова: покриття; дах; покрівля; покрівельний «пиріг»; покрівельна система; інноваційні технології влаштування покрівельної системи; організаційно-технологічна надійність покрівельної системи

A. V. RADKEYCH^{1*}, V. F. KHUDENKO^{2*}, V. M. GLUSHENKO^{3*}

^{1*}Dep. «Construction Operations and Geodesy», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 85, e-mail KVP@DSST.gov.ua, ORCID 0000-0001-6325-8517

^{2*}Dep. «Projects Management, Buildings and Engineering Materials», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 46, e-mail valhood53@gmail.com, ORCID 0000-0002-6846-9601

^{3*}Dep. «Construction Operations and Geodesy», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 85, e-mail vira.glushenko.ua@gmail.com, ORCID 0000-0002-2608-9782

EXISTING PROBLEMS ANALYZIS OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL RELIABILITY OF ROOFING SYSTEMS

Purpose. The article aims at analysis of existing approaches towards engineering, construction, reconstruction and major repair of buildings roofing systems and constructions for solving the matters regarding organizational and technological reliability. **Methodology.** The survey is based on methods of analogy, scientific analysis and synthesis. **Findings.** The analysis of innovative technologies as well as new construction materials for roofing has been carried out. Problems regarding their organizational and technological reliability have been specified. Relevance of the given problems has been grounded. Correlation between reliability of constructed facility or roofing repair from thoroughly chosen technology and also construction process organization in general was determined. All the specifications influencing roofing organizational and technological reliability have been divided into primary and secondary. New methodic conception including all the constituents of roofing in the whole has been worked out. Ukrainian and European specification documents have been taking into account. Roofing organizational and technological reliability scheme considering the factors that form reliability has been suggested. An urgent need for creation of roofing model taking into consideration the innovative technologies and latest roofing materials for choosing its rational variant has been emerged. It has to meet both customers and specification documents requirements and also desired level of organizational and technological reliability. **Originality.** For the first time the notion of «organizational and technological reliability» has been applied to roofing. Fundamental investigation of this notion has been suggested. Roofing reliability dependence on all its components as a whole has been analyzed.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

New approach towards roofing problems solving conception has been developed. **Practical value.** The survey results may be applied at roofing engineering and construction organizations activity analysis. Investigation results have practical value in roofing with desired reliability engineering.

Keywords: roofing; roof; roof deck; roof «pie»; roofing system; innovative technologies of roofing construction; roofing organizational and technological reliability

