



ISSN 2307-3489 (Print)

ISSN 2307-6666 (Online)



НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

1(55)

.. 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

№ 1 (55) 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); Микульські Є. (Сілезький технологічний університет, Республіка Польща); Сладковські А. (Сілезька політехніка, Республіка Польща); Стржелецькі 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).

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) та постановою президії ВАК України № 1-05/2 від 10.03.2010 р. (економічні науки).

Журнал зареєстровано в міжнародних каталогах періодичних видань Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat, наукометричних системах Google Scholar, Polish Scholarly Bibliography, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI. Друкується за рішенням вченої ради університету від 16.02.2015 р., протокол № 7

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

Адреса засновника 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

№ 1 (55) 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); Микольски Е. (Силезская политехника, Республика Польша); Сладковски А. (Силезская политехника, Республика Польша); Стржелецки Р. (Гданьская морская академия, Республика Польша); Титова Т. С. (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация); Худзикович А. (Варшавский политехнический университет, Республика Польша).

Журнал
зарегистрирован Государственной регистрационной службой Министерства юстиции Украины.
Свидетельство о регистрации КВ № 19609-9409ПР от 29.12.2012 г.
Издание внесено в Перечень научных специализированных изданий Украины приказом Министерства образования и науки Украины 29.12.2014 г. № 1528 (технические науки) и постановлением президиума ВАК Украины № 1-05/2 от 10.03.2010 г. (экономические науки).
Журнал зарегистрирован в международных каталогах периодических изданий Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat, наукометрических системах Google Scholar, Polish Scholarly Bibliography, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI.
Печатается по решению ученого совета университета от 16.02.2015 г., протокол № 7

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

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

Издание публикуется с 1936 г.:

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

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

NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU

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

(SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS

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

Scientific journal

No. 1 (55) 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); Mikulski J. (Silesian University of Technology, Republic of Poland); Sladkowski A. (Silesian University of Technology, Republic of Poland); Strzelecki R. (Gdynia Maritime Academy, 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 г. no. 1528 (technical sciences) and Resolution of Presidium of HAC (Higher Attestation Commission) of Ukraine no. 1-05/2 from 10.03.2010 г. (economic sciences).
 Journal is registered in the International Catalogue of periodicals Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat, research and metric systems Google Scholar, Polish Scholarly Bibliography, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI.
 Published according to the Academic Council decision of the University from 16.02.2015, Protocol no. 7

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

Address of Founder 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 347.776:001

С. В. МЯМЛИН^{1*}

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

НЕКОМПЕТЕНТНОСТЬ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ – ТОРМОЗ ПРОГРЕССА, ИЛИ О РЕЙДЕРСТВЕ В СФЕРЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ УСЛУГ

Цель. В работе необходимо провести анализ предпосылок возникновения недобросовестной конкуренции на рынке научно-исследовательских услуг для предотвращения рейдерства в науке. **Методика.** При проведении данного исследования использованы методы научного анализа и синтеза, метод аналогий, метод экспертных оценок. **Результаты.** Рассмотрены возможные методы неконкурентной борьбы при выполнении научно-исследовательских работ. Обоснована актуальность данной проблемы. Доказано что, поэтому проблема возникновения предпосылок для появления некомпетентности на рынке научно-исследовательских услуг и задачи по её предупреждению и минимизации пагубных последствий для развития науки и техники являются актуальными, особенно в период становления и тем более реформирования ведущих отраслей экономики Украины. Проанализированы предпосылки возникновения и условия существования некомпетентности в научной деятельности. Классифицированы основные способы рейдерства и приведено их обоснование. **Научная новизна.** Предложено исследование явления недобросовестной конкуренции в области научно-исследовательских услуг. Проанализированы методы и средства конкуренции между научными организациями и отдельными учеными в некоторых областях знания. Впервые вводится и раскрывается понятие «рейдерство» в интеллектуальной сфере. **Практическая значимость.** Результаты исследований могут быть использованы при анализе деятельности научных и инженерных организаций, которые выполняют различные исследования, для оценки достоверности и легитимности полученных результатов, а также для предупреждения рейдерства в науке. Результаты исследования имеют практическую ценность для государственных и частных организаций при определении компетентных исполнителей на проведение научно-исследовательских услуг, в том числе экспертиз. Особенно это касается экспертиз, связанных с оценкой материальных потерь или недополученного дохода, когда непредвзятость и независимость этой оценки является гарантией получения достоверного и объективного результата.

Ключевые слова: некомпетентность; рейдерство; научно-исследовательские услуги; национальная безопасность; совершенствование законодательства

Введение

Во все времена, а особенно в последнее время, некоторые организации (или их отдельные представители), имеющие отношение к выполнению научно-исследовательских работ, вместо того, чтобы полученными достижениями подтверждать свою компетентность и тем

самым занимать достойное место в общем ряду научных организаций, просто используют «хорошо отработанные» в экономике схемы устранения прямых конкурентов, дискредитируя их деятельность «заказными» псевдонаучными экспертизами с участием некомпетентных исполнителей; либо просто безнаказанно присва-

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ивают результаты научных исследований других ученых и организаций. Поэтому проблема возникновения предпосылок для появления некомпетентности на рынке научно-исследовательских услуг и задачи по ее предупреждению и минимизации пагубных последствий для развития науки и техники являются актуальными, особенно в период становления и тем более реформирования ведущих отраслей экономики Украины.

Цель

В работе проанализированы предпосылки возникновения недобросовестной конкуренции на рынке научно-исследовательских услуг с целью предотвращения рейдерства в науке.

Методика

При проведении данного исследования использованы методы научного анализа и синтеза, метод аналогий, метод экспертных оценок.

Результаты

Постараемся дать ответ на вопрос: чем же вызвано появление на рынке научно-исследовательских услуг некомпетентных организаций?

Для этого немного обратимся к истории, а также приведем трактовку некоторых терминов, которые будут использованы в данном исследовании. Возможно, это и покажется банальным, но без четкого понимания основных терминов дальнейшие рассуждения теряют всяческое значение.

Итак, наука, в классическом определении, это «сфера человеческой деятельности, функция которой – выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности; одна из форм общественного сознания; включает как деятельность по получению нового знания, так и ее результат – сумму знаний, лежащих в основе научной картины мира; обозначение отдельных отраслей научного знания. Непосредственные цели – описание, объяснение и предсказание процессов и явлений действительности, составляющих предмет ее изучения, на основе открываемых ею законов» [11, с. 863]. Если эта трактовка кому-то может показаться устаревшей, то обратимся к более современному источнику: «Наука – сфера человеческой деятельности, направленная на вы-

работку и систематизацию объективных знаний о действительности. Основой этой деятельности является сбор фактов, их постоянное обновление и систематизация, критический анализ и, на этой базе, синтез новых знаний или обобщений, которые не только описывают наблюдаемые природные или общественные явления, но и позволяют построить причинно-следственные связи с конечной целью прогнозирования. Те теории и гипотезы, которые подтверждаются фактами или опытами, формулируются в виде законов природы или общества» [7]. Данная формулировка, в свою очередь, позаимствована составителями из [12].

«Некомпетентность – это свойство или состояние по значению прилагательного некомпетентный; отсутствие должных знаний, умений, навыков и т. п.» [8].

Рейдерство – это получение юридического и (или) физического контроля над имуществом, бизнесом против воли собственника. В нашем случае – это завладение видом или направлением научно-исследовательской деятельности в определенной отрасли экономики, а также неправомерное присвоение результатов научных исследований других научных организаций или ученых.

Значение остальных терминов принимаем в их общепринятом понимании. Рассмотрим далее более подробно истоки или предпосылки происхождения и особенности рейдерских приемов в интеллектуальной сфере.

Представители науки уже обращались к теме рейдерства [1–3, 9] и даже проводили определенные предварительные исследования по этому поводу [4]. Например, о «наболевшем» излагает в своей работе автор статьи о рейдерстве в интеллектуальной сфере [10], отмечая схожесть подходов и методов присвоения результатов научной деятельности функционерами и администраторами от науки. В результате этого научные наработки целых коллективов присваивались именно рейдерским способом, то есть без согласия, а также, не взирая на сопротивление со стороны действительных разработчиков интеллектуального продукта.

Проблеме рейдерства в экономике посвящено много литературы в основном, юридического характера, так как оно имеет вполне конкретные определения в статьях Криминального Кодекса [5]. Что характерно, и отечественные,

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

и зарубежные авторы [17–19] отмечают, что рейдерство особый размах приобрело в постсоветских республиках и даже может быть реализовано вполне законным путем, так как благодаря несовершенству некоторых нормативно-правовых документов возможно осуществление захвата или смены собственника предприятия [13]. Рейдерские приемы и варианты посягательств на интеллектуальную продукцию являются предметом исследований ученых из разных стран, в том числе и развитых, таких как США, Россия, Китай и Япония [14–17, 20–22]. При этом учитываются условия в до- и послекризисный период, но, как правило, эти исследования не дают однозначного «рецепта» решения проблемы рейдерства в науке. В чем же основные отличия этого явления в области науки от классического понимания? И как этому противодействовать?

Деятельность в интеллектуальной сфере регулируется несколько другими нормативно-правовыми документами, поэтому подходы несколько отличаются, но суть остается прежней: захват сферы деятельности или вытеснение с рынка научных услуг конкурирующих оппонентов либо неправомерное присвоение результатов интеллектуального труда.

Каковы же истоки появления рейдерства в научно-исследовательской области? Здесь может быть несколько объяснений. Во-первых, зачем «напрягаться» и осваивать новые сферы деятельности путем длительной и кропотливой работы по созданию научных школ с многолетними традициями и формированием экспериментальной базы, а также завоевывать научный авторитет на национальном и международном уровне? Ведь можно просто провозгласить «нужную» организацию на ведомственном уровне головной или, точнее, главной научной организацией, заставить всех «уважать» ее разработки и объявить о том, что уровень этих разработок соответствует мировым стандартам. Во-вторых, не надо подтверждать свой «высокий» уровень научных знаний, так как это и так закреплено на уровне ведомственных нормативных документов. То есть один из «верных» путей создания монополии на научные работы в определенной отрасли – это директивное назначение главной научной организации на основании административного подчинения и большого желания сторон в этом участвующих.

И все бы ничего, но особенность научного мира в том, что недостаточно механически собрать под одной крышей выпускников различных высших учебных заведений, даже имеющих дипломы с отличием. Необходимо сформировать целостность научных исследований и затем уже заниматься коммерциализацией результатов научного труда, а не наоборот. То есть, когда сначала выбираются прибыльные направления деятельности, которые наработаны другими научными организациями, а затем просто административно вытесняются конкурирующие научные организации, не давая при этом возможности даже претендовать на участие в тендерах или конкурсном отборе исполнителей.

Второй, не менее эффективный, путь по «устранению» конкурентов в научно-исследовательской сфере связан с задействованием государственных органов или силовых структур, которые являются в данном случае по сути дела «инструментом» в нечистоплотной борьбе за сферы влияния. Если конечно такие термины возможны в науке, так как здесь не сферы влияния, а скорее всего виды деятельности в определенной отрасли экономики страны, выраженные в виде научного сопровождения развития той или иной отрасли в целом или отдельного ее направления. Как это работает? Очень просто: организация, претендующая на роль главной или головной, но не имеющая достаточно весомых аргументов в виде квалифицированных научных кадров и многолетнего опыта работы, подкрепленного весомым авторитетом, научной базой, научными публикациями и признанием на национальном и международном уровне, инициирует какие-нибудь разбирательства. Особенно это успешно может сработать в отраслях, где производится оценка или приемка современной техники, в том числе и иностранного производства [6]. Например, когда под видом высоких лозунгов скрывается банальное преследование конкурентов. Причем для гарантирования результатов разбирательства главной экспертной организацией ставится организация, претендующая на научное главенство в определенной отрасли. И дальше, как в лучших традициях рейдерских захватов бизнеса, все усилия направлены на устранение конкурирующих научных коллективов путем искажения фактов и результатов их деятельности за счет использования некомпетентных

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

экспертиз со стороны заинтересованной организации. А если сюда добавить и некорректность действий представителей силовых структур, то вполне может быть реализован замысел по устранению конкурентов от науки, якобы на законном основании. Это все равно, как если бы на предприятии, у которого обнаружили недостачу по бухгалтерии, главным ревизором или председателем комиссии по проверке был назначен главный бухгалтер этого предприятия. Такие методы конкурентного противостояния в данном случае ничего общего с наукой не имеют. Наоборот – они дают весомый повод для прокурорской проверки или уголовного производства, но уже стороны инициатора и ее пособников (именно это слово относится к должностным лицам, занимающимся преследованием уважаемых и авторитетных научных организаций и отдельных ученых по им одним понятным мотивам). Конечно, хотелось бы верить, что такие ошибки происходят случайно, а не в результате коррупционных действий. А вот борьбой за законность это трудно назвать.

Таким образом, можно попытаться классифицировать основные способы рейдерства в интеллектуальной сфере по характерным признакам:

- силовой метод (но не в смысле физического захвата, а в смысле привлечения в качестве исполнителя представителей силовых структур);

- административный метод, в случае, когда рейдерство осуществляется посредством директивного «назначения» одной организации-монополиста (или нескольких организаций, что очень редко) на выполнение определенных исключительных функций;

- экономический метод, когда просто прекращается (или существенно сокращается) финансирование всех организаций, кроме одной необходимой;

- ситуативный метод, когда монопольность «нужной» организации-исполнителя работ определяется на какой-то период времени (но это скорее более изощренный административный метод);

- структурный метод, когда в структуре отрасли оставляется только один исполнитель всех научных исследований, и нет никакой даже видимой конкуренции, но это тоже разновидность административного метода.

Какой же возможен способ противодействия формированию монополии на конкретные виды

научно-исследовательских услуг? Это, кстати, негативно сказывается и на ценовой политике: когда нет альтернативы, то и стоимость работ практически не сдерживается и ставит потребителей услуг в жесткую зависимость от «аппетитов» исполнителя.

Наиболее эффективным способом препятствия появлению рейдерства в научной сфере является четкая структура научного сопровождения конкретной области знания или отрасли экономики. Эта структура должна обеспечивать не только основные принципы конкурентной среды, но и достойное качество научных услуг.

Научная новизна и практическая значимость

В работе предложено исследование явления недобросовестной конкуренции в области научно-исследовательских услуг. Проанализированы методы и средства конкуренции между научными организациями в различных областях знаний. Раскрывается понятие «рейдерство» в интеллектуальной сфере.

Результаты исследований могут быть использованы при анализе деятельности научных и инженерных организаций, которые выполняют различные исследования, для оценки достоверности и легитимности полученных результатов, а также для предупреждения рейдерства в науке. Результаты исследования имеют практическую ценность для государственных и частных организаций при определении компетентных исполнителей на проведение научно-исследовательских услуг, в том числе экспертиз. И особенно тех исполнителей, деятельность которых связана с оценкой материальных потерь или недополученного дохода, когда непредвзятость и независимость этой оценки является гарантией получения достоверного и объективного результата.

Выводы

Таким образом, рассмотрены истоки и методы рейдерства в научно-исследовательской сфере. К истокам рейдерства в науке относится некомпетентность некоторых научных организаций, которая не позволяет им законно занять достойное место в ряду научных учреждений в виду отсутствия необходимого количества высококвалифицированных научных кадров

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

и недостаточного опыта проведения научных исследований, не позволяющих сформировать необходимый научный авторитет. Но нужно учитывать, что научные организации, подвергшиеся рейдерским приемам, должны не выжидать и оправдываться, а доказывать некомпетентность своих оппонентов цивилизованным путем с применением как научной печати, так и других средств массовых коммуникаций, для изобличения псевдонаучных организаций. И это не соперничество двух или нескольких научных учреждений, это, в конечном итоге, судьба целых отраслей экономики.

Ведь в результате научного рейдерства, из-за некомпетентного подхода и низкой квалификации исполнителей, могут быть загублены не только отдельные научно-исследовательские работы, но и целые научные направления в ключевых отраслях экономики. И это уже не просто споры между учеными и псевдоучеными, и не просто замедление в развитии научного сопровождения конкретных отраслей экономики и их эффективного развития, а реальный тормоз научно-технического прогресса. И это, в свою очередь уже вопросы обеспечения национальной безопасности и будущего страны в целом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андреева, Л. А. Рейдерство: состав преступления [Электронный ресурс] / Л. А. Андреева. – Режим доступа: <http://sibac.info/index.php/2009-07-01-10-21-16/970-2012-01-30-07-14-44>. – Загл. с экрана. – Проверено : 27.11.2014.
2. Бабич, Т. Рейдерство в Україні – загроза національній безпеці [Электронный ресурс] / Т. Бабич // Віче. – 2010. – № 14. – Режим доступа: <http://www.viche.info/journal/2105/>. – Загл. с экрана. – Проверено : 27.11.2014.
3. Зеркалов, Д. В. Рейдерство : моногр. / Д. В. Зеркалов. – Киев : Основа, 2011. – 372 с.
4. Карпиловская, Е. Рейдеры в науке [Электронный ресурс] / Е. Карпиловская, Н. Клименко // День. – 2010. – № 167. – Режим доступа: <http://www.day.kiev.ua/ru/article/obshchestvo/reyder-v-nauke>. – Загл. с экрана. – Проверено : 25.11.2014.
5. Кримінальний кодекс України № 2341-III від 5 квітня 2001 року // Відом. Верховн. Ради України. – 2001. – № 25. – 131 с.
6. Мямлин, С. В. Прогресс транспорта – залог развития национальной экономики / С. В. Мямлин // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 1 (43). – С. 7–12.
7. Наука [Электронный ресурс] // Википедия. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/наука>. – Загл. с экрана. – Проверено : 12.01.2015.
8. Некомпетентность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wiktionary.org/wiki/>. – Загл. с экрана. – Проверено : 12.01.2015.
9. Погорельский, М. Рейдерство в Україні: проблеми кримінальної відповідальності [Электронный ресурс] / М. Погорельский, В. Шеломенцев. – Режим доступа: <http://xn--80ankme7e.com/84-rejderstvo-v-ukrayini-problemi-kriminalnoyi.html>. – Загл. с экрана. – Проверено : 27.11.2014.
10. Репешко, П. Рейдерство в сфере права интеллектуальной собственности / П. Репешко // *Leges vitae*. – 2013. – № 11/4. – С. 162–166.
11. Советский энциклопедический словарь / под ред. А. М. Прохорова. – 3-е изд. – Москва : Сов. энциклопедия, 1985. – 1600 с.
12. Уайтхед, А. Н. Избранные работы по философии / А. Н. Уайтхед. – Москва : Прогресс, 1990. – 716 с.
13. Челембій, Ю. Недосконалість українського законодавства є живильним ґрунтом для українських рейдерів / Ю. Челембій // Вісн. Україн. спілки промисловців та підприємців. – 2007. – № 4. – С. 24.
14. Atanassov, J. Do Hostile Takeovers Stifle Innovation? Evidence from Antitakeover Legislation and Corporate Patenting / J. Atanassov // *J. of Finance*. – 2013. – Vol. 68. – Iss. 3. – P. 1097–1131. – doi: 10.1111/jofi.12019.
15. Cai, W. Hostile takeovers and takeover defences in China / W. Cai // *Hong Kong Law J.* – 2012. – Vol. 42. – Iss. 3. – P. 901–938.
16. Jin, Y. Study on cross-listed company's financial problems / Y. Jin // *Innovation Management and Industrial Engineering* (20.10-21.10.2012) : Proc. of 2012 Intern. Conf. on Information Management. – Sanya : China, 2012. – P. 349–352. doi: 10.1109/iciiii.2012.6339850.
17. Osipian, A. Predatory raiding in Russia: Institutions and property rights after the crisis / A. Osipian // *J. of Economic Issues*. – 2012. – № 46 (2). – P. 469–479. doi: 0.2753/jei0021-3624460222.
18. Rochlitz, M. Corporate raiding and the role of the state in Russia / M. Rochlitz // *Post-Soviet Affairs*. – 2014. – № 30 (2-3). – P. 89–114. doi: 10.1080/1060586x.2013.856573.
19. Rojansky, M. Corporate raiding in Ukraine: Causes, methods and consequences / M. Rojansky // *Demokratizatsiya*. – 2014. – № 22 (3). – P. 411–443.
20. Servaes, H. How do industry peers respond to control threats? / H. Servaes, A. Tamayo // *Management Science*. – 2014. – № 60 (2). – P. 380–399. doi: 10.1287/mnsc.2013.1773.