REFERENCE LIST

1. Bondar V.A., Roschupkina Z.P. Analiz dolgovechnosti i nadezhnosti pokrytiy zdaniy i sooruzheniy [Durability and reliability analysis of roofing the buildings and constructions]. *Hirnychiy visnyk – Mining Bulletin*, 2014, issue 97, pp. 297-301.
2. Gusakov A.A. *Organizatsionno-tehnologicheskaya nadezhnost stroitel'nogo proizvodstva* [Organizational and technological reliability of building production]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1974. 256 p.
3. *DBN V.2.6-97 Konstruktsii budynkiv i sporud. Pokryttia budynkiv i sporud* [Buildings and houses construction. Roofing of buildings and constructions]. Kyiv, Derzhstandart Ukrainy Publ., 1980. 44 p.
4. DSTU 2860-94 *Nadiinist tekhniki. Terminy ta vyznachennia* [Technics Reliability. Terms and Definitions]. Kyiv, Derzhstandart Ukrainy Publ., 1994. 92 p.
5. Zholobov A. L. Novyy podkhod v proyektirovanii, ustroystve, rekonstruktsii i kapitalnom remonte krovel [New approach in roofing engineering, construction, reconstruction and major repair]. *Materialy IV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Perspektivy razvitiya stroitel'nogo kompleksa (22.10-26.10.2012)»* [Proc. of IVth Int. Sci. and Practical Conf. «Perspectives of Building Sector Development»]. Astrakhan, 2012, pp. 34-38.
6. *Krysha. Vikipediya* [Roofing. Wikipedia]. Available at: <http://ru.wikipedia.org/wiki/крыша> (Accessed 23 March 2015).
7. Meneiliuk O.I. *Suchasni tekhnologii v budivnytstvi* [Modern Technologies in Construction]. Kyiv, Osvita Ukrainy Publ., 2011. 534 p.
8. Pshinko O.M., Radkevych A.V., Salnikova I.V. Analiz suchasnykh pidkhodiv do orhanizatsiino-tehnologichnoi nadiinosti transportnykh sporud [Modern approaches analyze to organizational and technological reliability of transport constructions]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu* [Proc. of Donetsk Institute of Railway Transport], 2012, issue 32, pp. 205-211.
9. Radkevych A.V., Tkach T.V. Orhanizatsiino-tehnologichni aspekty formuvannia program rezul'tatyvnosti budivelnnykh pidpriemstv [Organizational and technological aspects of the program of the construction companies]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnogo universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 234-241.
10. Savchinskiy B.V. Nekotoryye aspekty nadezhnosti zhelezobetonnykh proletrykh stroyeniy avtodorozhnykh mostov [Some reliability aspects of reinforced concrete girder]. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka* [Bridges and tunnels: theory, research, practice], 2012, issue 3, pp. 163-166.
11. Sokova C.D. Raschet nadezhnosti i dolgovechnosti krovel [Reliability and longevity calculation of roofing]. *Stroitel'nyye materialy i konstruktsii – Building Materials and Constructions*, 2010, no. 3, pp. 633-638.
12. Farenjuk Ye.H., Pavliuk P.O. Problema normatyvnoi bazy pokryvelnykh robot Ukrainy, mozhyvi shliakhy yikh rishennia [Problem of roofing regulations in Ukraine, possible ways of their solution]. *Budivelni sporudy – Building Constructions*, 2014, no. 80, pp. 3-8.
13. Cash C.G. The relative durability of low-slope roofing. Proc. of the Fourth Int. Symp. on Roofing Technology. Arlington, Massachusetts, 1997, pp. 119-124 p.
14. EN 1990 (2002) (English): Eurocode – Basis of structural design [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, 2004/18/EC]. 116 p. Available at: <https://law.resource.org/pub/eur/ibr/en.1990.2002.pdf> (Accessed 24 March 2015).
15. Martins N., Caetano E. Dynamic monitoring of a stadium suspension roof: Wind and temperature influence on modal parameters and structural response. *Engineering Structures*, 2012, no. 59, pp. 80-94. doi: 10.1016/j.engstruct.2013.10.021.
16. Pisello A.L., Piselli C., Cotana F. Influence of human behavior on cool roof effect for summer cooling. *Building and Environment*, 2014, vol. 88, pp. 116-128. doi: 10.1016/j.buildenv.2014.09.025.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. Р. Млодецкий (Украина); д.т.н., проф. Н. И. Нетесой (Украина)

Поступила в редколлегию 16.01.2015

Принята к печати 22.03.2015

ЗМІСТ

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

С. В. МЯМЛІН, І. В. АГІЄНКО

РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ ФОРМУВАННЯ НАУКОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ
ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА..... 7

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

С. Ю. БУРЯК, В. І. ГАВРИЛЮК, О. О. ГОЛОЛОВОВА, М. О. КОВРИГІН

ДИСТАНЦІЙНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ЗА ЧАСОВОЮ
ХАРАКТЕРИСТИКОЮ ТА СПЕКТРАЛЬНОЮ СКЛАДОВОЮ КРИВОЇ СТРУМУ 39

М. ПАУЛІК

УПРАВЛІННЯ КОМАНДНИМИ СИСТЕМАМИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ
НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНУ БЕЗПЕКУ ЗАЛІЗНИЦІ 58

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Т. І. РУСАКОВА

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ СИТУАЦІЇ ПРИ АВАРІЯХ НА ДОРОГАХ МІСТА 65

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

О. І. ХАРЧЕНКО

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ КАПІТАЛОВКЛАДЕНЬ
ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ДИРЕКЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ 77

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Т. В. БУТЬКО, О. М. ГОРОБЧЕНКО

МОДЕЛЮВАННЯ КЕРУЮЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ МАШІНІСТА ЛОКОМОТИВА
ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ ГРАФІВ 88

В. Л. ГОРОБЕЦЬ, С. І. МУЗИКІНА, М. І. МУЗИКІН

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ОЦІНКИ
ПРОФІЛЮ КОЛІЇ НА ПРОПУСКНУ СПРОМОЖНІСТЬ ЗАЛІЗНИЦЬ 97

Д. М. КОЗАЧЕНКО, М. І. БЕРЕЗОВИЙ, В. О. БАЛАНОВ, В. В. ЖУРАВЕЛЬ

РЕЗЕРВИ ЧАСУ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ ВАНТАЖНИХ ПОЇЗДІВ ЗА РОЗКЛАДОМ 105

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

О. Ю. БАЛІЙЧУК

ТЕРМІН СЛУЖБИ ДОПОМІЖНИХ МАШИН ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ ЗМІННОГО СТРУМУ 116

В. В. МИХАЙЛЕНКО, С. А. АБДУЛАСЬ, В. В. ЕРНСТ, В. В. ЧУПАК

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З П'ЯТИЗОННИМ
РЕГУЛЮВАННЯМ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ 129

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Д. М. КУРГАН

ОСОБЛИВОСТІ СПРИЙНЯТТЯ НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТАМИ
ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ПРИ ВИСОКИХ ШВИДКОСТЯХ РУХУ 136

М. П. НАСТЕЧИК, І. О. БОНДАРЕНКО, Р. В. МАРКУЛЬ

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ В ЕЛЕМЕНТАХ ВУЗЛА ПРОМІЖНОГО
РЕЙКОВОГО СКРІПЛЕННЯ ТИПУ КПП-5 ПІД ДІЄЮ РУХОМОГО СКЛАДУ 146

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Л. І. ВАКУЛЕНКО

ЗАЛЕЖНІСТЬ РОЗМІРУ ЗЕРНА АУСТЕНИТУ В СТАЛІ ЗАЛІЗНИЧНОГО КОЛЕСА
ВІД ПАРАМЕТРІВ ГАРЯЧОЇ ДЕФОРМАЦІЇ 157

Л. К. ПОЛІЩУК, Р. Д. ІСКОВИЧ-ЛОТОЦЬКИЙ, О. О. КОВАЛЬ

ЗМІНА МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА КОРОЗІЙНЕ РОЗТРИСКУВАННЯ
ПІД НАПРУЖЕННЯМ МАТЕРІАЛУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЇ СТРИЛИ БУРТОУКЛАДНИКА 168

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

А. О. ЛОВСЬКА, О. В. ФОМІН, А. М. ОКороков, О. М. МЕЛЬНИЧУК ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ КОНТЕЙНЕРА-ЦИСТЕРНИ УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВ	180
--	-----

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

В. М. БОГОМАЗ, К. Ц. ГЛАВАЦЬКИЙ, О. А. МАЗУР ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРОЕКТНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ЕЛЕВАТОРУ НА ПОТУЖНІСТЬ ЙОГО ПРИВОДУ	189
--	-----

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

В. Л. ГОРОБЕЦЬ, Л. Г. МАСЛЄВА, Л. В. УРСУЛЯК, В. В. АРСОНОВ ПРО ОЦІНКУ РІВНЯ ПОЗДОВЖНІХ СИЛ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА УГОН КОЛІЇ, ПРИ ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМАХ РУХУ ПОЇЗДА	207
--	-----