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

21. Yeh, T.-M. The effects of anti-takeover measures on Japanese corporations / T.-M. Yeh // Review of Quantitative Finance and Accounting. – 2014. – № 42 (4). – P. 757–780. doi: 10.1007/s11156-013-0361-0.
22. Zhang, L. Hostile takeovers in China: Comparative corporate governance and institutional changes / L. Zhang // Intern. J. of Private Law. – 2013. – № 6 (4). – P. 341–354. doi: 10.1504/ijpl.2013.056804.

С. В. МЯМЛІН^{1*}

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

НЕКОМПЕТЕНТНІСТЬ В НАУЦІ ТА ТЕХНІЦІ – ГАЛЬМО ПРОГРЕСУ, АБО ПРО РЕЙДЕРСТВО У СФЕРІ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИХ ПОСЛУГ

Мета. В роботі необхідно провести аналіз виникнення передумов недобросовісної конкуренції на ринку науково-дослідницьких послуг для унеможливлення рейдерства в науці. **Методика.** При проведенні даного дослідження використані методи наукового аналізу й синтезу, метод аналогій, метод експертних оцінок. **Результати.** Розглянуто можливі методи неконкурентної боротьби при виконанні науково-дослідницьких робіт. Обґрунтована актуальність даної проблеми. Доведено, що проблема виникнення передумов для появи некомпетентності на ринку науково-дослідницьких послуг і завдання щодо її попередження й мінімізації шкідливих наслідків для розвитку науки та техніки є актуальними, особливо в період становлення, і тим більш, реформування провідних галузей економіки України. Проаналізовані передумови виникнення та умови існування некомпетентності в науковій діяльності. Класифіковано основні способи рейдерства та наведено їх обґрунтування. **Наукова новизна.** Запропоновано дослідження явища недобросовісної конкуренції у галузі науково-дослідницьких послуг. Проаналізовано методи й засоби конкуренції між науковими організаціями та окремими вченими в деяких областях знання. Вперше вводиться та розкривається поняття «рейдерство» в інтелектуальній сфері. **Практична значимість.** Результати досліджень можуть бути використані при аналізі діяльності наукових та інженерних організацій, які виконують різні дослідження, для оцінки достовірності та легітимності отриманих результатів, а також для попередження рейдерства в науці. Результати дослідження мають практичну цінність для державних і приватних організацій при визначенні компетентних виконавців на проведення науково-дослідницьких послуг, у тому числі експертиз. Особливо це стосується експертиз, пов'язаних із оцінкою матеріальних втрат чи недоотриманого доходу, коли неупередженість і незалежність цієї оцінки є гарантією одержання достовірного та об'єктивного результату.

Ключові слова: некомпетентність; рейдерство; науково-дослідницькі послуги; національна безпека; вдосконалення законодавства

S. V. MYAMLIN^{1*}

^{1*}Dep. «Car and Car Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 776 84 98, e-mail sergeymyamin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

INCOMPETENCE IN SCIENCE AND TECHNOLOGY - IT IS A BRAKE OF PROGRESS OR ABOUT RAIDING IN THE FIELD OF RESEARCH SERVICES

Purpose. The analysis of the prerequisite appearing of the unfair competition in the market of research services to prevent raiding in science. **Methodology.** During the conducting of this study methods of scientific analysis and synthesis, the benchmarking method, the method of expert estimations were used. **Findings.** Possible methods of uncompetitive struggle during the performing of scientific research were examined. The urgency of this problem was proved. Therefore, the problem of the prerequisite appearing for incompetence on the market of research

doi 10.15802/STP2015/38234

© С. В. Мямлін, 2015

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

services and the task of its prevention and minimization of adverse effects for the development of science and technique is relevant, especially in the period of formation and the reform of the leading branches of the Ukrainian economy. The prerequisite appearing and conditions for the existence of incompetence in scientific activity were analyzed. The classification of the main ways of raiding was proposed and its justification was proved. **Originality.** The investigation of the phenomenon of unfair competition in the field of research services was proposed. The methods and means of competition between scientific organizations and individual scientists in some fields of knowledge were analyzed. The concept of "raiding" was introduced for the first time in the intellectual sphere. **Practical value.** The research results can be used to analyze the activity of scientific and engineering organizations, which carry out various studies to assess the validity and legitimacy of the obtained results, and to prevent raiding in science. The results of the study have practical value for public and private organizations in the determination of the competent performers to conduct research and development services, including expertise, and especially related to the evaluation of material losses or lost earnings when the impartiality and independence of this assessment is the guarantee of obtaining the reliable and objective results.

Keywords: incompetence; raiding; research services; national security; improvement of legislation

REFERENCES

1. Andreyeva L.A. *Reyderstvo: sostav prestupleniya* [Raiding: component elements of a crime]. Available at: <http://sibac.info/index.php/2009-07-01-10-21-16/970-2012-01-30-07-14-44> (Accessed 27 November 2014).
2. Babich T. *Reyderstvo v Ukraini – zahroza natsionalnii bezpetsi* [Raiding in Ukraine as a threat of national security]. *Viche Publ.*, 2010, no. 14. Available at: <http://www.viche.info/journal/2105/> (Accessed 27 November 2014).
3. Zerkalov D.V. *Reyderstvo* [Raiding]. Kiev, Osnova Publ., 2011. 372 p.
4. Karpilovskaya Ye., Klimenko N. *Reyderi v nauke* [Raiders in science]. *Den Publ.*, 2010, no. 167. Available at: <http://www.day.kiev.ua/ru/article/obshchestvo/reyderi-v-nauke> (Accessed 25 November 2014).
5. Kryminalnyi kodeks Ukrainy [The criminal code of Ukraine]. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy–Journal of the Verkhovna Rada of Ukraine*, 2001, no. 25, 131 p.
6. Myamlin S.V. Progress transporta – zalog razvitiya natsionalnoy ekonomiki [The transport progress is an essential to the development of the national economy]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transport – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 1 (43), pp. 7-12.
7. *Nauka. Vikipediya* [Science. Wikipedia]. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/наука> (Accessed 12 January 2015).
8. *Nekompetentnost. Vikipediya* [Incompetence. Wikipedia]. Available at: <http://ru.wiktionary.org/wiki/некомпетентность>. (Accessed 12 January 2015).
9. Pohoretskyi M., Shelomentsev V. *Reyderstvo v Ukraini: problemy kryminalnoi vidpovidalnosti* (Raiding in Ukraine: problems of criminal responsibility). Available at: <http://xn--80ankme7e.com/84-rejderstvo-v-ukrayini-problemi-kriminalnoyi.html> (Accessed 27 November 2014).
10. Repeshko P. *Reyderstvo v sfere prava intelektualnoy sobstvennosti* [Raiding in the sphere of intellectual property law]. *Legea si viata*, 2013, no. 11/4, pp. 162-166.
11. Prokhorova A.M. *Sovetskiy entsiklopedicheskiy slovar* [The Soviet encyclopedic dictionary]. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya Publ., 1985. 1600 p.
12. Uaytkhed A.N. *Izbrannyye raboty po filosofii* [Selected works on philosophy]. Moscow, Progress Publ., 1990. 716 p.
13. Chelembii Yu. *Nedoskonalist ukrainskoho zakonodavstva ye zhyvlynym gruntom dla ukrainskykh reideriv* [The imperfection of the Ukrainian legislation is a breeding ground for Ukrainian raiders]. *Visnyk Ukrainskoi spilky promyslovtsiv ta pidpriyemtsiv* [Bulletin of the Ukrainian Union of Industrialists and Entrepreneurs], 2007, no. 4, 24 p.
14. Atanassov J. Do Hostile Takeovers Stifle Innovation? Evidence from Antitakeover Legislation and Corporate Patenting. *Journal of Finance*, 2013, vol. 68, issue 3, pp. 1097-1131. doi: 10.1111 / jofi.12019.
15. Cai W. Hostile takeovers and takeover defences in China. *Hong Kong Law Journal*, 2012, vol. 42, issue 3, pp. 901-938.
16. Jin Y. Study on cross-listed company's financial problems. Proc. of 2012 Intern. Conf. on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering. Sanya, China. 2012, pp. 349-352. doi: 10.1109/iciim.2012.6339850.
17. Osipian A. Predatory raiding in Russia: Institutions and property rights after the crisis. *Journal of Economic Issues*, 2012, no. 46 (2), pp. 469-479. doi: 0.2753/jei0021-3624460222.

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

18. Rochlitz M. Corporate raiding and the role of the state in Russia. *Post-Soviet Affairs*, 2014, no. 30, pp. 89-114. doi: 10.1080/1060586x.2013.856573.
19. Rojansky M. Corporate raiding in Ukraine: Causes, methods and consequences. *Demokratizatsiya*, 2014, no. 22 (3), pp. 411-443.
20. Servaes H., Tamayo A. How do industry peers respond to control threats? *Management Science*, 2014, no. 60 (2), pp. 380-399. doi: 10.1287/mnsc.2013.1773.
21. Yeh T.-M. The effects of anti-takeover measures on Japanese corporations. *Review of Quantitative Finance and Accounting*, 2014, no. 42 (4), pp. 757-780. doi: 10.1007/s11156-013-0361-0.
22. Zhang L. Hostile takeovers in China: Comparative corporate governance and institutional changes. *International Journal of Private Law*, 2013, no. 6 (4), pp. 341-354. doi: 10.1504/ijpl.2013.056804.

Стаття рекомендована к публікації д.т.н., проф. Д. Н. Козаченко (Україна)

Поступила в редколлегию 03.11.2014

Принята к печати 17. 12. 2014

УДК [640.5.066.2:66.12.3]:378.4

О. М. ПІШІНЬКО¹, В. Г. КУЗНЕЦОВ², М. В. ШАПТАЛА^{3*}, Д. Є. ШАПТАЛА⁴

¹Каф. «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 pshinko@r.dit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1598-2970

²Каф. «Електропостачання залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 373 15 25, ел. пошта vkuz@i.ua, ORCID 0000-0003-4165-1056

^{3*}Каф. «Теплотехніка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 373 15 87, ел. пошта maxshaptala@gmail.com, ORCID 0000-0002-1235-1073

⁴Каф. «Теплотехніка та газопостачання», Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24 а, Дніпропетровськ, Україна, 49600, тел. + 38 (0562) 46 93 49, 47 17 22, ел. пошта darina.shaptala@gmail.com, ORCID 0000-0002-1045-0801

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОБСЯГІВ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ТЕПЛОТИ НАУКОВИМИ ПІДРОЗДІЛАМИ УНІВЕРСИТЕТУ

Мета. Ефективне споживання природних енергетичних ресурсів є одним із пріоритетних напрямів державної політики в сфері управління навчальними закладами та установами Міністерства освіти і науки України. Окрім пошуку й розроблення нових ефективних та екологічно чистих енергетичних систем необхідна реалізація оптимального управління розвитком та експлуатацією існуючих об'єктів, зниження їх енерговитрат. Метою даної роботи є розробка методики розрахунку обсягів споживання електричної енергії та теплоти науковими підрозділами Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ) для подальшого встановлення шляхів зниження енерговитрат. Проблема полягає в тому, що (у зв'язку зі специфікою схеми енергопостачання університету) існує певна складність для встановлення лічильників енергоносіїв та отримання даних про їх споживання в окремих відгалуженнях структурних підрозділів. При цьому неможливо якісно оцінити енергетичне положення наукових підрозділів. **Методика.** Методика визначення витрат електричної енергії та теплоти на опалення приміщень наукових підрозділів університету базується на «Міжгалузевих нормах споживання електричної та теплової енергії для установ та організацій бюджетної сфери України» й «Нормах та вказівках по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових споруд, а також на господарські потреби в Україні». **Результати.** Розроблена методика розрахунку обсягів споживання електричної енергії та теплоти науковими підрозділами ДНУЗТ, яка дозволяє отримати дані про споживання енергоресурсів в окремих підрозділах без прямого вимірювання та проаналізувати ефективність впровадження енергозберігаючих технологій. **Наукова новизна.** Новизна наукової роботи полягає у представленні енергетичних витрат у вигляді двох складових та визначенні цих складових на основі даних енергетичного аудиту. Це дозволяє отримати обсяги споживання енергоресурсів із метою впровадження енергоощадних заходів в наукових підрозділах університету. **Практична значимість.** Розроблена методика може бути використана як практичний інструментарій для контролю споживання енергоресурсів у вказаному університеті та на аналогічних об'єктах.

Ключові слова: методика; нормування; прилади обліку; енергоефективність; енергоносії; енергоменеджмент; витрати електроенергії; витрати теплоти

Вступ

Ефективне споживання природних енергетичних ресурсів є одним з пріоритетних напрямів державної політики з енергоефективності та енергозбереження в сфері управління навчальними закладами та установами Міністерства освіти і науки України [9, 10]. Окрім пошуку та розроб-

лення нових ефективних та екологічно чистих енергетичних систем, необхідна реалізація оптимального управління розвитком та експлуатацією існуючих об'єктів, зниження їх енерговитрат. Управління раціональним використанням природних ресурсів на таких об'єктах повинно здійснюватись на всіх стадіях: від виробництва (за наявності власних генеруючих потужностей) до

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

розподілу та споживання [2, 3]. При цьому здійснюється енергетичний аналіз об'єкта, визначення реальних обсягів енергетичних витрат та виявлення можливостей комплексного оптимального підвищення економічності та екологічності технічних процесів. Ці заходи в установах державної освіти спрямовані головним чином на економію бюджетних коштів за спожиті енергоносії. Першим та особливо важливим кроком у підвищенні економічності є встановлення реальних об'ємів споживання енергетичних ресурсів закладом або установою в цілому та по окремих його підрозділах зокрема [12]. Без наявності цих даних неможливе здійснення енергоефективних заходів та економічне обґрунтування впровадження новітнього обладнання.

Мета

Метою роботи є розробка методики розрахунку обсягів споживання електричної енергії та теплоти науковими підрозділами Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна для подальшого встановлення шляхів зниження енерговитрат.

Методика

Методика визначення витрат електричної енергії та теплоти на опалення приміщень наукових підрозділів університету базується на «Міжгалузевих нормах споживання електричної та теплової енергії для установ та організацій бюджетної сфери України» [6] та «Нормах та вказівках по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових споруд, а також на господарські потреби в Україні» [7, 8].

Загальні положення. На сьогодні лічильники електричної енергії встановлені на границі розділення балансової приналежності в трансформаторній підстанції, а лічильники теплоти – в котельні університету. Кафедри та наукові підрозділи університету працюють в спільних приміщеннях, при цьому частина цієї роботи фінансується з бюджету, частина за спеціальними договорами. Постає питання визначення вартості споживання енергоресурсів, що обліковується за статтею комунальні витрати під час виконання робіт. Вирішення цього завдання на основі вимірювання неможливо у зв'язку з відсутністю лічильників.

Для розробки методики визначення обсягів споживання електричної енергії та теплоти науковими підрозділами університету було виділено та проаналізовано:

- структуру, повний склад будівель та споруд, їх призначення, загальну опалювальну площу, кількість персоналу, наявність проектної виконавчої документації з внесеними змінами про відхилення від проекту під час будівництва та під час експлуатації. Було здійснено ознайомлення з проектними конструктивними рішеннями, теплотехнічними характеристиками конструкцій, системою опалення, вентиляції, електропостачання, обладнанням джерела теплоти;

- інформацію для складання об'ємно-планувальних та геометричних показників будівель (розташування, план забудови, плани поверхів, висота поверхів, загальна висота будинку, загальна площа зовнішніх стін за напрямками сторін світу, загальна площа світлових отворів, тощо);

- первинні дані про витрати теплової та електричної енергії за попередній і поточний роки;

- параметри систем тепло- та електропостачання (джерела та схеми тепло- та електропостачання, вузли введів трубопроводів, наявність та типи приладів обліку енергоносіїв та витрат теплоносія).

Науково-дослідна частина університету складається з низки наукових підрозділів, що розташовані безпосередньо в навчальних корпусах університету і, зазвичай, прикріплені до певних кафедр. Частина наукових робіт виконується групами науковців на кафедрах, що не мають видільних приміщень. Ця обставина, а також особливості наявної електричної мережі навчальних корпусів університету унеможливають встановлення лічильників електричної енергії окремо у навчальних підрозділах НДЧ. Наявність наукових підрозділів у навчальних корпусах також унеможливає відокремлення від існуючої теплової мережі і встановлення лічильників теплоти. Тому кількість спожитої електричної енергії і теплоти НДЧ університету визначається розрахунковим шляхом за цією методикою.

1. Визначення витрат електричної енергії науковими підрозділами університету. Витрати електроенергії НДЧ університету, в кВт год/рік, складаються з суми витрат електричної енергії

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

окремими підрозділами НДЧ, за якими закріплені приміщення для виконання наукових робіт та витрат електроенергії окремими групами науковців, що не мають окремо виділених приміщень для виконання наукових робіт, за співвідношенням:

$$W_{\text{НДЧ}} = \sum_{i=1}^r W_n^i + \sum_{j=1}^m W_{\varepsilon}^j, \quad (1)$$

де W_n^i – річні витрати електроенергії i -м підрозділом НДЧ університету, кВт год/рік; W_{ε}^j – річні витрати електроенергії j -ою групою науковців, що виконували наукові роботи у звітному періоді в приміщеннях, що закріплені за кафедрами, кВт год/рік; r – кількість підрозділів, що мають закріплені приміщення для виконання наукової роботи; m – кількість груп науковців, що виконували наукові роботи у звітному періоді в приміщеннях, що закріплені за кафедрами.

Витрати електроенергії окремим науковим підрозділом університету, за яким закріплені приміщення для виконання наукових дослідів W_n , кВт год у рік, складаються з основних та додаткових і визначаються за співвідношенням:

$$W_n = W_{\text{осн}} + W_{\text{доод}}, \quad (2)$$

де $W_{\text{осн}}$ – основні витрати електроенергії, кВт год/рік; $W_{\text{доод}}$ – додаткові витрати електроенергії, кВт год/рік.

До основних витрат належать витрати, що пов'язані з використанням електроприладів, таких як комп'ютери, оргтехніка, лабораторні установки, кондиціонери, освітлення, електричні обігрівачі тощо, у межах приміщення підрозділу. Основні витрати електроенергії $W_{\text{осн}}$, в кВт год/рік, можуть бути визначені за формулою:

$$W_{\text{осн}} = \sum_{i=1}^n P_i T_i k_{\text{вик}}, \quad (3)$$

де P_i – встановлена потужність i -го електроприладу, кВт; T_i – кількість годин використання встановленої потужності у рік, год/рік; $k_{\text{вик}}$ – коефіцієнт використання встановленої потужності i -го електроприладу у рік. За відсутності даних, коефіцієнт використання встановленої

потужності приймається рівним одиниці; n – кількість електроприладів, що використовуються підрозділом.

До додаткових витрат електроенергії належать витрати, пов'язані з використанням електроенергії на освітлення коридорів, туалетів і та інших приміщень, якими користуються співробітники підрозділу. Додаткові витрати електроенергії можуть бути визначені за питомою нормою [4, 6]:

$$W_{\text{доод}}^I = \omega S \frac{n_n}{n_{\text{заг}}}, \quad (4)$$

де ω – норма витрати електроенергії, кВт год/м² рік; S – площа коридорів, санітарних вузлів і та інших приміщень, м²; n_n – кількість працівників наукового підрозділу; $n_{\text{заг}}$ – загальна кількість студентів і працівників наукових і інших підрозділів університету (визначається за даними планового відділу університету).

Базова норма витрат електроенергії навчальними корпусами вищих навчальних закладів складає $\omega = 20$ кВт год/м² рік [4].

З іншого боку, додаткові витрати електроенергії також можуть бути визначені на основі енергетичного аудиту за співвідношенням:

$$W_{\text{доод}}^{II} = W_{\text{св}} \frac{n_n}{n_{\text{заг}}}, \quad (5)$$

де $W_{\text{св}}$ – витрати електроенергії на освітлення, кВт год/рік.

$$W_{\text{св}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{св}}} P_{\text{св}i} T_{\text{осв}}, \quad (6)$$

де $P_{\text{св}i}$ – встановлена потужність i -го світильника в коридорах навчального корпусу, кВт; $T_{\text{осв}}$ – період використання освітлення в рік, год/рік; $n_{\text{св}}$ – кількість встановлених освітлювальних приладів, шт.

За даними виконаного енергетичного обстеження витрати електроенергії на освітлення коридорів і туалетів складають $W_{\text{св}} = 62\,234$ кВт год/рік.

2. *Визначення витрат теплоти НДЧ університету.* Витрати теплоти НДЧ університету на опалення $Q_{\text{НДЧ}}$, в Гкал/рік, складаються з суми

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

витрат теплоти на опалення окремими підрозділами НДЧ за співвідношенням:

$$Q_{\text{НДЧ}} = \sum_{i=1}^r Q_n^i, \quad (7)$$

де Q_n^i – річні витрати теплоти на опалення i -им підрозділом НДЧ університету, Гкал/рік.

Розрахунок річних витрат теплоти науковим підрозділом. Витрати теплоти на опалення окремого наукового підрозділу, Гкал/рік, складаються з витрат теплоти на опалення приміщень наукового підрозділу, а також коридорів, туалетів і таке інше:

$$Q_n = Q_{\text{осн}} + Q_{\text{доод}}, \quad (8)$$

де $Q_{\text{осн}}$ – основні витрати теплоти на опалення підрозділу, Гкал/рік; $Q_{\text{доод}}$ – додаткові витрати теплоти на опалення коридорів, туалетів і т. ін., Гкал/рік.

Основні витрати теплоти підрозділом за опалювальний період, Гкал/рік, складають:

$$Q_{\text{осн}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{он}}^i, \quad (9)$$

де $Q_{\text{он}}^i$ – витрати теплоти на опалення підрозділу i -го місяця опалювального періоду, Гкал/місяць; n – кількість місяців опалювального періоду.

Витрати теплоти на опалення підрозділу в місяць, в Гкал/місяць, визначаються за формулою [1, 6]:

$$Q_{\text{он}}^{\text{mic}} = V \kappa, \quad (10)$$

де V – об'єм приміщення, м^3 ; κ – кількість теплоти, що необхідна для опалення 1 м^3 приміщення, Гкал/ м^3 .

$$\kappa = q_0 (1 + K_1) (t_{\text{вн}} - t_{\text{зн}}) 10^{-6} 24 n_{\text{дiб}}, \quad (11)$$

де $q_0 = 0,24 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \text{ год К}}$ – питома опалювальна

характеристика; $K_1 = \frac{Q_o^{\text{сп}}}{Q_o^{\text{жс}}}$ – коефіцієнт, що

враховує витрати теплоти на опалення громадських будинків (за даними [7, 8] приймається $K_1 = 0,25$); $Q_o^{\text{жс}}$ – витрати теплоти на опалення

житлових будинків; $Q_o^{\text{сп}}$ – те саме для громадських будинків; $t_{\text{вн}}$ – розрахункова температура у приміщенні в опалювальний період; $t_{\text{зн}}$ – середня температура зовнішнього повітря за опалювальний місяць (визначається за даними метеорологічних спостережень), $^{\circ}\text{C}$; $n_{\text{дiб}}$ – кількість дiб опалювального періоду в місяці, дiб/місяць.

Додаткові витрати теплоти, Гкал/місяць, можуть бути обчислені за співвідношенням:

$$Q_{\text{доод}}^{\text{mic}} = V_{\text{доод}} \kappa \frac{n_n}{n_{\text{заг}}}, \quad (12)$$

де $V_{\text{доод}} = 76776 \text{ м}^3$ – об'єм допоміжних приміщень нового і старого корпусів університету.

Результати

Розроблена методика розрахунку обсягів споживання електричної енергії та теплоти науковими підрозділами Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, яка дозволяє отримати дані про споживання енергоресурсів на окремих підрозділах без прямого вимірювання та проаналізувати ефективність впровадження енергозберігаючих технологій.

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна полягає в поданні енергетичних витрат у вигляді двох складових і визначенні цих складових на основі даних енергетичного аудиту. Це дозволяє отримати обсяги споживання енергоресурсів з метою впровадження енергоощадних заходів в наукові підрозділи університету.

Висновки

Запропоновано наукові підходи щодо визначення обсягів споживання електричної енергії і теплоти науковими підрозділами університету, які можуть бути використані як практичний інструментарій для контролю споживання енергоресурсів. Наступним кроком на шляху підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів є впровадження системи енергетичного менеджменту в університеті [12, 13].

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Габрінець, В. О. Шляхи підвищення ефективності енергетичних підрозділів залізничного транспорту / В. О. Габрінець, С. В. Христян, І. В. Титаренко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 41. – С. 187–190.
2. ДСТУ 4713:2007. Енергозбереження. Енергетичний аудит промислових підприємств. Порядок проведення та вимоги до організації робіт. – Введ. с 2007.07.01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2007. – 18 с.
3. Зеркалов, Д. В. Енергозбереження в Україні : моногр. / Д. В. Зеркалов. – Київ : Основа, 2012. – 582 с.
4. Кузнецов, В. Г. Нормування витрат електроенергії для споживачів залізничного транспорту : моногр. / В. Г. Кузнецов. – Дніпропетровськ : Маковецький, 2012. – 216 с.
5. Методика проведення енергетичного аудиту закладів освіти. Загальні положення. Порядок проведення / В. І. Дешко, А. В. Праховник, В. В. Прокопенко та [ін.]. – Київ : КПІ, 2009. – 75 с.
6. Міжгалузеві норми споживання електричної та теплової енергії для установ і організацій бюджетної сфери України. Затверджено Наказом Державного комітету України з енергозбереження № 91 від 25.10.1999 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uazakon.com/big/text456/pg1.htm>. – Назва з екрана. – Перевірено : 03.02.2015.
7. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні. КТМ 204 Україна 244-94. – Київ : ВПОЛ, 2001. – 376 с.
8. Посібник та доповнення до «Норм та вказівок з нормування витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні», КТМ 204 України 244-94. – [Чинний від 2001–04–01]. – Київ : УкрНДІнжпроект, 2001. – 64 с.
9. Пшінько, О. М. Аналіз впровадження енергозберігаючих заходів в університеті / О. М. Пшінько, Д. К. Яценко, В. Г. Кузнецов // Вісн. Київськ. нац. ун-ту технології та дизайну. – Київ, 2013. – Вип. 6 (74). – С. 344–352.
10. Пшінько, О. М. Аналіз ефективності системи тепlopостачання студмістечка Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту / О. М. Пшінько, В. О. Габрінець, В. М. Горячкін // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 2 (50). – С. 74–82.
11. Шаптала, М. В. Разработка математической модели процессов теплообмена открытого плавательного бассейна / М. В. Шаптала, Д. Е. Шаптала // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 6 (54). – С. 113–118.
12. Harris, D. Energy Management in Buildings [Електронний ресурс] / D. Harris. – New York : Spon Press. – 2011. – 176 p. – Режим доступу: <https://books.google.com.ua/books?id=UqqMAgAAQBAJ>. – Назва з екрана. – Перевірено : 03.02.2015.
13. ISO 50001:2011. Energy management systems – Requirements with guidance for use [Електронний ресурс] / Intern. Organization for Standardization. – Geneva, Switzerland, 2011. – 22 p. – Режим доступу: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=51297. – Назва з екрана. – Перевірено : 03.02.2015.

А. Н. ПШИНЬКО¹, В. Г. КУЗНЕЦОВ², М. В. ШАПТАЛА^{3*}, Д. Е. ШАПТАЛА⁴

¹Каф. «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 pshinko@r.dit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1598-2970

²Каф. «Электроснабжение железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 (056) 373 15 25, эл. почта vkuz@i.ua, ORCID 0000-0003-4165-1056

^{3*}Каф. «Теплотехника», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 (056) 373 15 87, эл. почта maxshaptala@gmail.com, ORCID 0000-0002-1235-1073

⁴Каф. «Теплотехника и газоснабжение», Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24 а, Днепропетровск, Украина, 49600, тел. + 38 (0562) 46 93 49, 47 17 22, эл. почта darina.shaptala@gmail, ORCID 0000-0002-1045-0801

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ТЕПЛОТЫ НАУЧНЫМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ УНИВЕРСИТЕТА

Цель. Эффективное потребление природных энергетических ресурсов является одним из приоритетных направлений государственной политики в сфере управления учебными заведениями и учреждениями Министерства образования и науки Украины. Кроме поиска и разработки новых эффективных и экологически чистых энергетических систем необходима реализация оптимального управления развитием и эксплуатацией существующих объектов, снижение их энергозатрат. Целью данной работы является разработка методики расчета объемов потребления электрической энергии и теплоты научными подразделениями Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (ДНУЖТ) для последующего выявления путей снижения энергозатрат. Проблема заключается в том, что (в связи со спецификой схемы энергоснабжения университета) существует определенная сложность для установления счетчиков энергоносителей и получения данных об их потреблении в отдельных ответвлениях структурных подразделений. При этом невозможно качественно оценить энергетическое положение в научных подразделениях. **Методика.** Методика определения расходов электроэнергии и теплоты на отопление помещений научных подразделений университета базируется на «Межотраслевых нормах потребления электрической и тепловой энергии для учреждений и организаций бюджетной сферы Украины» и «Нормах и предписаниях по нормированию расходов топлива и тепловой энергии на отопление жилых зданий, а также на хозяйственные нужды в Украине». **Результаты.** Разработанная методика расчета объемов потребления электрической энергии и теплоты научными подразделениями ДНУЖТ, позволяет получить данные без проведения прямых измерений и проанализировать эффективность внедрения энергосберегающих технологий. **Научная новизна.** Новизна научной работы заключается в представлении энергетических затрат в виде двух составляющих и определении этих составляющих на основе данных энергетического аудита. Это позволяет получить данные об объемах потребления энергоресурсов с целью внедрения энергосберегающих мероприятий в научные подразделения университета. **Практическая значимость.** Разработанная методика может быть использована в качестве практического инструментария для контроля потребления энергоресурсов в указанном университете и на аналогичных объектах.

Ключевые слова: методика; нормирование; приборы учета; энергоэффективность; энергоноситель; энергоменеджмент; расход электроэнергии; расход теплоты

O. M. PSHINKO¹, V. G. KUZNETSOV², M. V. SHAPTALA^{3*}, D. E. SHAPTALA⁴

¹Dep. «Building and Construction 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 pshinko@r.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1598-2970

²Dep. «Electric Power Supply of Railways», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. + 38 (056) 373 15 25, e-mail vkuz@i.ua, ORCID 0000-0003-4165-1056

^{3*}Dep. «Heat Engineering», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 87, e-mail maxshatala@gmail.com, ORCID 0000-0002-1235-1073

⁴Dep. «Heat Engineering and Gas Supply», Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Chernyshevskiy St., 24 a, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600, tel. + 38 (0562) 46 93 49, 47 17 22, e-mail darina.shaptala@gmail.com, ORCID 0000-0002-1045-0801

CONSUMPTION VOLUMES TECHNOLOGY OF ELECTRICITY AND HEAT BY DEPARTMENTS OF THE UNIVERSITY

Purpose. Efficient use of natural energy resources is one of the priorities of the state policy in the sphere of universities and institutions of the Ministry of Education and Science of Ukraine. Besides search and development the new efficient and clean energy systems it is necessary to implement optimal management of the development and operation of existing facilities, reducing their energy costs. Purpose of this work is to develop consumption volume technology of electricity and heat by scientific departments of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (DNURT) for further finding the ways to reduce energy consumption. The problem is due to the specifics of University's energy scheme. There is a difficulty for the installation of energy meters and data acquisition about their use in individual branches and structural units. At the same time it is impossible to assess qualitatively the energy position of scientific departments. **Methodology.** The method to determine the electricity and heat consumption for space heating of scientific departments at the university is based on «The intersectoral rules of electricity and heat energy for institutions and public sector organizations in Ukraine» and «Codes and regulations on rationing of fuel and heat energy for heating the residential buildings as well as for economic needs in Ukraine». **Findings.** Developed determining expenditure technology of electricity and heat for heating by scientific departments at the DNURT named after Academician V. Lazaryan allows obtaining data on energy consumption in individual units without direct measure and analyzing the effectiveness of energy saving technologies. **Originality.** It is represented by energy costs in the form of two components and these components are defined on the basis of the energy audit. This enables the energy inputs to implement energy efficiency measures in the research departments of the university. **Practical value.** The developed method can be used as practical tools to monitor energy consumption in the above mentioned university and in similar facilities.

Keywords: technology; regulation; metering devices; energy efficiency; energy source; energy management; power consumption; heat costs

REFERENCES

1. Habrinets V.O., Khrystian Ye.V., Tytarenko I.V. Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti enerhetychnykh pidrozdilov zaliznychnoho transportu [Ways to improve the energy units efficiency of railway transport]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 41, pp. 187-190.
2. DSTU 4713:2007. *Enerhozberezhennia. Enerhetychnyi audyt promyslovykh pidpriemstv. Poriadok provedennia ta vymohy do orhanizatsii robot* [Energy-saving. Energy audit of industrial enterprises. The procedure and requirements for the organization of operation]. Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy Publ., 2007. 18 p.
3. Zerkalov D.V. *Enerhozberezhennia v Ukraini* [Energy-saving in Ukraine]. Kyiv, Osnova Publ., 2012. 582 p.
4. Kuznetsov V.H. *Normuvannia vytrat elektroenerhii dlia spozhyvachiv zaliznychnoho transportu* [Rationing of electricity costs for consumers of railway transport]. Dnipropetrovsk, Makovetskyi Publ., 2012. 216 p.
5. Deshko V.I., Prakhovnyk A.V., Prokopenko V.V. et al. *Metodyka provedennia enerhetychnoho audytu zakladiv osvity. Zahalni polozhennia. Poriadok provedennia* [Energy audit procedure of educational institutions. General provisions. Procedure]. Kyiv, KPI Publ., 2009. 75 p.

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

6. *Mizhhaluzevi normy spozhyvannia elektrychnoi ta teplovoi enerhii dlia ustanov i orhanizatsii biudzhetnoi sfery Ukrainy* (Intersectoral norms of electric and thermal energy for institutions and organizations of the budgetary sphere in Ukraine). Available at: <http://uazakon.com/big/text456/pg1.htm> (Accessed 03 February 2015).
7. *Normy ta vказivky po normuvanniu vytrat palyva ta teplovoi enerhii na opalennia zhytlovykh ta hromadskykh sporud, a takozh na hospodarsko-pobutovi potreby v Ukraini. KTM 204 Ukraina 244-94* [Standards and guidelines for rationing of fuel and heat energy for heating of residential and public buildings, as well as on household needs in Ukraine. KTM 204 of Ukraine 244-94]. Kyiv, VIPOL Publ., 2001. 376 p.
8. *Posibnyk ta dopovnennia do «Norm ta vказivok z normuvannia vytrat palyva ta teplovoi enerhii na opalennia zhytlovykh ta hromadskykh sporud, a takozh na hospodarsko-pobutovi potreby v Ukraini», KTM 204 Ukrainy 244-94*. [Guide and additions to the «Standards and guidelines for rationing of fuel and heat energy for heating of residential and public buildings, as well as on household needs in Ukraine», KTM 204 of Ukraine 244-94]. Kyiv, UkrNDIinzhpoeekt Publ., 2001. 64 p.
9. Pshinko O.M., Yatsenko D.K., Kuznetsov V.H. Analiz vprovadzhennia enerhozberihaiuchykh zakhodiv v universyteti [The implementation analysis of energy saving measures at the University]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dyzainu* [Bulletin of Kyiv National University of Technology and Design], 2013, issue 6 (74), pp. 344-352.
10. Pshinko O.M., Habrinets V.O., Horiachkin V.M. Analiz efektyvnosti systemy teplopостachannia studmistechka Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu [Effectiveness analysis of campus heat supply system of the Dnipropetrovsk National University of Railway 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. 2 (50), pp. 74-82.
11. Shaptala M.V., Shaptala D.Ye. Razrabotka matematicheskoy modeli protsessov teplomassoobmena otkrytogo plavatel'nogo basseyna [Mathematical model development of heat and mass exchange processes in the outdoor swimming pools]. *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. 113-118.
12. Harris D. *Energy Management in Buildings*. New York, Spon Press, 2011. 176 p. Available at: <https://books.google.com.ua/books?id=UqqMAGAAQBAJ> (Accessed 03 February 2015).
13. ISO 50001:2011. *Energy management systems – Requirements with guidance for use*. Intern. Organization for Standartization. Geneva, Switzerland. 2011. 22 p. Available at: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=51297 (Accessed 03 February 2015).

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

Надійшла до редколегії 02.12.2014

Прийнята до друку 16.01.2015

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 502.3:504.5:621.43.068.4

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ВЫБРОСАМИ АВТОТРАНСПОРТА В «УЛИЧНЫХ КАНЬОНАХ» ГОРОДА

Цель. Статья посвящена анализу состояния атмосферного воздуха при его загрязнении выбросами автотранспорта в г. Днепропетровск, разработке численной модели и прикладной вычислительной программы для исследования уровня загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта на улицах города при наличии нескольких зданий, расположенных по схеме «уличный каньон». **Методика.** Для достижения поставленной цели изучена динамика изменения концентрации различных вредных веществ, значения которой получены со стационарного поста наблюдения за качеством воздушной среды в г. Днепропетровск. Выполнена оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха отработанными газами автотранспорта (по данным Главного управления статистики в Днепропетровской области). Разработана методика численного расчета концентрации загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта. Для решения гидродинамической задачи по определению поля скорости ветрового потока на улицах города использовалась модель отрывных течений невязкой жидкости; для решения задачи по расчету процесса рассеивания загрязнения – уравнение конвективно-диффузионного переноса примеси. Для реализации предложенной методики использовались неявные разностные схемы. **Результаты.** В работе разработана математическая численная модель, а на ее основе создан пакет прикладных программ, позволяющий оперативно проводить вычислительные эксперименты по оценке уровня загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта на улицах города при наличии нескольких зданий, расположенных по схеме «уличный каньон». В результате проведенных исследований были установлены закономерности по изменению концентрации оксида углерода возле рассматриваемой группы зданий при различной интенсивности выброса загрязнителя. **Научная новизна.** Разработана численная модель, позволяющая учесть гидродинамическое влияние группы зданий на рассеивание загрязняющих веществ при изменении величины скорости ветра и вертикального коэффициента диффузии с высотой. **Практическая значимость.** Проведение данного класса вычислительных экспериментов необходимо в случае реконструкции микрорайонов города, при проектировании и строительстве новых автомагистралей, изменении в структуре транспортных потоков внутри города.

Ключевые слова: загрязняющие вещества; автотранспорт; метод отрывных течений; невязкая жидкость; рассеивание выбросов; разностная схема; «уличный каньон»

Введение

Выбросы от автотранспорта в городах являются основным источником загрязняющих веществ в атмосфере, они постоянно растут как в Украине, так и во всем мире. К тому же вы-

бросы от автотранспорта являются наиболее трудно регулируемые. Следует отметить, что общая тенденция в мире – снижение доли перевозок грузов железнодорожным транспортом, который, как известно, осуществляет значи-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

тельно меньше выбросов в атмосферу по сравнению с автомобильным. Это связано с тем, что автомобильный транспорт, в отличие от железнодорожного, позволяет доставить груз непосредственно на объект. Совершенно очевидно, что такая тенденция имеет место и в Украине. Это значит, что интенсивность автодорожного транспорта будет увеличиваться.