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

А. В. РАДКЕВИЧ, В. Ф. ХУДЕНКО, В. М. ГЛУЩЕНКО АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРОБЛЕМ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ПОКРІВЕЛЬНИХ СИСТЕМ	222
---	-----

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА

С. В. МЯМЛИН, И. В. АГИЕНКО РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ НАУЧНОГО ПОТЕНЦИАЛА ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА В. ЛАЗАРЯНА	7
--	---

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

С. Ю. БУРЯК, В. И. ГАВРИЛЮК, О. А. ГОЛОЛОВА, М. А. КОВРИГИН ДИСТАНЦИОННОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ ПО ВРЕМЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ И СПЕКТРАЛЬНОМУ СОСТАВУ ТОКОВОЙ КРИВОЙ	39
М. ПАУЛИК УПРАВЛЕНИЕ КОМАНДНЫМИ СИСТЕМАМИ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИМИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ	58

ЭКОЛОГИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

Т. И. РУСАКОВА ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПРИ АВАРИЯХ НА ДОРОГАХ ГОРОДА	65
--	----

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

О. И. ХАРЧЕНКО ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	77
---	----

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА

Т. В. БУТЬКО, А. Н. ГОРОБЧЕНКО МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МАШИНИСТА ЛОКОМОТИВА С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ ГРАФОВ	88
В. Л. ГОРОБЕЦ, С. И. МУЗЫКИНА, М. И. МУЗЫКИН ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ПРОФИЛЯ ПУТИ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	97
Д. Н. КОЗАЧЕНКО, Н. И. БЕРЕЗОВЫЙ, В. О. БАЛАНОВ, В. В. ЖУРАВЕЛЬ РЕЗЕРВЫ ВРЕМЕНИ, КОТОРЫЕ ДОЛЖНЫ ПРЕДУСМАТРИВАТЬСЯ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ ПО РАСПИСАНИЮ	105

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

А. Ю. БАЛИЙЧУК СРОК СЛУЖБЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАШИН ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	116
В. В. МИХАЙЛЕНКО, С. А. АБДУЛАЕВ, В. В. ЭРНСТ, В. В. ЧУПАК МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ПЯТИЗОННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ	129

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ

Д. Н. КУРГАН ОСОБЕННОСТИ ВОСПРИЯТИЯ НАГРУЗКИ ЭЛЕМЕНТАМИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ ПРИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ ДВИЖЕНИЯ	136
М. П. НАСТЕЧИК, И. А. БОНДАРЕНКО, Р. В. МАРКУЛЬ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ЭЛЕМЕНТАХ УЗЛА СКРЕПЛЕНИЯ ТИПА КПП-5 ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	146

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Л. И. ВАКУЛЕНКО ЗАВИСИМОСТЬ РАЗМЕРА ЗЕРНА АУСТЕНИТА В СТАЛИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОЛЕСА ОТ ПАРАМЕТРОВ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ	157
Л. К. ПОЛИЩУК, Р. Д. ИСКОВИЧ-ЛОТОЦКИЙ, О. А. КОВАЛЬ ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И КОРРОЗИОННОЕ РАСТРЕСКИВАНИЕ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ МАТЕРИАЛА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ СТРЕЛЫ БУРТОУКЛАДЧИКА	168

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТА И ЭКОНОМИКИ

А. А. ЛОВСКАЯ, О. В. ФОМИН, А. М. ОКороков, О. М. МЕЛЬНИЧУК ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КОНТЕЙНЕРА-ЦИСТЕРНЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ	180
---	-----

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ВИДЫ ТРАНСПОРТА. МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

В. Н. БОГОМАЗ, К. Ц. ГЛАВАЦКИЙ, О. А. МАЗУР ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕВАТОРА НА ПАРАМЕТРЫ ЕГО ПРИВОДА	189
--	-----