Наибольший вклад в экологический ущерб (62,7 %) вносит автотранспортный комплекс, вклад железнодорожного транспорта достигает 27,7 %, воздушного – 4,5 %, морского – 3,6 % и речного – 1,5 %. Во всех видах негативного воздействия «лидирует» автомобильный транспорт (шум – 49,5 %, воздействие на климат – 68 %, загрязнение атмосферного воздуха – 71 %), за ним следует железнодорожный транспорт. Каждый автомобиль выбрасывает в атмосферу с отработавшими газами около 200 различных компонентов. В выхлопных газах содержатся углеводороды – несгоревшие или не полностью сгоревшие компоненты топлива, доля которых резко возрастает, если двигатель работает на малых оборотах или в момент увеличения скорости на старте, т. е. во время затормозов и у красного сигнала светофора. Именно в этот момент, когда нажимают на акселератор, выделяется больше всего несгоревших частиц: примерно в 10 раз больше, чем при работе двигателя в нормальном режиме. В выхлопных газах двигателя, работающего на нормальном бензине и при нормальном режиме, содержится в среднем 2,7 % оксида углерода. При снижении скорости эта доля увеличивается до 3,9 %, а на малом ходу – до 6,9 %. Оксид углерода, углекислый газ и большинство других газовых выбросов двигателей тяжелее воздуха, поэтому все они скапливаются у земли и представляют значительную угрозу для населения в местах нахождения автомагистралей. Вот поэтому, возможность оперативной оценки уровня концентрации загрязняющих веществ, которые поступают в атмосферу вместе с работой автотранспорта, является актуальной задачей экологической безопасности города.

В настоящее время используется несколько классов математических моделей для решения данного класса задач: эмпирические модели [3] и аналитические модели [13], которые не позволяют учесть гидродинамические процессы при обтекании воздушным потоком зданий раз-

личной формы и размеров, а также численные модели на базе уравнений Навье-Стокса [14, 16–18], которые, учитывая эти процессы, занимают для единичных расчетов большое количество времени.

Сегодня, когда увеличивается количество автотранспорта в каждом городе, необходима разработка новых математических моделей для проведения оперативных численных расчетов по определению концентрации загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта вдоль жилых улиц города «уличных каньонов», где находятся автомагистрали с интенсивным движением автотранспорта.

Цель

Целью данной работы является анализ состояния атмосферного воздуха города Днепропетровска, разработка численной модели и прикладной вычислительной программы для исследования загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта на улицах города при наличии нескольких зданий, расположенных по схеме «уличный каньон».

Методика

Проведен анализ статистических данных по величине выбросов загрязняющих веществ в городе Днепропетровске, что позволило оценить состояние атмосферного воздуха при его загрязнении выбросами автотранспорта.

На территории Днепропетровска находится около 1 500 автохозяйств, государственного транспорта насчитывается около 27 тысяч единиц, в личном пользовании граждан находится около 123 000 автомобилей.

Центральная геофизическая обсерватория Украины, которая отслеживает состояние воздуха в 53 городах страны, опубликовала рейтинг самых экологически-загрязненных городов [11]. Согласно ему Днепропетровск занимает 14 место в этой таблице.

В Днепропетровске размещен комплекс стационарных постов наблюдения за качеством воздушной среды (табл. 1). Данные посты осуществляют постоянный мониторинг уровня загрязнения воздушной среды различными вредными веществами.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Таблица 1

Автоматические посты контроля атмосферного воздуха г. Днепропетровска

Table 1

Automatic inspection stations of air in Dnepropetrovsk city

| | |
|----------|-------------------------|
| Пост №1 | пр. Калинина, 77 |
| Пост №10 | парк им. Шевченко |
| Пост №11 | пл. Островского |
| Пост №13 | ул. Философская, 94 |
| Пост №19 | ул. Краснопольская, 11 |
| Пост №20 | ул. Петровского, 38 |
| Пост №23 | ул. Каруны, 125 |
| Пост №24 | ул. Б. Хмельницкого, 20 |
| Пост №25 | пр. Героев, 21 |
| Пост №26 | ж/м Левобережный |

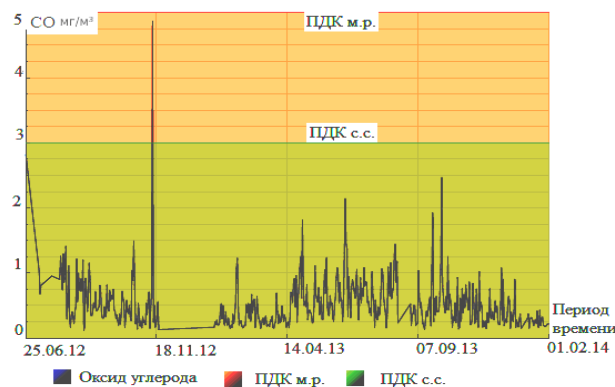


Рис. 1. Изменение концентрации оксида углерода

Fig. 1. Concentration changes of carbon monoxide

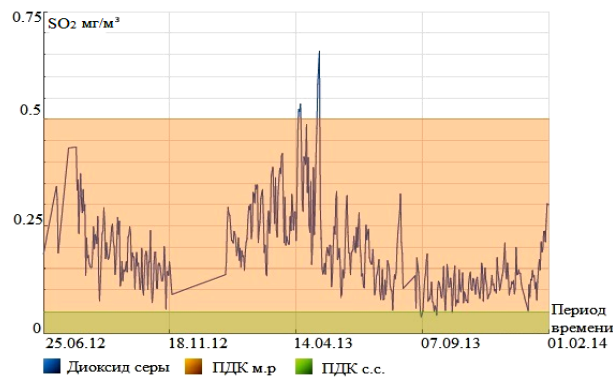


Рис. 2. Изменение концентрации диоксида серы

Fig. 2. Concentration changes of sulfur dioxide

Так, на рис. 1–2 представлены данные с поста № 1 по величине концентрации оксида углерода и диоксида серы за период времени с 25.06.2012 по 01.02.2014.

Анализируя данные рис. 1–2, следует отметить, что показания данного поста не позволяют оценить влияние автотранспорта на уровень загрязнения атмосферы, поскольку пост размещен на определенном расстоянии от автомагистрали.

Анализ статистических данных по качеству воздушной среды в городе Днепропетровске показал, что в ряде районов (пл. Островского, пр. Газеты «Правда», пл. Ленина) наблюдается превышение предельно допустимых норм уровня загазованности по оксиду углерода (CO) и углеводороду (CH). Наибольший уровень загрязнения воздуха отмечен на пл. Островского – одной из транспортных развязок Днепропетровска. Одной из причин загрязнения воздуха являются отработанные газы автотранспорта.

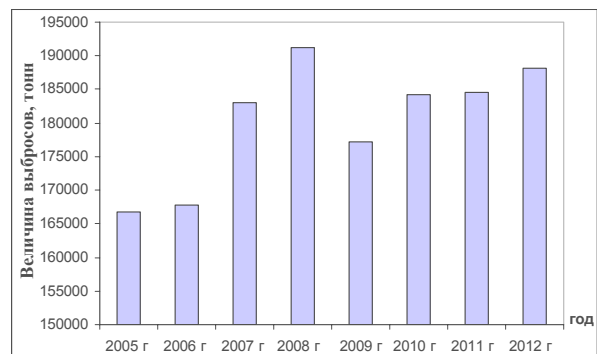


Рис. 3. Величина выбросов загрязняющих веществ (кроме оксида углерода)

Fig. 3. Emissions value (except carbon monoxide)

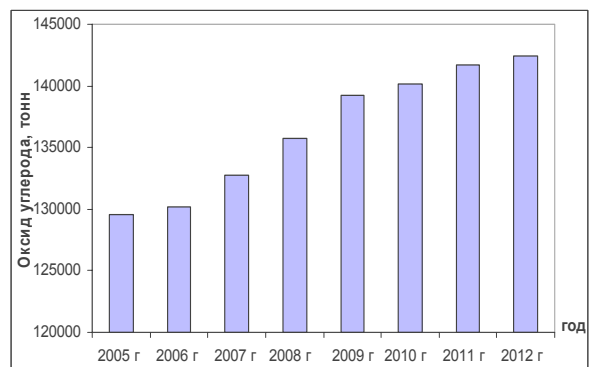


Рис. 4. Величина выбросов оксида углерода

Fig. 4. Value of carbon dioxide emissions

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

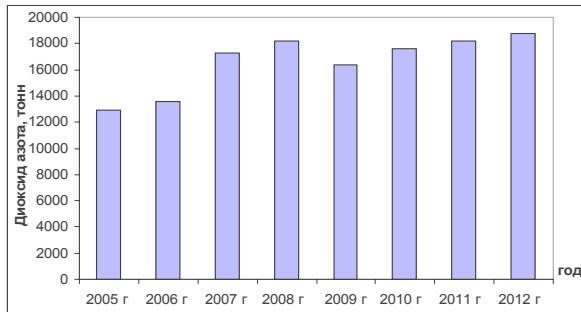


Рис. 5. Величина выбросов диоксида азота

Fig. 5. Value of nitrogen dioxide emissions

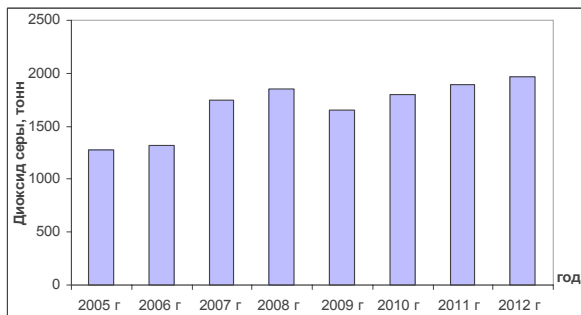


Рис. 6. Величина выбросов диоксида серы

Fig. 6. Value of sulfur dioxide emissions

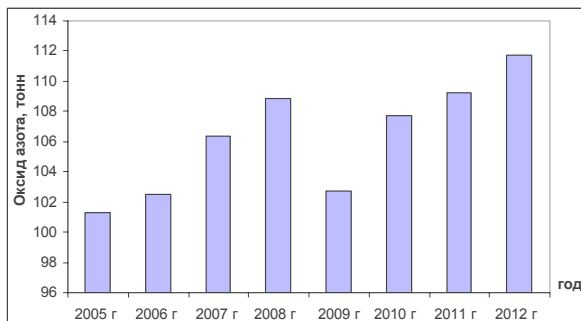


Рис. 7. Величина выбросов оксида азота

Fig. 7. Value of nitrogen oxide emissions

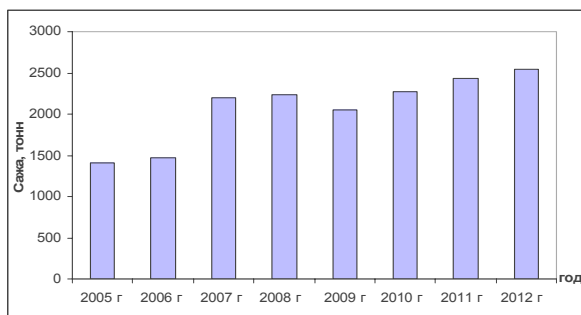


Рис. 8. Величина выбросов сажи

Fig. 8. Value of soot emissions

В работе был выполнен анализ интенсивности эмиссии загрязняющих веществ от автотранспорта в Днепропетровской области. Для анализа использовались данные Главного управления статистики в Днепропетровской области [11].

Предоставленные данные были обработаны и представлены в виде графиков (рис. 3–8), которые дают возможность проанализировать динамику выбросов от всех видов автотранспорта в атмосферу по Днепропетровской области за период с 2005 года по 2012 год как по общим выбросам, так и по отдельным их составляющим: оксиду углерода, диоксиду азота, оксиду азота, диоксиду серы, сажи. Как видно, эти показатели постоянно увеличиваются.

Как видно из представленных графиков (рис. 3–8), в Днепропетровской области наблюдается большая эмиссия загрязняющих веществ от автотранспорта. Максимум выбросов был зафиксирован в 2008 году, а затем снижается примерно на 12 %, что, очевидно, обусловлено экономическим кризисом, который начался осенью 2008 года. В настоящее время происходит увеличение всех выбросов загрязнителей от автотранспорта, среди которых оксид углерода занимает лидирующее место.

В работе рассматривается процесс распространения загрязняющих веществ на улице при наличии нескольких зданий, расположенных по схеме «уличный каньон» (рис. 9) [8–9, 14, 16, 18].

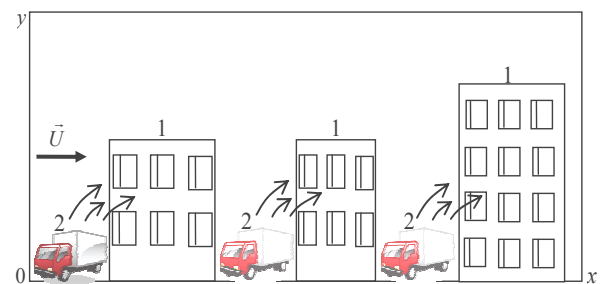


Рис. 9. Схема расчетной области:

1 – здания; 2 – места эмиссии загрязнителей

Fig. 9. The computational domain:

1 – buildings; 2 – emission places of pollutants

Для оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта необходимо предварительно решить гидродинамическую задачу по определению поля скорости ветрового потока на улице. Для решения этой задачи применяется модель отрывных вихре-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

вых течений невязкой жидкости [6, 12], поскольку решение этой задачи методом дискретных вихрей, который был рассмотрен в работах [1, 8–9], представляет определенную трудность в алгоритме расчета поля скорости.

В этом случае базовыми уравнениями являются: уравнение переноса завихренности (1) и уравнение Пуассона для расчета функции тока (2):

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial u \omega}{\partial x} + \frac{\partial v \omega}{\partial y} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\omega, \quad (2)$$

где $\omega = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$ – завихренность; ψ – функция тока.

Компоненты вектора скорости ветрового потока: $u = \frac{\partial \psi}{\partial y}$, $v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$.

Так как отрыв потока происходит в угловых точках зданий, то возникает задача расчета их интенсивности, для решения которой используется подход, рассмотренный в работах [6, 12, 15].

Для уравнения Пуассона на поверхности препятствия ставится граничное условие «непротекания»: $\psi = 0$.

На границе входа воздушного потока в расчетную область задается вектор скорости воздушного потока и соответствующее значения функции тока ψ и завихренности ω : $\psi|_{\text{вход}} = \psi(y)$, $\omega|_{\text{вход}} = \omega(y)$.

На верхней границе расчетной области также ставится условие «непротекания»: $\psi = \text{const}$.

На границе выхода воздушного потока из расчетной области ставятся «мягкие» граничные условия, необходимые для замыкания разностных уравнений.

Решение стационарной гидродинамической задачи находится методом установления решения по времени t . Для этого в начальный момент $t = 0$ для завихренности ставится начальное условие типа: $\omega|_{t=0} = 0$ или $\omega|_{t=0} = \omega_0(x, y)$.

После решения уравнений (1)–(2) и расчета поля скорости ветрового потока решается задача о переносе загрязняющих веществ на улицах. Для моделирования этого процесса используется уравнение переноса примеси в атмосфере [6, 12, 15]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial u C}{\partial x} + \frac{\partial v C}{\partial y} + \sigma C = \text{div}(\mu \text{grad} C) + \sum_{i=1}^N Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i), \quad (3)$$

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

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работах [5–6, 12].

Для формирования вида расчетной области, положения зданий, их формы, используется метод маркирования расчетной области [12]. Расчет выполняется на прямоугольной разностной сетке. Используя данный метод, можно формировать любую форму зданий на улицах и выбирать их взаимное расположение.

Метод решения. Для численного интегрирования уравнений гидродинамики используются неявные разностные схемы. Так для интегрирования уравнения переноса завихренности применяется попеременно-треугольная разностная схема [2, 7, 10]. Разностные уравнения для расчета завихренности на каждом шаге расщепления имеют вид:

– на первом шаге расщепления

$$\frac{\omega_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + \omega_{i,j}^n}{\Delta t} + \frac{u_{i+1,j}^+ \omega_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - u_{i,j}^+ \omega_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} + \frac{v_{i,j+1}^+ \omega_{i,j} - v_{i,j}^+ \omega_{i,j-1}}{\Delta y} = 0,$$

– на втором шаге расщепления

$$\frac{\omega_{i,j}^{n+1} - \omega_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} + \frac{u_{i+1,j}^- \omega_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - u_{i,j}^- \omega_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} + \frac{v_{i,j+1}^- \omega_{i,j+1}^{n+\frac{1}{2}} - v_{i,j}^- \omega_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y} = 0,$$

где $u^+ = \frac{u+|u|}{2}$, $u^- = \frac{u-|u|}{2}$, $v^+ = \frac{v+|v|}{2}$, $v^- = \frac{v-|v|}{2}$.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Значение завихренности на каждом расчетном шаге рассчитывается по формуле «бегущего счета».

Значение функции тока рассчитывается с помощью разностной схемы суммарной аппроксимации [5]. В этом случае, разностные уравнения записываются так:

– на первом шаге

$$\frac{\Psi_{i,j}^{n+\frac{1}{4}} - \Psi_{i,j}^n}{\Delta t} = \frac{\bar{\omega}_{i,j}}{2},$$

– на втором шаге

$$\frac{\Psi_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \Psi_{i,j}^n}{\Delta t} = -\frac{\Psi_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \Psi_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} - \frac{\Psi_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \Psi_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y^2},$$

– на третьем шаге

$$\frac{\Psi_{i,j}^{n+\frac{3}{4}} - \Psi_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} = \frac{\Psi_{i,j}^{n+\frac{3}{4}} - \Psi_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} + \frac{\Psi_{i,j+1}^{n+\frac{3}{4}} - \Psi_{i,j}^{n+\frac{3}{4}}}{\Delta y^2};$$

– на четвертом шаге

$$\frac{\Psi_{i,j}^{n+1} - \Psi_{i,j}^{n+\frac{3}{4}}}{\Delta t} = \frac{\bar{\omega}_{i,j}}{2},$$

$$\bar{\omega}_{i,j} = \frac{1}{4}(\omega_{i,j} + \omega_{i-1,j+1} + \omega_{i-1,j-1} + \omega_{i,j-1}).$$

Численное интегрирование уравнения переноса примеси проводится с помощью неявной разностной схемы расщепления [6, 12].

Производная по времени аппроксимируется разделенной разностью «назад»:

$$\frac{\partial C}{\partial t} \approx \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{ij}^n}{\Delta t}.$$

В конвективных производных слагаемые одностороннего переноса записываются в виде:

$$\frac{\partial u C}{\partial x} = \frac{\partial u^+ C}{\partial x} + \frac{\partial u^- C}{\partial x}; \quad \frac{\partial v C}{\partial y} = \frac{\partial v^+ C}{\partial y} + \frac{\partial v^- C}{\partial y}.$$

С учетом предыдущего выражения конвективные производные аппроксимируются разделенными разностями «против потока» на верхнем временном слое:

$$\frac{\partial u^+ C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j}^+ C_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^+ C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial u^- C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j}^- C_{i+1,j}^{n+1} - u_{i,j}^- C_{i,j}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1},$$

$$\frac{\partial v^+ C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^+ C_{i,j}^{n+1} - v_{i,j}^+ C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^+ C^{n+1}$$

$$\frac{\partial v^- C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^- C_{i,j+1}^{n+1} - v_{i,j}^- C_{i,j}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^- C^{n+1}.$$

Компоненты скорости u определяются на вертикальных гранях разностных ячеек, а компоненты скорости v – на горизонтальных гранях. Индексы этих граней соответствуют индексам ячеек, расположенных правее или выше соответствующей грани.