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ТЯГА ПОЕЗДОВ

В. Л. ГОРОБЕЦ, Л. Г. МАСЛЕЕВА, Л. В. УРСУЛЯК, В. В. АРСОНОВ ОБ ОЦЕНКЕ УРОВНЯ ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ, ВЛИЯЮЩИХ НА УГОН ПУТИ, ПРИ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА	207
---	-----

ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

А. В. РАДКЕВИЧ, В. Ф. ХУДЕНКО, В. М. ГЛУЩЕНКО АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОБЛЕМ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ КРОВЕЛЬНЫХ СИСТЕМ	222
--	-----

CONTENTS

SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS

S. V. MYAMLIN, I. V. AHIENKO

RETROSPECTIVE ANALYSIS OF THE SCIENTIFIC POTENTIAL FORMATION OF DNIPROPETROVSK NATIONAL UNIVERSITY OF RAILWAY TRANSPORT NAMED AFTER ACADEMICIAN V. LAZARYAN	7
---	---

TRANSPORT AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

S. YU. BURYAK, V. I. GAVRILYUK, O. O. HOLOBOVA, M. O. KOVRYHIN

REMOTE DIAGNOSTICS OF TURNOUTS STATE ON TIMING AND SPECTRAL COMPOSITION IN CURRENT CURVE	39
---	----

M. PAWLIK

CONTROL COMMAND SYSTEMS IMPACT ON THE RAILWAY OPERATIONAL SAFETY	58
--	----

TRANSPORT ECOLOGY

T. I. RUSAKOVA

EVALUATION OF ECOLOGICAL SITUATION IN CASE OF ACCIDENTS ON TOWNSHIP ROADS	65
---	----

ECONOMICS AND MANAGEMENT

O. I. KHARCHENKO

DETERMINATION OF THE OPTIMAL CAPITAL INVESTMENTS TO ENSURE THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE RAILWAY	77
--	----

OPERATION AND REPAIR OF TRANSPORT MEANS

T. V. BUTKO, O. M. HOROBCHENKO

SIMULATION OF DRIVER'S LOCOMOTIVE-HANDLING ACTIVITY USING THE THEORY OF FUZZY GRAPHS	88
---	----

V. L. GOROBETS, S. I. MUZYKINA, M. I. MUZYKIN

STUDY OF OPERATIONAL PARAMETERS OF TRACK PROFILE ESTIMATION ON THE BANDWIDTH OF THE RAILWAYS	97
---	----

D. M. KOZACHENKO, M. I. BEREZOVYI, V. O. BALANOV, V. V. ZHURAVEL

TIME RESERVES DURING THE ORGANISATION OF FREIGHT TRAIN MOVEMENT ON SCHEDULE	105
--	-----

ELECTRIC TRANSPORT

O. YU. BALICHUK

LIFETIME OF AUXILIARY MACHINES OF AC ELECTRIC TRAINS	116
--	-----

V. V. MIKHAILENKO, S. A. ABDULAIEV, V. V. ERNST, V. V. CHUPAK

MATHEMATICAL MODEL OF SEMICONDUCTOR CONVERTER WITH FIVE-ZONE REGULATION OF THE OUTPUT VOLTAGE AND ELECTROMECHANICAL LOAD	129
---	-----

RAILWAY TRACK

D. M. KURHAN

FEATURES OF PERCEPTION OF LOADING ELEMENTS OF THE RAILWAY TRACK AT HIGH SPEEDS OF THE MOVEMENT	136
---	-----

N. P. NASTECHIK, I. A. BONDARENKO, R. V. MARCUL

INVESTIGATION OF STRESS STATE IN THE ELEMENTS OF RAIL FASTENINGS, TYPE KIII-5 UNDER THE INFLUENCE OF ROLLING STOCK	146
---	-----