Вторые производные аппроксимируются следующим образом:

$$\frac{\partial}{\partial x} (\mu_x \frac{\partial C}{\partial x}) \approx \mu_x \frac{C_{i+1,j}^{n+1} - C_{i,j}^{n+1}}{\Delta x^2} -$$

$$-\mu_x \frac{C_{i,j}^{n+1} - C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x^2} = M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial}{\partial y} (\mu_y \frac{\partial C}{\partial y}) \approx \mu_y \frac{C_{i,j+1}^{n+1} - C_{i,j}^{n+1}}{\Delta y^2} -$$

$$-\mu_y \frac{C_{i,j}^{n+1} - C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y^2} = M_{yy}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1}.$$

Здесь L_x^+ , L_x^- , L_y^+ , L_y^- , M_{xx}^+ , M_{xx}^- , M_{yy}^+ , M_{yy}^- – условные обозначения разностных операторов. С учетом приведенных выше обозначений разностный аналог уравнения (14) записывается

$$\begin{aligned} & \frac{C_{i,j}^{n+1} - C_{i,j}^n}{\Delta t} + L_x^+ C^{n+1} + L_x^- C^{n+1} + L_y^+ C^{n+1} + \\ & + L_y^- C^{n+1} + \sigma C_{ij}^{n+1} = (M_{xx}^+ C^{n+1} + M_{xx}^- C^{n+1} + \\ & + L_{yy}^+ C^{n+1} + L_{yy}^- C^{n+1}) + q_{ij} \delta_{ij}. \end{aligned}$$

Обозначаем δ_{ij} – число «1» или «0», в зависимости от того, расположен или нет в разностной ячейке « ij » источник загрязнения. Значение q_{ij} равно интенсивности q_k соответствующего k -го источника, размещенного в разностной ячейке « ij », деленной на площадь этой ячейки: $q_{ij} = q_k / (\Delta x \Delta y)$.

Расщепляем разностное уравнение на четыре разностных уравнения так, чтобы на каждом

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

шаге учитывалось лишь одно направление переноса возмущений, определяемое знаком при конвективной производной. В этом случае разностные уравнения имеют вид:

– на первом шаге расщепления $k = \frac{1}{4}$

$$\begin{aligned} \frac{C_{ij}^{n+k} - C_{ij}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^+ C^k + L_y^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k = \\ = \frac{1}{4}(M_{xx}^+ C^k + M_{xx}^- C^n + M_{yy}^+ C^k + M_{yy}^- C^n) + \\ + \sum_{l=1}^N \frac{\bar{q}_l}{4} \delta_l ; \end{aligned}$$

– на втором шаге расщепления $k = n + \frac{1}{2}$,

$$\begin{aligned} c = n + \frac{1}{4} \\ \frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^- C^k + L_y^- C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k = \\ = \frac{1}{4}(M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c) + \\ + \sum_{l=1}^N \frac{\bar{q}_l}{4} \delta_l ; \end{aligned}$$

– на третьем шаге расщепления $k = n + \frac{3}{4}$,

$$\begin{aligned} c = n + \frac{1}{2} \\ \frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^+ C^k + L_y^- C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k = \\ = \frac{1}{4}(M_{xx}^- C^c + M_{xx}^+ C^k + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c) + \\ + \sum_{l=1}^N \frac{\bar{q}_l}{4} \delta_l ; \end{aligned}$$

– на четвертом шаге расщепления $k = n + 1$,

$$\begin{aligned} c = n + \frac{3}{4} \\ \frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^- C^k + L_y^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} = \frac{1}{4}(M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^c + M_{yy}^+ C^k) + \\ + \sum_{l=1}^N \frac{\bar{q}_l}{4} \delta_l . \end{aligned}$$

В данных разностных уравнениях используется значение $\bar{q}_l = \frac{q_l}{\Delta x \Delta y}$. Значение функции δ_l

тождественно равно нулю во всех ячейках, кроме тех, где расположен источник выброса.

Поскольку на каждом шаге расщепления шаблон разностных уравнений имеет треугольную форму, то на верхнем временном слое неизвестное значение функции C находится по методу «бегущего счета».

Результаты

Разработанная численная модель была применена для расчета концентрации оксида углерода для схемы «уличный каньон» при наличии трех зданий (рис. 10–11). Рассматривалось два сценария.

Первый сценарий: на каждой улице происходит выброс CO от автотранспорта с интенсивностью $Q = 0,5$ г/с.

Второй сценарий: интенсивность выброса CO возле первого здания возрастает и становится равной $Q = 1,2$ г/с, а на остальных улицах остается неизменной $Q = 0,5$ г/с. То есть второй сценарий моделирует ситуацию, когда на первой улице увеличивается интенсивность движения автотранспорта.

Расчет выполнялся при следующих данных: высота первого здания 16 м, длина 20 м; высота второго здания 16 м, длина 15 м; высота третьего здания 24 м, длина 20 м. Размеры расчетной области: 125 м × 84 м.

Для учета изменения величины скорости ветра с высотой Y на практике наиболее часто используют модели вида [5]: $u = u_1 \frac{\lg Y/Y_0}{\lg Y_1/Y_0}$,

$u = u_1 (Y/Y_1)^n$, где u_1 – значение скорости ветра на некоторой фиксированной высоте Y_1 ; $n \approx 0,15 \div 0,69$ (зависит от величины шероховатости подстилающей поверхности Y_0 м и класса устойчивости атмосферы [5]).

Как известно, величина шероховатости подстилающей поверхности Y_0 примерно состав-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

ляет 10 % от высоты элементов «выступов» (травы, посевов), а для сложного рельефа местности (деревья, здания) она варьируется в диапазоне $Y_0 = 1 \text{ м} \div 10 \text{ м}$ [2, 7].

Расчет коэффициентов турбулентной диффузии. На практике для расчета величины вертикального коэффициента диффузии, который, как известно, определяет степень устойчивости атмосферы, используются различные модели. Например, [3, 5]:

– для высоты $Y > hh$ (hh – высота приземного слоя) можно считать: $\mu_y = \gamma + k_1 \frac{hh}{Y_1}$, где γ –

коэффициент молекулярной диффузии (в прикладных расчетах можно полагать $\gamma = 0$); k_1 – коэффициент турбулентной диффузии на высоте Y_1 , зависящий от конкретного региона (в США используют значение $hh = 100 \text{ м}$; $k_1 = 0,2 \text{ м}^2/\text{с}$ для $Y_1 = 2 \text{ м}$) [5];

– для высоты $Y < hh$, $\mu_x \approx \mu_y$, горизонтальный коэффициент турбулентной диффузии рассчитывается по формуле [3, 5]: $\mu_x = (0,1 \div 1)u$; вертикальный коэффициент диффузии определяется так: $\mu_y = \gamma + k_1 \frac{Y}{Y_1}$, где $k_1 = 0,1 \div 0,2 \text{ м}^2/\text{с}$,

высота приземного слоя атмосферы обычно принимается равной $hh = 50 \div 100 \text{ м}$.

В разработанной численной модели скорость ветра определяется по зависимости $u = u_1 (Y/Y_1)^n$, где $u_1 = 4,5 \text{ м/с}$ – значение скорости ветра на высоте $Y_1 = 10 \text{ м}$; $n = 0,15$. Значение вертикального коэффициента диффузии определяется по зависимости $\mu_y = k_1 \left(\frac{Y}{Y_1} \right)^m$, $k_1 = 0,2$, $m \approx 1$ [3, 5].

В результате проведенных исследований были установлены закономерности по изменению концентрации оксида углерода возле рассматриваемой группы зданий при различной интенсивности выброса оксида углерода. На рис. 10–11 показаны зоны загрязнения атмосферного воздуха для каждого сценария. Каждое число – величина концентрации в процентах от максимального значения концентрации на расчетный момент времени. Хорошо видно, что под влиянием выбросов находятся все здания на улице. Наибольшее загрязнение наблюдается в каньонах между первым и вторым зданиями, а также

между вторым и третьим зданиями – места эмиссии загрязнителя. Это связано с тем, что здесь формируются застойные области.

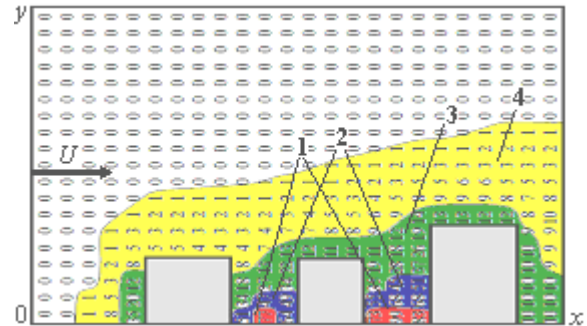


Рис. 10. Распределение концентрации CO, $C_{\max} = 0,144 \text{ г/м}^3$ (первый сценарий)
1 – 100–75 %; 2 – 74–41 %; 3 – 40–10 %; 4 – <10 %

Fig. 10. Concentration distribution of CO, $C_{\max} = 0,144 \text{ g/m}^3$ (the first scenario)
1 – 100–75 %; 2 – 74–41 %; 3 – 40–10 %; 4 – <10 %

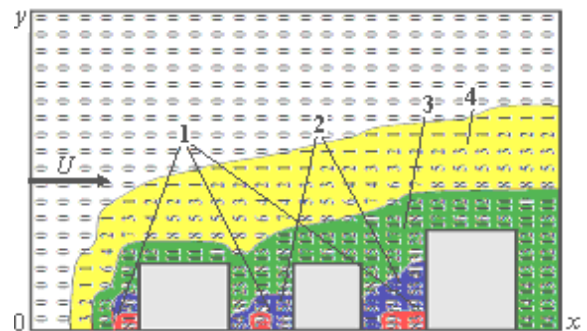


Рис. 11. Распределение концентрации CO, $C_{\max} = 0,151 \text{ г/м}^3$ (второй сценарий)
1 – 100–75 %; 2 – 74–41 %; 3 – 40–10 %; 4 – <10 %

Fig. 11. Concentration distribution of CO, $C_{\max} = 0,151 \text{ g/m}^3$ (the second scenario)
1 – 100–75 %; 2 – 74–41 %; 3 – 40–10 %; 4 – <10 %

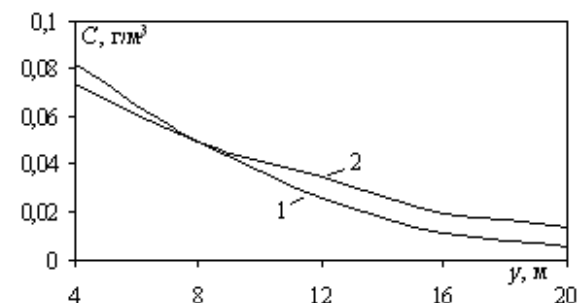


Рис. 12. Распределение концентрации загрязнителя за первым зданием:
1 – первый сценарий; 2 – второй сценарий

Fig. 12. Concentration distribution of the pollutant behind the first building:
1 – the first scenario; 2 – the second scenario

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

На графике (рис. 12) показано распределение концентрации загрязнителя на подветренной стороне первого здания для каждого сценария.

Как видно из представленного рис. 12, расхождение по величине концентрации для различных сценариев наблюдается начиная с высоты 11 м и составляет примерно 8 %. Это связано с тем, что здание выполняет само по себе защитную функцию, т.е. является механическим препятствием на пути рассеивания загрязнителя.

Научная новизна и практическая значимость

Разработана численная модель, а на ее основе пакет прикладных программ, позволяющий провести вычислительный эксперимент по оценке уровня загрязнения атмосферного воздуха выбросами от автотранспорта на улицах при наличии группы зданий, расположенных по схеме «уличный каньон». Достоинством разработанной модели является возможность расчета рассеивания выбросов на улице с учетом изменения величины скорости ветра и вертикального коэффициента диффузии с высотой.

Выводы

В данной работе разработана численная модель для моделирования загрязнения атмосферного воздуха на улицах при наличии группы зданий, расположенных по схеме «уличный каньон». Определение поля скорости ветрового потока, которое изменяется практически в каждой точке пространства по абсолютной величине и по направлению за счет образования застойных зон при обтекании зданий, представляет очень трудную задачу. Если же рассматривается группа зданий, расположенных по схеме «уличный каньон», и учитывается изменение величины скорости ветра с высотой, то применение метода дискретных вихрей [8] для решения гидродинамической задачи очень усложняет алгоритм расчета. Поэтому, для решения гидродинамической задачи при типичных ситуациях используется модель отрывных течений невязкой жидкости. Процесс переноса загрязняющих веществ на улицах моделируется с помощью нестационарного уравнения конвективно-диффузионного переноса примеси. Для численного интегрирования уравнений модели используются неявные разностные схемы.

Проведение данного класса вычислительных экспериментов необходимо в случае реконструкции микрорайонов города, при проектировании и строительстве новых автомагистралей, изменении в структуре транспортных потоков внутри города.

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. Численное моделирование загрязнения воздушной среды на промплощадках / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, П. Б. Машихина // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 16. – С. 18–20.
3. Бруцкий, Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов / Е. В. Бруцкий. – Киев : Ин-т гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.
4. Головне управління статистики в Дніпропетровській області [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dnprstat.gov.ua>. – Загл. с экрана. – Проверено : 09.07.2014.
5. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г. И. Марчук – Москва : Наука, 1982. – 320 с.
6. Моделирование аварийных ситуаций на промышленных объектах и безопасность жизнедеятельности / Л. И. Антошкина, Н. Н. Беляев, Л. Ф. Долина, Е. Д. Коренюк. – Дніпропетровськ : Нова ідеологія, 2011. – 123 с.
7. Пшинько, А. Н. Моделирование загрязнения атмосферы при техногенных авариях / А. Н. Пшинько, Н. Н. Беляев, П. Б. Машихина. – Дніпропетровськ : Нова ідеологія, 2011. – 168 с.
8. 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 залізн. трансп. ім. академіка В. Лазаряна. – 2013. – № 6 (48). – С. 32–44.
9. Русакова, Т. И. Численное исследование структуры вихревого потока около высотных сооружений / Т. И. Русакова, В. И. Карплюк // Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Серія «Механіка». – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 10, т. 1. – С. 154–160.
10. Самарский, А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. – Москва : Наука, 1983. – 616 с.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

11. Центральна геофізична обсерваторія [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cgo.org.ua>. – Загл. с экрана. – Проверено : 09.07.2014.
12. 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.
13. Шаталов, А. А. Методика расчета распространения аварийных выбросов, основанная на модели рассеивания тяжелого газа / А. А. Шаталов, М. В. Лисанов // Безопасность труда в пром-сти. – 2004. – № 9. – С. 46–52.
14. Berkowicz, R. A Simple Model for Urban Background Pollution / R. Berkowicz // Environmental Monitoring and Assessment. – 2000. – Vol. 65. – Iss. 1/2. – P. 259–267. doi: 10.1007/978-94-010-0932-4_28.
15. Biliaiev, M. M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography / M. M. Biliaiev, M. M. Kharytonov // Air Pollution Modeling and its Application XXI, NATO SPS Series C : Environmental Security, 2012. – P. 87–91. doi: 10.1007/978-94-007-1359-8_15.
16. Härkönen, J. Regulatory dispersion modelling of traffic originated pollution: academic diss. in physics / J. Härkönen. – Helsinki : University of Helsinki, 2006. – 104 p.
17. 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.
18. Sathe Yogesh, V. Air Quality Modeling in Street canyons of Kolhapur City, Maharashtra, India / 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

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВИКИДАМИ АВТОТРАНСПОРТУ У «ВУЛИЧНИХ КАНЬЙОНАХ» МІСТА

Мета. Стаття присвячена аналізу стану атмосферного повітря при його забрудненні викидами автотранспорту в м. Дніпропетровськ, розробці чисельної моделі та прикладної обчислювальної програми для дослідження рівня забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту на вулицях міста за наявності декількох будівель, розміщених за схемою «вуличний каньйон». **Методика.** Для досягнення поставленої мети вивчено динаміку зміни концентрації різних шкідливих речовин, значення якої отримані зі стаціонарного поста спостереження за якістю повітряного середовища в м. Дніпропетровськ. Виконано оцінку рівня забруднення атмосферного повітря відпрацьованими газами автотранспорту (за даними Головного управління статистики в Дніпропетровській області). Розроблено методику чисельного розрахунку концентрації забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту. Для розв’язання гідродинамічної задачі по визначенню поля швидкості вітрового потоку на вулицях міста використовувалась модель відривних течій невязкої рідини; для розв’язання задачі по розрахунку процесу розсіювання забруднення – рівняння конвективно-дифузійного переносу домішки. Для реалізації запропонованої методики використовувались неявні різницеві схеми. **Результати.** У роботі розроблено математичну чисельну модель, а на її основі створено пакет прикладних програм, що дозволяє оперативно проводити обчислювальні експерименти по оцінці рівня забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту на вулицях міста при наявності декількох будівель, розміщених за схемою «вуличний каньйон». У результаті проведених досліджень були встановлені закономірності по зміні концентрації оксиду вуглецю біля групи будівель при різних інтенсивності викиду забруднювача. **Наукова новизна.** Розроблено чисельну модель, що дозволяє враховувати гідродинамічний вплив групи будівель на розсіювання забруднюючих речовин при зміні величини швидкості вітру та вертикального коефіцієнту дифузії з висотою. **Практична значимість.** Проведення даного класу обчислювальних експериментів необхідне у випадку реконструкції мікрорайонів міста, при проектуванні та будівництві нових автомагістралей, при змінах в структурі транспортних потоків у середині міста.

Ключові слова: забруднюючі речовини; автотранспорт; метод відривних течій; невязка рідини; розсіювання викидів; різницева схема; «вуличний каньйон»

doi 10.15802/STP2015/38236

© Т. І. Русакова, 2015

T. I. RUSAKOVA^{1*}

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

RESEARCH OF AIR POLLUTION FROM TRAFFIC IN «STREET CANYONS» OF CITY

Purpose. The article is devoted to state analyze of atmospheric air at its pollution with vehicle emissions in Dnipropetrovsk city, the development a numerical model and applied computing program for research of air pollution level with vehicle emissions on the streets when several buildings are located on the scheme «street canyon». **Methodology.** To achieve the research purpose it was studied the dynamic of change concentration of different pollutants that have been fixed on monitoring station of air quality in Dnipropetrovsk city. It was performed level assessment of air pollution from traffic (according to the Main Statistical Office in Dnipropetrovsk region). It was developed methodology for numerical calculation of concentration the atmospheric air pollution from vehicle emissions. To solve hydrodynamic task of determining velocity field of wind flow in streets the model of separated flows of an inviscid fluid was used; to solve the task of the calculation process of dispersion pollution the equation of convective-diffusion transfer of pollutant was used. To implement the proposed methodology we used implicit difference schemes. **Findings.** In the work a mathematical numerical model was developed and computing programs on its base were created. It allows conducting the computational experiments for evaluation the level of air pollution from vehicle emissions on the streets when several buildings are located on the scheme «street canyon». As a result of research regulations on change concentration of carbon monoxide near a considered group of buildings at different pollutant emissions were established. **Originality.** This numerical model was developed which allows accounting the hydrodynamic impact of group buildings on dispersion of pollutants when the wind speed and the vertical diffusion coefficient vary with height. **Practical value.** Conducting such class of computational experiments is necessary in the case of reconstruction of city microregions, during the planning and construction of new highways, change in the structure of traffic in the city.

Keywords: pollutants; traffic; separated flows method; inviscid fluid; dispersion of emissions; the difference scheme; «street canyon»

REFERENCES

1. Belotserkovskiy S.M., Kotovskiy V.N., Nisht M.I. *Matematicheskoye modelirovaniye ploskoparallelnogo ot-ryvnoy obtekaniya tel* [Mathematical modeling of plane-separated flow around bodies]. Moscow, Nauka Publ., 1988. 232 p.
2. Belyaev N.N., Gunko Ye.Yu., Mashikhina P.B. Chislennoye modelirovaniye zagryazneniya vozdushnoy sredy na promyshlennyykh ob'ektakh [Numerical modelling of pollution of the air environment at industrial sites]. *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 16., pp. 138-142.
3. Bruyatskiy Ye.V. *Teoriya atmosferynoy diffuzii radioaktivnykh vybrosov* [Theory of atmospheric diffusion of radioactive emissions]. Kiev, In-t gidromekhaniki NAN Ukrainy Publ., 2000. 443 p.
4. *Glavnoye upravleniye statistiki v Dnepropetrovskoy oblasti* [Department of Statistics in the Dnipropetrovsk region]. Available at: <http://www.dneprstat.gov.ua> (Accessed 09 July 2014).
5. Marchuk G.I. *Matematicheskoye modelirovaniye v probleme okruzhayushhey sredy* [Mathematical modelling in the environmental problem]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 320 p.
6. Antoshkina L.I., Belyayev N.N., Dolina L.F., Korenyuk Ye.D. *Modelirovaniye avariynykh situatsiy na promyshlennykh ob'ektakh i bezopasnost zhiznedeyatel'nosti* [Modelling emergencies at industrial facilities and the safety of life]. Dnipropetrovsk, Nova ideolohiia Publ., 2011. 123 p.
7. Pshinko A.N., Belyayev N.N., Mashikhina P.B. *Modelirovaniye zagryazneniya atmosfery pri tekhnogennykh avariakh* [Modelling of air pollution in man-caused accidents]. Dnipropetrovsk, Nova ideolohiia Publ., 2011. 168 p.
8. Rusakova T.I. *Prognozirovaniye zagryazneniya vozdushnoy sredy ot avtotransporta na ulitsakh i microrayonakh goroda* [Prediction of air pollution from autotransport in streets and in districts of a city]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Sci-*

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

- ence and Transport Progress. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 6 (48), pp. 32-44.
9. Rusakova T.I., Karplyuk V.I. Chislennoye issledovaniye struktury vikhrevogo potoka okolo vysotnykh sooruzheniy [Numerical study of the structure of the vortex flow around high buildings]. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Seriya «Mekhanika»* [Bulletin of Dnipropetrovsk University, Series «Mechanics»], 2006, issue 10, vol. 1, pp. 154-160.
 10. Samarskiy A.A. *Teoriya raznostnykh skhem* [The theory of difference schemes]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 616 p.
 11. *Tsentralna heofizychna observatoriia* [Central Geophysical Observatory]. – Available at: <http://www.cgo.org.ua>. (Accessed 09 July 2014).
 12. 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.
 13. Shatalov A.A., Lisanov M.V. Metodika rascheta rasprostraneniya avariynykh vybrosov, osnovannaya na modeli rasseivaniya tyazhelogo gaza [Method of spread calculation of accidental releases, based on the model of heavy gas dispersion]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti – Security of labor in the industry*, 2004, no. 9, pp. 46-52.
 14. Berkowicz R.A Simple Model for Urban Background Pollutio. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2000, vol. 65, pp. 259-267. doi: 10.1007/978-94-010-0932-4_28.
 15. Biliaiev M.M., Kharytonov M.M. Numerical simulation of indoor air pollution and atmosphere pollution for regions having complex topography. *Air Pollution Modeling and it's Application XXI, NATO SPS Series C: Environmental Security*, 2012, vol. 4, issue 1/2, pp. 87-91. doi: 10.1007/978-94-007-1359-8_15.
 16. Härkönen J. Regulatory dispersion modeling of traffic originated pollution. Helsinki, University of Helsinki, 2006. 104 p.
 17. 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, 3 p.
 18. Sathe Yogesh V. Air Quality Modeling in Street canyons of Kolhapur City, Maharashtra, India. *Universal Journal of Environmental research and Technology*, 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 20.10.2014

Принята к печати 16.12.2014

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

UDC [656.2:625.17]:338.47

M. I. MISHCHENKO^{1*}

^{1*}Dep. «Economy and Management», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 80, e-mail mmi@ua.fm, ORCID 0000-0003-0372-1957

MODEL OF FEES CALCULATION FOR ACCESS TO TRACK INFRASTRUCTURE FACILITIES

Purpose. The purpose of the article is to develop a one- and two-element model of the fees calculation for the use of track infrastructure of Ukrainian railway transport. **Methodology.** On the basis of this one can consider that when planning the planned preventive track repair works and the amount of depreciation charges the guiding criterion is not the amount of progress it is the operating life of the track infrastructure facilities. The cost of PPTRW is determined on the basis of the following: the classification track repairs; typical technological processes for track repairs; technology based time standards for PPTRW; costs for the work of people, performing the PPTRW, their hourly wage rates according to the Order 98-Ts; the operating cost of machinery; regulated list; norms of expenditures and costs of materials and products (they have the largest share of the costs for repairs); railway rates; average distances for transportation of materials used during repair; standards of general production expenses and the administrative costs. **Findings.** The models offered in article allow executing the objective account of expenses in travelling facilities for the purpose of calculation of the proved size of indemnification and necessary size of profit, the sufficient enterprises for effective activity of a travelling infrastructure. **Originality.** The methodological bases of determination the fees (payments) for the use of track infrastructure on one- and two-element base taking into account the experience of railways in the EC countries and the current transport legislation were grounded. **Practical value.** The article proposes the one- and two-element models of calculating the fees (payments) for the TIF use, accounting the applicable requirements of European transport legislation, which provides the expense compensation and income formation, sufficient for economic incentives of the efficient operation of the TIE of Ukrainian railway transport.

Keywords: enterprises; track infrastructure facilities; fees; service life

Introduction

The main problem of determination the fees for the use of the track infrastructure facilities of railway transport is that the people do not always understand the need to pay to the railways for the economic benefits they generate. Therefore, it is the railroads that are interested in evaluating and offering the benefits providing the public with compensation. The sources of fees will be different in each case but they can be grouped into several categories.

Determination of the fee level for the use of the track infrastructure of railways should be implemen-

ted in accordance with the experience of the railways of the EU-27. The Directive 91/440/EU, 95/19/EU Directive, Directive 2001/14/EU [1] are the governing Directives.

The so-called two-element rate structure with fixed and variable constituents is introduced in seven European countries. The first constituent is determined by the relationship between the planned needs of the operator and fixed costs for track infrastructure enterprises. The variable constituent is determined on the fact of use of the network resources and is determined by mileage of cargo ton-km [13].

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

One-element structure is calculated on the basis of mileage (train-km) and gross freight turnover, i.e. the fee is directly proportional to the actual use of the operational activity intensity.

It is in the one-element structure the most of marginal costs are determined on the basis of statistical data, which much simplifies the method of determining their level. However, a significant drawback of the one-element structure is a low level of justification of conditionally fixed costs [12, 13].

If it is necessary to form and maintain the internal competition, the presence of more than one operator is an appropriate use of the two-element fee. In cases there is no need to form a competition the one-element fee is reasonable (high-speed lines, one operator – the track infrastructure user).

In this case the track infrastructure enterprises of Ukraine have to charge a fee on the basis of projected costs and desired profits. But today there is not the calculation model of fee for the use of track infrastructure facilities.

Purpose

According to the above mentioned and the Paragraph 1 and 5 of the Article 4 of the Section II «Fees for the use of track infrastructure» of the Directive 2001/14/EU from February 26, 2001 [1] the purpose of the article is to develop a one- and two-element model of the fees calculation for the use of track infrastructure of Ukrainian railway transport.

Methodology

The one-element model of the fee calculation is based on the level providing the compensation for expenses and generation of the profits sufficient for economic incentive of efficient operation of the track infrastructure enterprises.

Thus, the amount of fees for the use of track infrastructure on the one-element basis can be calculated by the formula (1):

$$Fees_{t.i.} = \frac{C_{TIE}^{reduced} + P_{TIE}}{\sum PL_{gross}(L_{TIF}^{reduced})} \quad (1)$$

where $C_{TIE}^{reduced}$ – are the reduced annual costs of track infrastructure enterprises (TIE) of the structure of track infrastructure facilities (TIF) on the railroad section; P_{TIE} – profits of the track infrastructure enterprises; $\sum PL_{gross}(L_{TIF}^{reduced})$ – the

planned volume of operation activity on the railroad section, 1 000 ton-km gross (1 km of the reduced TIF structure of the main track length).

Recently, the EU-27 devotes much attention to the effective operation of the railroad infrastructure.

April 4, 2008 the European Transport Commission organized a workshop. It was attended by participants from ministries, regulatory bodies, railway infrastructure managers and railway enterprises from different countries of the EU. The workshop dealt with the issue of charging fees for the use of railway infrastructure.

In November 2012 the Directive 2012/34/EU was adopted, which is the most advanced basis for the development of the fee charging methods for the track infrastructure use [12].

In particular, the Paragraph 67 of the Directive stresses that in order to establish a fair level of fee (payment) for the use of track infrastructure; the manager should charge the fee on the basis of clear understanding of the factors affecting the operating costs of the infrastructure [1].

Taking into account the above mentioned and the influence factors of the TIE costs identified in this work, the two-element model of determining the fees for the TIF use were proposed. This model takes into account the fixed (I) and variable (II) components (2):

$$Fees_{t.i.} = \frac{C_{TIE}^{reduced} + P_{TIE}}{\sum PL_{gross}(L_{TIF}^{reduced})} k_1 k_2 k_3 k_4 k_5. \quad (2)$$

where k_1 – is the coefficient taking into account the level of railway section capacity (according to the Paragraph 4, 9 of the Article 7 of the Directive 2001/14/EU [1]); k_2 – is the increase coefficient of the gross train weight, as compared to the design coefficient (3 300 tons); k_3 – is the coefficient taking into account the increase in statistical loading of the reduced car, ton/car (63 ton); k_4 – is the coefficient of the operating speed increase; k_5 – is the coefficient taking into account the cost increase of 1 ton of the cargo that is transported by the railway section over the average index of the cost parameter of 1 ton of the cargo «on the road».

The total volume of annual costs of the track infrastructure enterprises on the j rail section under the influence of operational factors caused by the operation of the transportation activity subjects (3):

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

$$C_{TIEj} = C_{TIFj}^{ann} + C_{r.j.}^{s.r.} + C_{clampj}^{s.r.} + C_{b.m.j.}^{change} + C_{slj}^{s.r.} + \Delta C_{wff}^{c.m.} + C_{mechj} \quad (3)$$

C_{TIFj}^{ann} – average annual costs for the PPTRW and current maintenance of track infrastructure facilities of the j section; $C_{r.j.}^{s.r.}$ – is the costs for solitary replacement of rails; $C_{clampj}^{s.r.}$ – is the solitary replacement of clamps; $C_{slj}^{s.r.}$ – is the costs for the need of solitary replacement of sleepers; $C_{b.m.j.}^{change}$ – is the costs for ballast materials; $\Delta C_{wff}^{c.m.}$ – is the coefficient of the relative change of the workforce value, needed for current maintenance of the track; C_{mechj} – is the costs for machinery.

To ensure the reliable operation of the track infrastructure facilities a complex of the planned preventive track repair works and the approximate interrepair scheme are assigned [8].

According to statistics of Ukrzaliznytsia [2] the average traffic volume per 1 km of operational track length is 21.6 mln ton-km gross. Thus, for the entire standard operating period of the track (25 years) the traffic volume of will amount 540 ton-km gross, which is much less than the specified standard coefficient. On the basis of this one can consider that when planning the planned preventive track repair works and the amount of depreciation charges the guiding criterion is not the amount of progress it is the operating life of the track infrastructure facilities.

The cost of planned preventive track repair works (PPTRW) is determined on the basis of the following: the classification track repairs; typical technological processes for track repairs [10]; technology based time standards for PPTRW [3, 9]; costs for the work of people, performing the PPTRW, their hourly wage rates according to the Order 98-Ts; the operating cost of machinery; regulated list; norms of expenditures and costs of materials and products (they have the largest share of the costs for repairs); railway rates [5]; average distances for transportation of materials used during repair; standards of general production expenses and the administrative costs.

The experience of the TIF operation has shown that with the increase of load intensity and the speed of train traffic the costs for the workforce to

perform the repairs, and therefore the need for mechanization of PPTRW and the current maintenance also increase.

The costs of machinery are calculated by the formula (4):

$$C_{mech} = \left(\sum_{j=1}^n \frac{E_{mchange}}{L_{change}} + \frac{E_{vehicles}}{L_{change}} \right) \times k_{pass} k_{gpe} 12 V_{month}^{T.I.F.} \quad (4)$$

where $E_{mchange}$ – are the costs for the change of machines and the use of machinery of the certain type, grn./change; L_{change} – is the performance for the change of machinery of the certain type, km/change; $E_{vehicles}$ – are the operating costs of vehicles (rail trolley, locomotive, car, other equipment providing the movement of workforce, track machines and mechanisms), grn/h; n – is the number of machinery of different types, used for the works of the current maintenance of track infrastructure facilities; k_{pass} – is the coefficient taking into account the loss of time for passing of trains; k_{gpe} – is the coefficient taking into account the volume of the general production expenses; $V_{month}^{T.I.F.}$ – is the monthly fund of works for current maintenance of the track infrastructure, one km of the main track (reduced km).

The above mentioned cost coefficients for the PPTRW and current maintenance based on the concept of the service life of the track infrastructure facilities are characterized by dispersion of the realization time during the lifetime of the object.

For the purpose of the objective cost calculation and further calculation of fees (payments) for the TIF use on the basis of cost level, one should consider in economic calculations the time factor.

The total cost of the PPTRW for the entire service life of the track infrastructure facility taking into account the time difference of its realization is determined as (5):

$$\sum P_j^r = \sum_{t=1}^{SL} P_j^r \alpha_t \quad (5)$$

where α_t – is the discount coefficient that brings the costs to the beginning of the service life period of the track infrastructure facility, it is determined by the formula:

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

$$\alpha_t = (1 + r)^{-t} \quad (6)$$

where r – is the real (without inflation) rate of return (discount rate).

Considering the above mentioned and the annual costs of current maintenance, let us write the formula for calculating the service life cost of infrastructure track facilities of the j railway section (7):

$$C_{T.I.F.j}^{SL} = P_j^{m(c)} + \sum_{t=1}^{SL} P_j^r \alpha_{tPPTRW} + \sum_{t=1}^{SL} P_j^{c.m.} \alpha_{tc.m.} - P_l \alpha_{tSL} \quad (7)$$

where t – is a number of the year of measures implementation for PPTRW or current maintenance; $P_j^{m(c)}$ – is the cost of modernization (construction) of the track infrastructure facility of the j railway section; P_j^r – is the total costs of planned preventive track repair works for the entire life cycle of the track infrastructure object on the j railway section with rails r – type, grn/km, including the cost evaluation of such repairs for the sections with certain types of profiles and track category; α_{tPPTRW} – is the discounting coefficient that reduces the costs for PPTRW to the beginning of the service life for the track infrastructure facility; $P_j^{c.m.}$ – is the annual cost of current maintenance works of the track infrastructure facility of the j railway section; $\alpha_{tc.m.}$ – is the discounting coefficient that reduces the costs for current maintenance to the beginning of the service life for the track infrastructure facility; t – is an ordinal number of the year for implementation of the certain measure; P_l – the loss adjustment expense of the track infrastructure facilities that reached the service life limit is determined proportionally to the re-performance in ton-km gross; α_{tSL} – is the discounting coefficient that reduces the loss adjustment expenses to the beginning of the service life.

Thus, the average annual costs of the PPTRW and the current maintenance of track infrastructure facilities of the j section on the basis of the service life cost is equal to (8):

$$C_{TIFj}^r = \frac{C_{TIFj}^{SL}}{SL_p} \quad (8)$$

where SL_p – is a specified service life period of the track infrastructure facility, years.

Previously it was stressed that the governing factors of performance of the PPTRW complex are the regulatory periods of their execution, but not the performance of the track infrastructure facilities [6]. However, the introduced regulations for the PPTRW were developed excluding the economic principles of operation, repair and replacement of the track infrastructure facilities. Therefore it would be reasonable to propose a mechanism of economic optimization of the regulatory list and the volumes of the PPTRW execution.

It is possible to solve this task using the Bellman equation.

In the modern operating conditions of the track infrastructure facilities, as it was mentioned above, the term of the PPTRW execution comes earlier than the wear of the facility elements. Therefore, the costs for maintenance of these facilities in the normal conditions are sufficiently clear to account and predict for the future. However, the cost increase for the track infrastructure maintenance is influenced by the following factors: motion speed of the rolling stock, load on car and gross weight of the train. These factors result in both the projected wear accumulation of the track infrastructure elements and the solitary breakdown with the need in solitary replacement of the rails, clamps, sleepers and ballast materials. The cost forecast for these types of repair require additional study of operational conditions and methodology design of determining the costs for solitary replacement of rails, clamps, sleepers and ballast materials.

The first structural element of the TIF, which contacts with the factors of operating component is the rail. The operating experience points out the following types of defects: vertical wear, lateral wear, fracture of contact-fatigue nature [7].

Hence, the costs for the solitary replacement of rails can be determined by the formula (9) [6]:

$$C_r^{s.r.} = \sum_{j=1}^k L_{rj} O_{rj} (C_{nrj} - C_{orj}) \quad (9)$$

where L_{rj} – is the coefficient of relative change (as compared to the normative one) of the solitary removal of the j linear element of the track; O_{rj} – is the number of rails that are replaced in the target year in the order of solitary replacement, replace-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ment/ km-year; C_{nrj} , C_{orj} – is the cost of the new and the old rails correspondingly, grn./replacement.

Significant costs on the track infrastructure enterprises also make it necessary to provide a solitary replacement of the clamps.

The frequent breakdowns and short service life of the damping and insulating elements attract the attention in the design of clamps that are in service. The clamp construction itself is quite reliable but on the sections with high load intensity and the rolling stock weight taking into account the non-resistant quality of the construction material the solitary breakdowns become quite frequent phenomenon.

One can obtain the determination of cost value for solitary change of the clamps in the previous calculation using the principle of identity of the clamp breakdowns – a solitary breakdown of rails, noted in the paper [11].

Taking into account the average costs for the solitary replacement of rails and the proportionality coefficient the annual costs for solitary replacement of clamps are determined on the basis of expression (10):

$$C_{clamp}^{s.r.} = \sum_{j=1}^k L_{clampj} L_{rj} O_{rj} (C_{nrj} - C_{orj}) \quad (10)$$

The most important structure element of the track superstructure providing the transfer of loads from rails to the roadbed is a sleeper. Type, material, design, diagram of sleepers provide soft ride and durability of both the rail and the running gear of rolling stock.

Operating experience of the railway track revealed the root cause of ferroconcrete sleeper breakdown on the main tracks of the heavy-traffic lines. It is the destruction due to mechanical damage in the rail seats. The mechanical damage of ferroconcrete sleepers (rail shelling and splitting) is a criterion of their service and the need in replacement.

The investigation of relationship between the magnitude of mechanical wear of sleepers and operational factors was carried out in the paper [11].

The cost value for solitary replacement of sleepers can be determined by the formula (11):

$$C_{sl}^{s.r.} = \sum_{j=1}^k L_{slj} O_{slj} (C_{NSj} - C_{USj}) \quad (11)$$

where O_{slj} – is the average number of sleepers that are replaced in the order of solitary replacement per

year, replacement/km; C_{NSj} – is the cost of the new sleeper, grn./sleeper; C_{USj} – is the cost of the used sleeper; L_{slj} – is the coefficient of relative change (as compared to the normative one) of the solitary removal of sleepers in the railway section j .

The ballast section is also the most important element of the track superstructure.

Depending on the operational factors the evaluation of the supporting subgrade was proposed in the methodology [4].

Costs for ballast materials (12):

$$C_{b.m.j}^{change} = \sum_{j=1}^k \alpha_{bj} N_{calcj} N K_j m_j K_{lengthj} C_{bj} \quad (12)$$

where α_{bj} – is the coefficient of relative (as compared to the normative one) ballast consolidation in the railway section j ; N_{calcj} – is the calculate norm of the work force losses for the current track maintenance, people/km; N – is the number of work days in the year; K_j – is the share of works of track alignment on all the works of current track maintenance; m_j – cost of ballast material cu.m./people-day; $K_{lengthj}$ – is the coefficient taking into account the track length; C_{bj} – is the price of ballast materials grn./cu.m.

One can find the stress values in rails, sleepers, ballast, which are included in the above mentioned formulas using the theoretical-probabilistic methods for the track calculation considered in the paper [11].