MATERIAL SCIENCE

L. I. VAKULENKO

DEPENDENCE OF GRAIN SIZE OF AUSTENITE STEEL OF RAILWAY WHEEL FROM PARAMETERS OF HOT DEFORMATION	157
--	-----

L. K. POLISHCHUK, R. D. ISKOVYCH-LOTOTSKYI, O. A. KOVAL

CHANGE IN THE MECHANICAL PROPERTIES AND STRESS CORROSION CRACKING UNDER MATERIAL OF METALWARE TENSION OF A CLAMP-FORMING MACHINE ARROW	168
---	-----

TRANSPORT AND ECONOMIC TASKS MODELING

A. O. LOVSKA, O. V. FOMIN, A. M. OKOROKOV, O. M. MELNYCHUK RESEARCH OF A TANK-CONTAINER STRENGTH OF IMPROVED CONSTRUCTION USING THE COMPUTER SIMULATION OF OPERATING CONDITIONS.....	180
---	-----

NON-TRADITIONAL TRANSPORT MODES. MACHINES AND MECHANISMS

V. M. BOHOMAZ, K. TS. HLAVATSKYI, O. A. MAZUR RESEARCH OF INFLUENCING OF PROJECT DISCRIPTIONS OF ELEVATOR ON PARAMETERS OF ITS DRIVE.....	189
--	-----

ROLLING STOCK AND TRAIN TRACTION

V. L. HOROBETS, L. H. MASLEIEVA, L. V. URSULIAK, V. V. ARSONOV ABOUT THE EVALUATION OF THE LONGITUDINAL FORCES LEVEL EFFECTING THE TRACK DISPLACEMENT AT TRANSIENT MODES OF TRAIN MOVEMENT	207
---	-----

TRANSPORT CONSTRUCTION

A. V. RADKEYVCH, V. F. KHUDENKO, V. M. GLUSHENKO EXISTING PROBLEMS ANALYZIS OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL RELIABILITY OF ROOFING SYSTEMS	222
---	-----

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). Для набору формул використовується MathType 5.

Наукова стаття повинна відповідати вимогам п. 3 Постанови ВАК України № 7-05/1 від 15.01.2003 року.

Матеріали рецензуються членами редакційної колегії журналу 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 сформувати всі матеріали в п'яти файлах:

- **Перший** – із текстом статті та анотацій з ключовими словами. Назва файлу – прізвище та ініціали автора (першого співавтора) латинськими літерами, наприклад: Ivanov_II_statia.doc.
- **Другий** – з розширеними відомостями про автора/авторів (прізвище, ім'я, по батькові; посада; науковий ступінь; учене звання; місце роботи або навчання; адреса електронної пошти; номери контактних телефонів). Назва файлу – Ivanov_II_vidomosti.doc.
- **Третій** – рецензія (відсканована). Назва файлу – Ivanov_II_recenziia.jpg.
- **Четвертий** – Експертний висновок (відсканований, складається у вільній формі). Назва файлу – Ivanov_II_vysnovok.jpg.
- **П'ятий** – Ліцензійний договір (відсканований). Назва файлу – Ivanov_II_dogovir.jpg. Текст договору: <http://library.diit.edu.ua/HTMLs/scientists/Vumogu/license.doc>.

2. Для друкованої інформації. До редакції надаються особисто або надсилаються поштою такі матеріали: 1) два друкованих примірники рукопису з підписами всіх співавторів на останньому аркуші роботи; 2) оригінал Ліцензійного договору з підписами всіх співавторів; 3) оригінал експертного висновку; 4) рекомендація до друку за підписом відповідального редактора розділу (для співробітників ДНУЗТ).

Відповідальність за зміст статті, правильність, точність і коректність цитування, посилань та перекладу покладається на авторів.

Остаточне рішення щодо публікації ухвалює редакційна колегія журналу.

Статті, відхилені редакційною колегією, повертаються авторам для доопрацювання.

Шановні автори, запрошуємо до співробітництва!