One sets at the value of relative change of work force required for the current maintenance of the track – $\Delta C_{wff}^{c.m.}$ (13):

$$C_{wff}^{c.m.} = k_1 \Delta C_r k_2 \Delta C_{sl} k_3 \Delta C_b \quad (13)$$

where k_1 – is the share (in fractions of a unit) of the work force necessary for solitary removal of rails during the current maintenance of railway track; k_2 – is the share of the work force necessary for solitary removal of sleepers during the current maintenance of railway track; k_3 – is the share of the work force necessary for the ballast resupply during the current maintenance of railway track.

On the basis of this: $k_1 + k_2 + k_3 = 1$; k_1 , k_2 , k_3 – is set in accordance to the effective standards – work force losses on current track maintenance.

Findings

The models offered in article allow executing the objective account of expenses in travelling facilities for the purpose of calculation of the proved size of indemnification and necessary size of profit, the sufficient enterprises for effective activity of a travelling infrastructure.

Originality and practical value

The methodological bases of determination the fees (payments) for the use of track infrastructure on one- and two-element base taking into account the experience of railways in the EC countries and the current transport legislation were grounded.

The article proposes the one- and two-element models of calculating the fees (payments) for the TIF use, accounting the applicable requirements of European transport legislation, which provides the expense compensation and income formation, sufficient for economic incentives of the efficient operation of the TIE of Ukrainian railway transport.

The track infrastructure enterprises have to charge the fees (payments) at their own discretion on the basis of the projected cost level, the desired incomes and the payment requirements, which can ensure the correspondence of incomes of the infrastructure enterprise to its costs for infrastructure maintenance.

The most promising method of calculating the fees for access to the TIF is the budget method. It is based on state forecasting of socio-economic development of the national economics, freight industries and the need in railway transport products.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Директиви ЕСС [Electronic resource]. – Available at: <http://eurodocs.sdla.gov.ua/DocumentView/tabid/28/Sphereregulation>. – Title from the screen. – Accessed : 12.11.2014.
2. Довідник основних показників роботи залізниць України (2001–2011 роки) / [під ред. Н. В. Котіль]. – Київ : Поліграфсервіс, 2012. – 56 с.
3. Додаток № 3 до збірника «Типові технічно обґрунтовані норми часу на роботи з поточного утримання колії», затвердженого наказом УЗ від 30.09.2010 № 138-ЦЗ. – Київ : Поліграфсервіс, 2012. – 24 с.
4. Європейська комісія [Electronic resource]. – Available at: <http://ec.europa.eu/transport/publications/statistics/>. – Title from the screen. – Accessed : 02.12.2014.
5. Збірник тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом у межах України та пов'язані з ними послуги. – Київ : Інпрес, 2009. – 198 с.
6. Міщенко, М. І. Конкурентоспроможність залізничного транспорту в умовах нового організаційно-господарського механізму функціонування інфраструктури / М. І. Міщенко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 41. – С. 266–274.
7. Міщенко, М. І. Проблеми розвитку залізничного транспорту зарубіжних країн / М. І. Міщенко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 26. – С. 214–221.
8. Положення про систему ведення колійного господарства на залізницях України : затв. наказом Укрзалізниці від 22.12.2010 р. № 807-Ц / Е. І. Даніленко, М. І. Карпов, В. О. Яковлев [та ін.] – Київ : Поліграфсервіс, 2011. – 96 с.
9. Типові технічно обґрунтовані норми часу на роботи з поточного утримання колії : затв. наказом Укрзалізниці від 30.09.2010 р. № 138-ЦЗ : додаток № 3 до збірника : затв. наказом Укрзалізниці від 13.09.2012 № 272-ЦЗ / М-во інфраструктури України; Держадмін. залізн. трансп. України; Укрзалізниця; Держ. п-во наук.-конструкт. технолог. бюро колійного госп-ва. – Київ : Поліграфсервіс, 2012. – 24 с.
10. Типові технологічні процеси виконання робіт із модернізації та капітального ремонту колії, стрілочних переводів із застосуванням сучасних колійних машин: ЦП-0216. – Київ : Інпрес, 2010. – 92 с.
11. Экономика путевого хозяйства : учеб. для вузов / под ред. В. Я. Шульги. – Москва : Транспорт, 1988. – 303 с.
12. Batisse, F. Le coût de l'infrastructure ferroviaire / F. Batisse // Le Rail. – 2005. – № 121. – P. 17–25.
13. Cantos, P. Vertical and Horizontal Separation in the European Railway Sector and its Effects on Productivity / P. Cantos, J. M. Pastor, L. Serrano // J. of Transport Economics and Policy. – 2010. – № 3. – P. 45–53.

М. І. МИЩЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Економіка і менеджмент», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 80, ел. пошта mmi@ua.fm, ORCID 0000-0003-0372-1957

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ВЕЛИЧИНЫ СБОРА ЗА ДОСТУП К ОБЪЕКТАМ ПУТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Цель. Исследование направлено на разработку одно – или двухэлементной моделей расчёта платы за использование путевой инфраструктуры железнодорожного транспорта Украины. **Методика.** Согласно статистическим данным среднесетевой объем перевозок, который приходится на 1 км эксплуатационной длины пути, – 21,6 млн. ткм брутто. Таким образом, за весь нормативный срок эксплуатации пути (25 лет) объем перевозок составит 540 млн. ткм брутто, что намного меньше установленного нормативного показателя. Исходя из этого, считаем, что при планировании проведения планово-предупредительных ремонтно-путевых работ (ППРПР) и объема амортизационных отчислений руководящим критерием является не объем наработки, а срок эксплуатации объектов путевой инфраструктуры. Стоимость проведения ППРПР определяется, исходя из: 1) классификации ремонтов пути; 2) типовых технологических процессов ремонта пути; 3) технологически обоснованных норм времени на проведение ППРПР; 4) затрат труда рабочих, занятых проведением ППРПР, их часовых тарифных ставок (согласно Приказу 98-Ц); 5) стоимости эксплуатации машин и механизмов; 6) регламентированного перечня, норм расходов и стоимости расходов материалов и изделий (имеют наибольший удельный вес в расходах на ремонты); 7) железнодорожных тарифов; 8) среднесетевых расстояний на перевозку материалов, которые используются на ремонтах; 9) норм общепроизводственных и административных расходов. **Результаты.** Предложенные в статье модели позволяют выполнить объективный учет расходов в путевом хозяйстве с целью расчёта обоснованного размера компенсации и необходимой величины прибыли, достаточных для эффективной деятельности предприятий путевой инфраструктуры. **Научная новизна.** Разработаны методологические основы определения платы за использование путевой инфраструктуры с учётом опыта железных дорог стран ЕС и действующего транспортного законодательства. **Практическая значимость.** В работе предложены одно – и двухэлементную модели расчёта платы (сбора) за пользование объектами путевой инфраструктуры (ОПИ) с учетом действующих требований Европейского транспортного законодательства, которые обеспечат компенсацию расходов и получение прибыли, достаточных для экономического стимулирования эффективной деятельности предприятий путевой инфраструктуры железнодорожного транспорта Украины.

Ключевые слова: предприятия; объекты путевой инфраструктуры; жизненный цикл

М. І. МИЩЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Економіка та менеджмент», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 80, ел. пошта mmi@ua.fm, ORCID 0000-0003-0372-1957

МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ВЕЛИЧИНИ ЗБОРУ ЗА ДОСТУП ДО ОБ'ЄКТІВ КОЛІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Мета. Дослідження спрямоване на розробку одно – або двохелементної моделей розрахунку плати за використання колійної інфраструктури залізничного транспорту України. **Методика.** Згідно статистичних даних середньомережевий обсяг перевезень, що припадає на 1 км експлуатаційної довжини колії, – 21,6 млн. ткм брутто. Таким чином, за весь нормативний термін експлуатації колії (25 років) обсяг перевезень складе 540 млн. ткм брутто, що набагато менше встановленого нормативного показника. Виходячи з вище зазначеного, вважаємо, що при плануванні проведення планово-попереджувальних ремонтно-колійних робіт (ППРКР) та обсягу амортизаційних відрахувань керівним критерієм є не обсяг наробітку, а термін експлуатації об'єктів колійної інфраструктури. Вартість проведення ППРКР визначається, виходячи з: 1) класифікації ремонтів колії; 2) типових технологічних процесів на ремонт колії; 3) технологічно обґрунтованих норм часу на проведення ППРКР; 4) витрат праці робітників, зайнятих проведенням ППРКР, їх годинних тарифних ставок, (згідно Наказу 98-Ц); 5) вартості експлуатації машин та механізмів; 6)

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

регламентованого переліку, норм витрат та вартості витрат матеріалів і виробів (мають найбільшу питому вагу у витратах на ремонт); 7) залізничних тарифів; 8) середньомережевих відстаней на перевезення матеріалів, що використовуються при ремонтах; 9) норм загальновиробничих та адміністративних витрат. **Результати.** Запропоновані в статті моделі дозволяють виконати об'єктивний облік витрат у колійному господарстві з метою розрахунку обґрунтованого розміру компенсації й необхідної величини прибутку, достатніх для ефективної діяльності підприємств колійної інфраструктури. **Наукова новизна.** Розроблено методологічні основи визначення плати за використання колійної інфраструктури, з урахуванням досвіду залізниць країн ЄС і діючого транспортного законодавства. **Практична значимість.** У роботі запропоновано одно – та двохелементну моделі розрахунку плати (збору) за користування об'єктами колійної інфраструктури (ОКІ), з урахуванням діючих вимог Європейського транспортного законодавства, що забезпечує компенсацію витрат та утворення прибутку, достатнього для економічного стимулювання ефективної діяльності підприємств колійної інфраструктури залізничного транспорту України.

Ключові слова: підприємство; об'єкти колійної інфраструктури; життєвий цикл

REFERENCES

1. *Dyrektyvy EeS* (Directives of EEC). Available at: <http://eurodocs.sdla.gov.ua/DocumentView/tabid/28/Sphereregulation> (Accessed 12 November 2014).
2. Kotil N.V. *Dovidnyk osnovnykh pokaznykiv roboty zaliznyts Ukrainy (2001–2011 roky)* [Directory of the basic performance indicators of railways of Ukraine (2001–2011 years)]. Kyiv, Polihrafservis Publ., 2012. 56 p.
3. *Dodatok № 3 do zbirnyka «Typovi tekhnichno obgruntovani normy chasu na roboty z potochnoho utrymannia kolii»* [Addition no. 3 to the Proc. «Typical technically justified time standards for current track maintenance»]. Kyiv, Polihrafservis Publ., 2012. 24 p.
4. *Yevropeiska komisiia* (European Commission). Available at: <http://ec.europa.eu/transport/publications/statistics/> (Accessed 02 December 2014).
5. *Zbirnyk taryfiv na perevezennia vantazhiv zaliznychnym transportom u mezhakh Ukrainy ta poviazani z nymy posluhy* [Rates for railway transportation of freights within Ukraine and related services]. Kyiv, Inpres Publ., 2009. 198 p.
6. Mishchenko M.I. Konkurentospromozhnist zaliznychnoho transportu v umovakh novoho orhanizatsiino-hospodarskoho mekhanizmu funktsionuvannia infrastruktury [Competitiveness of the railway transportation in the conditions of functioning of the infrastructure new organizational-economic mechanism]. *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. 266–274.
7. Mishchenko M.I. Problemy rozvytku zaliznychnoho transportu zarubizhnykh krain [The development problems of railway transport in foreign countries]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 26, pp. 214–221.
8. Danilenko E.I., Karpov M.I., Yakovliev V.O. *Polozhennia pro systemu vedennia koliinoho hospodarstva na zaliznytsiakh Ukrainy* [Regulations on the system of track infrastructure management on the railways of Ukraine]. Kyiv, Polihrafservis Publ., 2011. 96 p.
9. *Typovi tekhnichno obgruntovani normy chasu na roboty z potochnoho utrymannia kolii* [Typical technically justified time standards for current track maintenance]. Kyiv, Polihrafservis Publ., 2012. 24 p.
10. *Typovi tekhnologichni protsesy vykonannia robot iz modernizatsii ta kapitalnoho remontu kolii, strilochnykh perevodiv iz zastosuvanniam suchasnykh koliinykh mashyn: TsP-0216* [Typical technological processes of works execution for modernization and capital repair of the track, switches using modern track machines: TsP-0216]. Kyiv, Inpres Publ., 2010. 92 p.
11. Shulga V.Ya. *Ekonomika putevogo khozyaystva* [Track infrastructure economics]. Moscow, Transport Publ., 1988. 303 p.
12. Batisse F. Le coût de l'infrastructure ferroviaire. *Le Rail*, 2005, no. 121, pp. 17–25.
13. Cantos P., Pastor J.M., Serrano L. Vertical and Horizontal Separation in the European Railway Sector and its Effects on Productivity. *Journal of Transport Economics and Policy*, 2010, no. 3, pp. 45–53.

Prof. Ye. V. Kakhovskaya, D. Sc. (Econ.); Prof. A. A. Pokotilov, D. Sc. (Econ.) recommended this article to be published

Received: Oct. 16, 2014

Accepted: Dec. 03, 2014

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 656.21/.22:004.89

А. В. ЛАВРУХИН^{1*}

^{1*}Каф. «Управление грузовой и коммерческой работой», Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61050, тел. +38 (057) 730 10 85, эл. почта creattel@mail.ru, ORCID 0000–0003–1302–4960

ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПОЕЗДНОЙ РАБОТЫ

Цель. Данная научная работа направлена на формирование интеллектуальной технологии определения рационального пути приема грузовых поездов на основе технико-технологических параметров. Это, в свою очередь, позволит дежурному по станции получать оперативные, обоснованные решения касательно выполнения поездной работы в границах железнодорожной станции. **Методика.** В качестве основных элементов исследования выступают технико-технологические параметры железнодорожной станции при выполнении поездной работы. В основу сформированной модели выполнения поездной работы положены методы нейронных сетей, которые позволяют сформировать самообучающуюся автоматизированную систему. **Результаты.** Представленная модель выполнения поездной работы железнодорожной станции реализована на основе искусственных нейронных сетей при использовании алгоритма обучения «с учителем» в среде Matlab. Среда Matlab также использована для непосредственной реализации интеллектуальной автоматизированной системы управления поездной работой предназначенной для интегрирования в автоматизированное рабочее место дежурного по станции. Разработанную систему также целесообразно интегрировать на автоматизированное рабочее место поездного диспетчера. Данное предложение целесообразно при условии наличия диспетчерской централизации на определенном участке железнодорожного пути. **Научная новизна.** В результате исследования сформирована модель технологии работы железнодорожной станции при выполнении поездной работы с элементами искусственного интеллекта. Модель позволяет предоставлять обоснованные решения дежурному по станции касательно выбора рационального и безопасного варианта приема и безостановочного пропуска поездов с возможностью самообучения и приспособления к изменяющимся условиям. Это условие достигается за счет принципов функционирования нейронной сети. **Практическая значимость.** Сформированная автором модель интеллектуальной системы управления процессом определения рационального пути приема поездов различных категорий в оперативном режиме предоставляет возможность дежурному по станции или поездному диспетчеру определить соответствующий парк (приема, отправления, транзитный) и целесообразный путь приема или пропуска при условии обеспечения безопасности движения. Кардинальным отличием данной технологии от существующих является возможность приспособления модели к изменяющимся условиям эксплуатации. Это означает, что в случае появления ранее не возникающей ситуации, модель рассчитает наиболее рациональный вариант выполнения поездной работы.

Ключевые слова: железнодорожная станция; поездная работа; искусственная нейронная сеть; дежурный по станции; интеллектуальная система

Введение

Железнодорожная станция является одним из основных элементов транспортной системы.

Именно на железнодорожной станции зарождаются и погашаются вагоно- и поездопотоки. Основным и единственным работником, кото-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

рий руководит движением поездов является дежурный по станции. В значительной степени от данного оперативного работника зависит качество и безопасность выполнения эксплуатационной работы. В связи с этим в последнее время появляются публикации в научно-практических изданиях, в которых анализируются существующие и предлагаются перспективные технологии, позволяющие оперативному работнику получать наиболее рациональные варианты выполнения эксплуатационной работы. Так в работе [6] рассматривается вопрос построения имитационной модели работы железнодорожной станции. В данном случае предполагается, что большую часть данных в систему вводит человек-оператор. Соответственно если человек-оператор обладает малым опытом работы (менее одного календарного года), то в процессе выполнения своих обязанностей, связанных с поездной работой, велика вероятность нарушения технологического процесса [9].

В работе [4] формализовано математическую модель для оценки технико-технологических показателей работы железнодорожных станций, что бесспорно является значительным достижением в области совершенствования технологии эксплуатационной работы. Однако следует отметить, что в данном случае рассматривается имитация работы станции, которая позволяет критически оценить работу той или иной станции без учета влияния человеческого фактора.

В работах [2, 3] осуществлен значительный скачок в направлении автоматизации перевозочного процесса, в том числе и за счет систем поддержки принятия решений.

Логичным продолжением работ в направлении совершенствования перевозочного процесса на железнодорожных станциях является создание интеллектуальных систем управления движением поездов. Данное положение свидетельствует об актуальности выбранной задачи исследования.

Цель

Целью данной научной статьи является формирование интеллектуальной технологии определения рационального пути приема или безостановочного пропуска грузового поезда на основе технико-технологических параметров, которая позволит дежурному по станции полу-

чать оперативные обоснованные решения касательно выполнения поездной работы в границах железнодорожной станции.

Методика

Согласно цели поставленного научного задания целесообразно использовать такой математический аппарат, который позволит реализовать технологию управления поездопотоками в пределах железнодорожной станции и иметь возможность приспосабливаться к меняющимся условиям работы. То есть в данном случае идет речь о создании системы, которая будет способна самообучаться на основе действий человека (дежурного по станции). При этом предполагается, что разрабатываемая система будет обладать возможностью самостоятельного накопления базы знаний на основе действий опытных оперативных работников. В последующем, разработанная автоматизированная технология управления поездопотоками будет использовать накопленную базу для быстрого и адекватного реагирования на эксплуатационные действия, связанные с поездной работой на станции. Таким образом, речь идет о создании так называемой экспертной системы.

В предшествующих работах были совершены попытки реализации автоматизированных технологий управления перевозочным процессом. Так в работе [5] рассматривается процесс формирования объектно-ориентированной модели функционирования железнодорожных станций. В результате чего достигнута возможность ускорить работы по разработке моделей работы станций и повысить эффективность проектировщиков и технологов. Однако в данном случае отсутствует элемент, который отвечает за оперативность принятия решения в реальном масштабе времени.

Основываясь на поставленную цель научного исследования и рассмотренные литературные источники целесообразно перейти к выбору метода, при помощи которого можно будет создать аналитическую систему, предназначенную для управления поездными передвижениями по станции с дальнейшей интеграции ее на автоматизированное рабочее место дежурного по станции (АРМ ДСП).

Одним из современных математических методов, который в определенной степени соответствует всем ранее определенным требовани-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ям, является метод искусственных нейронных сетей. Следует отметить, что по своей архитектуре все искусственные нейронные сети разделяются на нейронные сети с программной и аппаратной реализацией [11, 13]. При построении искусственной нейронной сети (ИНС) значительное внимание уделяется выбору функции активации. В данной работе при построении ИНС будет использована нелинейная функция с насыщением – сигмоид [1].

В основу решения поставленной задачи построения модели интеллектуальной автоматизированной системы управления процессом определения рационального пути приема поездов различных категорий будет положена искусственная нейронная сеть с двумя скрытыми слоями и сигмоидальной функцией активации. Теоретическим базисом выбранного подхода может служить теорема Хехт-Нильсена [12], которая свидетельствует о возможности отображения любой многомерной функции нескольких переменных в виде двухслойной нейронной сети с заведомо известной функцией активации.

Такой подход к построению нейронной сети позволяет учесть предысторию наблюдаемых процессов и накопить информацию для формирования правильной стратегии по управлению процессом принятия поезда на станцию. Этот вид сетей, как правило, применяется в системах управления подвижными объектами, поскольку их главной особенностью является запоминание последовательностей [7]. Согласно этому, в данной научной работе будут использованы принципы построения рекуррентных сетей на основе применения соответствующих алгоритмов обучения. Исходя из поставленной задачи, разработки модели по управлению процессом определения рациональной пути приема поездов различных категорий на основе нейронной сети, необходимо построить отображение $X \rightarrow Y$ такое, чтобы на каждый возможный входной сигнал сети X формировался правильный выходной сигнал Y . Отображения задаются конечным набором пар по типу – $(\langle \text{вход} \rangle, \langle \text{известный выход} \rangle)$.