З питань опублікування звертайтеся до редакції журналу за адресою:

Науково-технічна бібліотека (ауд. 166),
 Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
 вул. Лазаряна, 2,
 м. Дніпропетровськ,
 Україна,
 49010
 e-mail: visnik@diit.edu.ua
 Адреса сайту журналу: <http://stp.diit.edu.ua/>

З питань придбання примірників журналу телефонуйте за номером (056) 776 90 59 Грідасова А. В.



Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна веде підготовку докторантів та аспірантів за рахунок коштів Державного бюджету України – за державним замовленням – за такими спеціальностями:

ДОКТОРАНТУРА

№	Спеціальність	Шифр
1	Теоретичні основи інформатики та кібернетики	01.05.01
2	Управління проектами і програмами	05.13.22
3	Залізнична колія	05.22.06
4	Рухомий склад залізниць і тяга поїздів	05.22.07
5	Електротранспорт	05.22.09
6	Експлуатація та ремонт засобів транспорту	05.22.20
7	Будівельні конструкції, будівлі та споруди	05.23.01
8	Будівельні матеріали та вироби	05.23.05

На підставі угод, що укладаються з докторантом і керівником вищого навчального закладу, до докторантури приймаються громадяни України, кандидати наук, що мають наукові досягнення в обраній галузі.

Строк навчання 3 роки.

Вступники до докторантури подають:

- заяву на ім'я ректора,
- копію першої сторінки паспорта,
- особистий листок з обліку кадрів з фотокарткою, який засвідчено відділом кадрів за місцем основної роботи,
- витяг з трудової книжки,
- довідку з бухгалтерії про заробітну платню,
- засвідчену копію диплома про закінчення вищого навчального закладу із зазначенням одержаної кваліфікації спеціаліста,
- копію диплома кандидата наук,
- копію атестата доцента, с.н.с. за їх наявності,
- розгорнутий план докторської дисертації,
- список опублікованих наукових праць та винаходів,
- медичну довідку про стан здоров'я за формою № 286-у,
- ідентифікаційний код,
- одну фотокартку розміром 3х4.

АСПІРАНТУРА

№	Спеціальність	Шифр
1	Фізика твердого тіла	01.04.07
2	Теоретичні основи інформатики та кібернетики	01.05.01
3	Математичне моделювання та обчислювальні методи	01.05.02
4	Неорганічна хімія	02.00.01
5	Управління проектами і програмами	05.13.22
6	Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика	05.14.06
7	Залізнична колія	05.22.06
8	Рухомий склад залізниць і тяга поїздів	05.22.07
9	Електротранспорт	05.22.09
10	Експлуатація та ремонт засобів транспорту	05.22.20
11	Основи і фундаменти	05.23.02
12	Будівельні конструкції, будівлі та споруди	05.23.01
13	Будівельні матеріали та вироби	05.23.05
14	Технологія та організація промислового та цивільного будівництва	05.23.08
15	Економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності)	08.00.04
16	Історія філософії	09.00.05
17	Екологічна безпека	21.06.01

На підставі угод, що укладаються з аспірантом і керівником вищого навчального закладу, до аспірантури приймаються громадяни України, які мають вищу освіту і кваліфікацію спеціаліста.

Строк навчання в аспірантурі з відривом від виробництва – 3 роки, без відриву від виробництва – 4 роки.

Особи, допущені до вступних іспитів у аспірантуру, складають три іспити за програмою вищого навчального закладу:

- спеціальну дисципліну,
- філософію,
- іноземну мову.

За консультаціями звертатися на відповідні кафедри університету.

Особи, що вступають до аспірантури, подають:

- заяву на ім'я ректора,
- письмовий висновок передбачуваного наукового керівника про можливість навчання в аспірантурі,
- рекомендацію вченої ради вищого навчального закладу до вступу в аспірантуру (для випускників поточного року),
- копію першої сторінки паспорта,
- особистий листок з обліку кадрів з фотокарткою, який засвідчено відділом кадрів за місцем основної роботи,
- витяг з трудової книжки,
- довідку про заробітну платню,
- засвідчену копію диплома про закінчення вищого навчального закладу,
- посвідчення про складання кандидатських іспитів (за їх наявності),
- список опублікованих наукових праць та винаходів або реферат з обраної наукової спеціальності з рецензією передбачуваного наукового керівника,
- медичну довідку про стан здоров'я за формою № 286-у,
- ідентифікаційний код,
- одну фотокартку розміром 3×4.

Прийом документів до докторантури та аспірантури з 01.09 по 30.09 щорічно.

Вступні іспити до аспірантури з 10.10 по 30.10 щорічно.

Початок занять з 01.12 щорічно.

За інформацією звертатися:

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту,
вул. Лазаряна, 2,
м. Дніпропетровськ,
Україна,
49010.

Тел. : (056) 373-15-44 – ректор, проф. Пшінько Олександр Миколайович, приймальня;

(056) 373-15-29 – проректор з наукової роботи, проф. Мямлін Сергій Віталійович;

(056) 373-15-63 – завідувача аспірантурою та докторантурою Лахнова Ірина Анатоліївна,
(кімн. 320).

Інформація про спеціалізовані вчені ради університету

В університеті працює три спеціалізовані вчені ради із захисту докторських та кандидатських дисертацій за спеціальностями:

- Д 08.820.01 – залізнична колія (05.22.06) та електротранспорт (05.22.09); 05.22.12 – промисловий транспорт.

- Д08.820.02 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів (05.22.07) і експлуатація та ремонт засобів транспорту (05.22.20); транспортні системи (05.22.01);

- К08.820.03 – економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності).

Для нотаток

Наукове видання

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

№ 2 (56) 2015

(українською, російською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск – А. І. Миргородська

Комп'ютерне верстання – Л. А. Кобулія

Літературна обробка – О. М. Врублевська

Формат 60×84¹/₈. Ум. друк. арк. 27,90. Тираж 300 пр. Зам. № 284.

**Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

Адреса редакції, видавця:

вул. Лазаряна, 2, кім. 267, м. Дніпропетровськ, 49010, Україна

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.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)**

№ 2 (56) 2015

(на украинском, русском и английском языках)

Ответственный за выпуск – А. И. Миргородская

Компьютерная верстка – Л. А. Кобулия

Литературная обработка – О. М. Врублевская

Формат 60×84¹/₈. Ус. печат. лист. 27,90. Тираж 300 экз. Зак. № 284.

**Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна**

Адрес редакции, издателя:

ул. Лазаряна, 2, ком. 267, г. Днепропетровск, 49010, Украина

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.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. 2 (56) 2015

(in Ukrainian, Russian and English languages)

Responsible for issue – A. I. Myrhorodska

Computer makeup – L. A. Kobuliya

Redaction – O. M. Vrublevska

Format 60×84¹/₈. Conventional printed sheet 27,90. Circulation 300. Order no. 284.

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

Address of editor and editorial office

Lazaryan St., 2, r. 267, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

Tel.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diiit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Address of small offset printing office

Lazaryan St., 2, r. 1201, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

Tel.: +38 (056) 47-19-66, Fax: +38 (056) 47-19-83



СУЧАСНІ ЗАКЛАДИ ОСВІТИ - 2015

Шоста Міжнародна виставка

CERTIFICATE

якості наукових публікацій
УДОСТОЄНИЙ

**Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна**

Міністерство освіти і науки України



Міністр

С. Квіт

Національна академія
педагогічних наук України



Президент

В. Кремень

Асоціація користувачів
Української науково-освітньої
телекомунікаційної мережі «Уран»

Голова Ради

Ю. Якименко



9 772307 348000



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

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2015. 2(56). 1-238