Результаты

В качестве примера указанной пары по решению поставленной задачи возможно приве-

ти однозначную пару, т.е. пару, которая при заданном входном векторе может иметь только одно определенное значение выхода, или значения выхода могут быть строго ограничены:

$$X \rightarrow Y = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle \rightarrow \langle Y_1, Y_2 \rangle = \\ = (\langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle, \langle Y_1, Y_2 \rangle), \quad (1)$$

согласно приведенного выражения можно получить типичное однозначное значение на выходе сети:

$$\left\langle \begin{array}{l} x_1 - \text{характеристика пути } \text{№} 1; \\ x_2 - \text{характеристика пути } \text{№} 2; \\ \dots; \\ x_{n-1} - \text{характеристика пути } \text{№} n-1; \\ x_n - \text{характеристика поезда} \end{array} \right\rangle \rightarrow \\ \rightarrow \left\langle \begin{array}{l} Y_1 - \text{парк приема} \\ Y_2 - \text{путь } \text{№} 5 \end{array} \right\rangle. \quad (2)$$

Сформирована пара типа $(\langle \text{вход} \rangle, \langle \text{известный выход} \rangle)$ соответствует графическому отражению ситуации, приведенной на рис. 1.

В данном случае целесообразно отметить, что среди преимуществ применения нейронных сетей для моделирования эксплуатационных процессов является то, что число пар типа $(\langle \text{вход} \rangle, \langle \text{известный выход} \rangle)$ (так называемых примеров обучения) существенно меньше общего количества возможных комбинаций значений входных и выходных сигналов при приеме на железнодорожную станцию поездов различных категорий.

При непосредственном формировании нейронной сети и построения взаимозависимости входных и выходных сигналов по выполнению поездной работы на станции, то есть построения отображения $X \rightarrow Y$ необходимо соблюдение следующих требований:

– обеспечение формирования правильных выходных сигналов в соответствии со всеми примерами обучающей выборки, которая может формироваться в результате работы опытного оперативного работника (дежурного по станции, маневрового диспетчера);

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

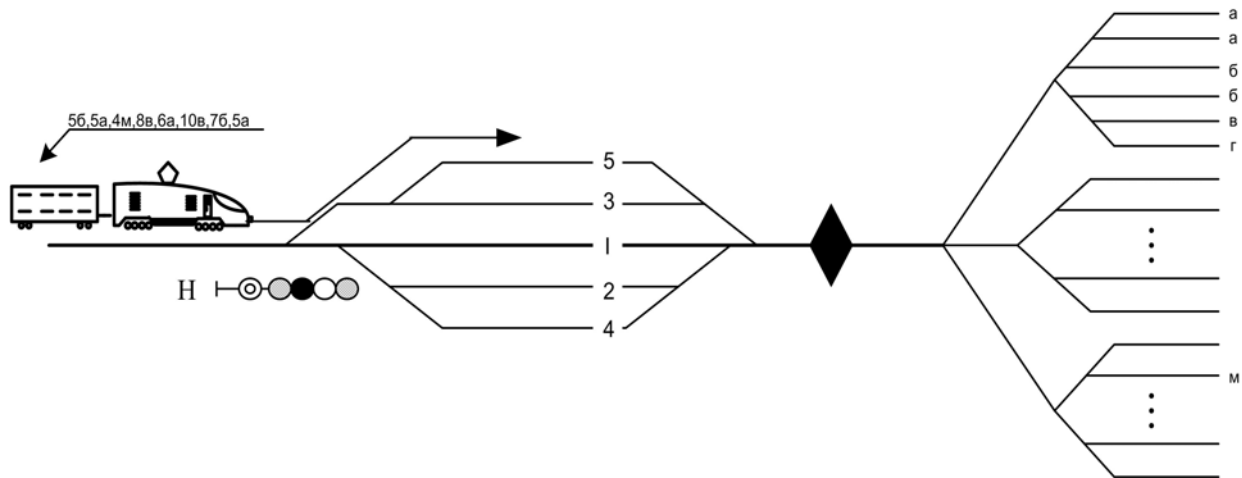


Рис. 1. Вариант выбора пути приема в зависимости от состава транзитного поезда с переработкой и специализации пути сортировочного парка: где $a, b, в, г, м$ – обозначают специализацию путей

Fig. 1. Choice variant of approach track depending on the set of transit trains with processing and specialization of the car yard track: where a, b, c – represent the specialization of tracks

– обеспечение формирования верных выходных сигналов в соответствии со всеми возможными входными сигналами, которые не вошли в обучающую выборку. Данное условие должно обеспечить адекватное функционирование спроектированной нейронной сети при подаче на вход поездных ситуаций и ситуаций, происходящих на станции при выполнении эксплуатационной работы. Это требование в значительной степени затрудняет формирование обучающей выборки. Для оценки числа нейронов в скрытых слоях однородной нейронной сети можно воспользоваться формулой для оценки необходимого количества синаптических весов L_w [7]:

$$\frac{mN}{1 + \log_2 N} \leq L_w \leq m \left(\frac{N}{n} + 1 \right) (n + m + 1) + m, \quad (3)$$

где n – размерность входного сигнала; m – размерность выходного сигнала; N – число элементов обучающей выборки (определяется в допустимых пределах при тестировании разработанной нейронной сети).

После определения необходимого количества весов, необходимо рассчитать число нейронов в скрытых слоях [9]:

$$L = \frac{L_w}{n + m}. \quad (4)$$

Кроме формул (3) и (4) количество весов и скрытых слоев можно рассчитать следующим

образом [7]:

$$2(L + n + m) \leq N \leq 10(L + n + m), \quad (5)$$

$$\frac{N}{10} - n - m \leq L \leq \frac{N}{2} - n - m. \quad (6)$$

Процесс функционирования искусственных нейронных сетей зависит от величины синаптических связей. Согласно этому адекватное функционирование нейронной сети, которая предназначена для решения поставленной задачи, будет основываться на нахождении оптимальных значений всех переменных весовых коэффициентов.

Указанная процедура называется обучением искусственной нейронной сети. Качество и адекватность функционирования сети по решению задачи управления принятием поездов на железнодорожную станцию будет зависеть от качества выполнения процесса обучения, основную роль в котором будут играть опытные оперативные работники.

В данной научной статье будет использован метод двоичного кодирования, который позволит в дальнейшем (при обучении нейронной сети) уменьшить нагрузку на технические устройства вычисления при учете значительного числа параметров, характеризующих состояние путей и поезда, поступающего на станцию приема или непрерывного пропуска.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Таким образом, целесообразно определить вектор, который будет характеризовать состояние пути в виде табл. 1 и 2.

В качестве примера выбран элемент входного вектора $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, который характеризует состояние произвольного пути, в результате чего получено $x_{n-1} = (1110)$. При декодировании определено, что на пути с номером $n-1$ находится негабаритный поезд с опасным грузом.

Таблица 1

Кодовые обозначения признаков пути

Table 1

Code signs of route

| № признака | Лингвистическая характеристика признака | Кодовое обознач. признака | Лингвистическое значение кода |
|------------|--|---------------------------|-------------------------------|
| 1 | Состояние пути | 1 | Занятый |
| | | 0 | Свободный |
| 2 | Наличие в поезде вагонов с негабаритным грузом | 1 | Присутствует |
| | | 0 | Отсутствует |
| 3 | Наличие в поезде вагонов с опасными грузами | 1 | Присутствуют |
| | | 0 | Отсутствуют |
| 4 | Наличие пассажирского поезда, с которым выполняются пассажирские операции (посадка, высадка) | 1 | Присутствует |
| | | 0 | Отсутствует |

Также в качестве примера элемента входного вектора $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, характеризующего поезд поступающий на станцию, получено $x_n = (1000100)$.

При декодировании определено, что на станцию прибывает в расформирование негабаритный поезд нормативной длины. После определения способа кодирования входного вектора необходимо выбрать соответствующий алгоритм обучения нейронной сети.

Алгоритм обучения искусственной нейронной сети представляет собой набор формул,

которые позволяют по вектору ошибки вычислить необходимые поправки для весов сети.

Таблица 2

Кодовые обозначения признаков прибывающего поезда

Table 2

Code signs of arriving trains

| № признака | Лингвистическая характеристика признака | Кодовое обознач. признака | Лингвистическое значение кода |
|------------|---|---------------------------|-------------------------------|
| 1 | Наличие негабаритности в прибывающем поезде | 1 | Присутствует |
| | | 0 | Отсутствует |
| 2 | Наличие в прибывающем поезде вагонов с опасными грузами | 1 | Присутствуют |
| | | 0 | Отсутствуют |
| 3 | Поезд повышенной длины | 1 | Да |
| | | 0 | Нет |
| 4 | Пассажирский поезд | 1 | Присутствует |
| | | 0 | Отсутствует |
| 5 | Поезд с переработкой | 1 | Да |
| | | 0 | Нет |
| 6 | Поезд без переработки | 1 | Да |
| | | 0 | Нет |
| 7 | Вагоны для одного сортировочного пучка | 1 | Да |
| | | 0 | Нет |

Для качественного обучения сети необходимо предъявлять одну и ту же поездную ситуацию, а также ее возможные вариации. Особенностью обучения искусственных нейронных сетей является тот факт, что после многократного предъявления примеров веса сети стабилизируются, причем она в дальнейшем предоставляет правильные ответы практически на все вопросы из базы данных. В таком случае считается, что сеть выучила все примеры или сеть обучена, или сеть натренирована. Считается, что для полноценной тренировки необходимо задать несколько десятков, а лучше сотни примеров [10].

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

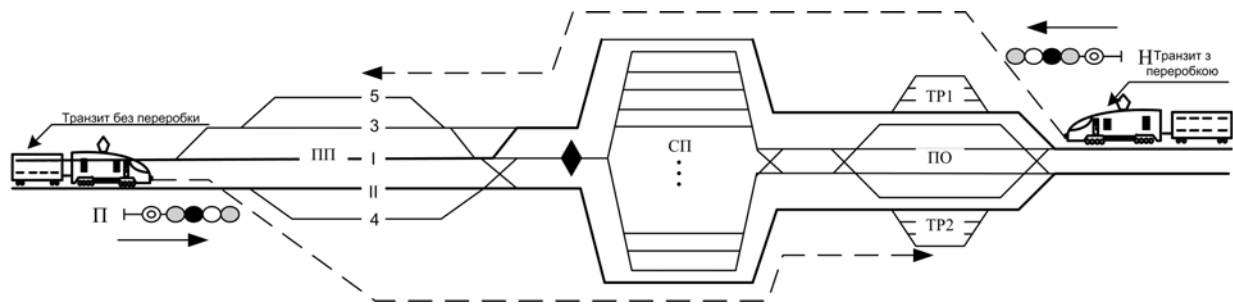


Рис. 2. Вариант выбора пути приема в зависимости от категории поездов:
 ПП – парк прибытия; СП – сортировочный парк; ПО – парк отправления; TP1, TP2 – транзитные парки

Fig. 2. Choice variant of approach track depending on the categories of trains:
 RY – receiving yard; CY – car yard; PD – the Park of departure; TP1, TP2 – transit parks

В соответствии с определенными условиями возникает задача формирования нейронной сети в аналитическом и графическом виде для линейного железнодорожного объекта – железнодорожная станция.

В качестве объекта для моделирования избрана железнодорожная станция Харьковской дирекции по железнодорожным перевозкам (Основа – парк прибытия), которая в определенной степени соответствует путевому развитию, приведенному на рис. 2.

Текущее состояние нейрона в общем виде может определяться для поставленной задачи, как

$$S = \sum_{i=1}^{10} x_i \cdot w_i + b, \quad (7)$$

где x – номер пути на станции, характеристика поезда; w – веса параметра x ; b – коэффициент смещения.

После того, как было формально определено состояние нейрона в общем виде, необходимо оценить число нейронов в скрытых слоях одно-родной нейронной сети по выражению (3)

$$\frac{2 \cdot 1000}{1 + 9,97} \leq L_w \leq 2 \left(\frac{1000}{10} + 1 \right) (10 + 2 + 1) + 2, \\ 182 \leq L_w \leq 2628.$$

После определения необходимого количества весов, необходимо рассчитать число нейронов в скрытых слоях по формуле (4)

$$L = \frac{850}{10 + 2} = 71.$$

Таким образом, в общем виде возможно воспроизвести графическую интерпретацию искусственной нейронной сети (рис. 3).

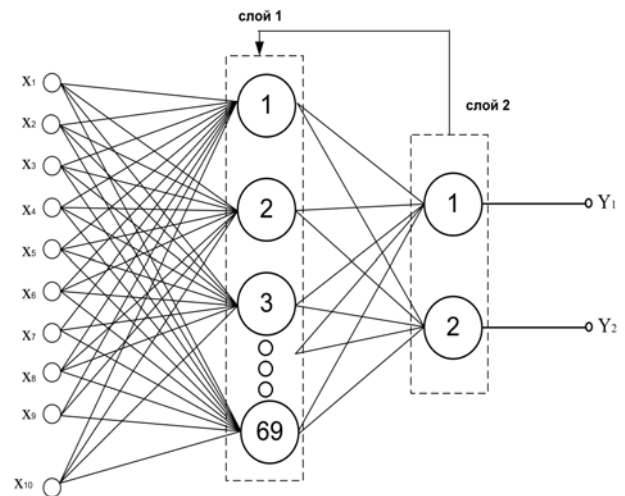


Рис. 3. Двухслойная рекуррентная нейронная сеть для определения пути приема на железнодорожную станцию

Fig. 3. Two-layer recurrent neural network for determining the approach track of the railway station

Исходя из поставленной задачи разработки модели по управлению процессом определения рационального пути приема поездов различных категорий, необходимо построить такое отображение $X \rightarrow Y$, чтобы на каждый возможный входной сигнал X формировался правильный выходной сигнал Y

$$X \rightarrow Y = \langle x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10} \rangle \rightarrow \\ \rightarrow \langle Y_1, Y_2 \rangle = \\ = (\langle x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_{10} \rangle, \langle Y_1, Y_2 \rangle). \quad (8)$$

Входной вектор X можно определить следующим образом

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

$$\begin{array}{l}
 x_1 - \text{характеристика пути 1} \\
 x_2 - \text{характеристика пути 2} \\
 x_3 - \text{характеристика пути 3} \\
 x_4 - \text{характеристика пути 4} \\
 x_5 - \text{характеристика пути 5} \\
 x_6 - \text{характеристика пути 6} \\
 x_7 - \text{характеристика пути 7} \\
 x_8 - \text{характеристика пути 8} \\
 x_9 - \text{характеристика пути 9} \\
 x_{10} - \text{характеристика поезда}
 \end{array}
 \rightarrow
 \begin{array}{l}
 Y_1 - \text{парк} \\
 Y_2 - \text{путь}
 \end{array}
 \quad (9)$$

В качестве примера, будет представлено часть обучающей выборки для ситуации, при которой поезд с нормативной массой и длиной, в составе которого содержатся негабаритные и опасные грузы, прибывает в расформирование и должен быть принят на второй свободный путь парка приема станции (табл. 3).

Для достижения наибольшего эффекта, разработанную модель целесообразно интегрировать в существующие автоматизированные рабочие места дежурных по станциям. С этой целью разработан программный модуль в среде MatLab, который позволяет осуществить процесс обучения нейронной сети по методу – обучение с учителем, в качестве которого должен выступать опытный дежурный по станции под непосредственным наблюдением ревизора по безопасности движения, назначенным для данного участка [8]. В соответствии с этим на рис. 4 отображена рабочая область созданной нейронной сети. После того как сформированную нейронную сеть было обучено на определенных примерах выборки, фрагмент которой приведен в табл. 3, был сформирован тестовый рабочий интерфейс, который на основе введенных параметров путей соответствующих парков и характеристики прибывающего поезда на станцию, предоставляет рекомендации дежурному по станции о рациональном пути приема на основе учета факторов безопасности.

Таблица 3

Фрагмент обучающей выборки

Table 3

A fragment of the training sample

| Входной вектор и исходное значение сети | Расшифровка пары {вход} → {выход} для ситуации приема поезда на 2 путь |
|--|--|
| $ \begin{array}{l} 0000 \\ 0000 \\ 0000 \\ 1000 \\ 1000 \\ 1000 \\ 1000 \\ 1000 \\ 1000 \\ 1000 \\ 0000101 \end{array} \rightarrow \{1, 2\} $ | – 1 путь свободен – 2 путь свободен – 3 путь свободен – 4 путь занят – 5 путь занят – 6 путь занят – 7 путь занят – 8 путь занят – 9 путь занят – поезд в расформирование |
| $ \begin{array}{l} 1000 \\ 0000 \\ 0000 \\ 1000 \\ 1000 \\ 1000 \\ 1000 \\ 1000 \\ 1000 \\ 0000101 \end{array} \rightarrow \{1, 2\} $ | – 1 путь занят – 2 путь свободен – 3 путь свободен – 4 путь занят – 5 путь занят – 6 путь занят – 7 путь занят – 8 путь занят – 9 путь занят – поезд в расформирование |
| ... | ... |
| $ \begin{array}{l} 1000 \\ 0000 \\ 1000 \\ 1010 \\ 1110 \\ 1010 \\ 0000 \\ 1100 \\ 1010 \\ 0000101 \end{array} \rightarrow \{1, 2\} $ | – 1 путь занят – 2 путь свободен – 3 путь занят – 4 путь занят (ВМ) – 5 путь занят (БЗ, ВМ) – 6 путь занят (ВМ) – 7 путь свободен – 8 путь занят (БЗ) – 9 путь занят (ВМ) – поезд в расформирование |

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Примечание: ВМ – взрывоопасные материалы, Б2, Б3 – боковая негабаритность, соответственно второй и третьей степени.

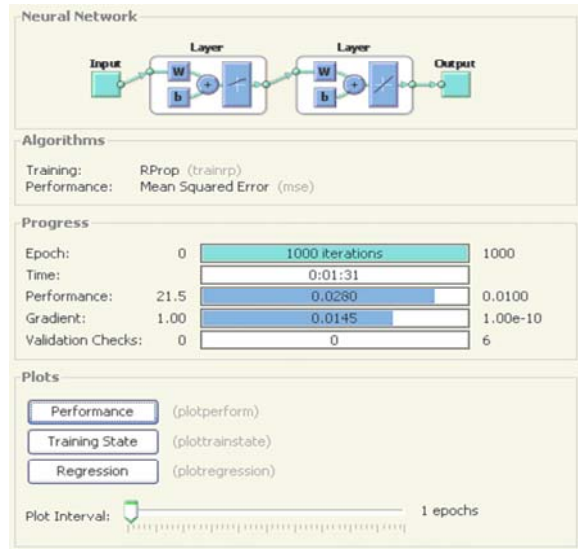


Рис. 4. Рабочая область сформированной нейронной сети по определению рационального пути приема поезда

Fig. 4. The workspace of formed neural network with the definition of a rational approach track of the train



Рис. 5. Тестовый интерфейс дежурного по станции для определения пути приема поезда

Fig. 5. The test interface of the station duty officer to determine the approach track of the train

На рис. 5 отображен ранее обозначенный интерфейс, на котором смоделирована ситуация приема в расформирование грузового поезда, значительное количество вагонов в котором будет расформировано в верхние пучки сортировочного парка. В соответствии с этим сфор-

мированная модель на основе нейронной сети предложила вариант принятия поезда на 2 свободный путь парка приема.

Научная новизна и практическая значимость

В данной научной работе сформирована модель работы железнодорожной станции при выполнении поездной работы с элементами искусственного интеллекта. Данная модель позволяет предоставлять обоснованные решения дежурному по станции касательно оптимального и безопасного варианта принятия и пропуска поездов с возможностью самообучения и приспособления к меняющимся условиям эксплуатации.

Разработан программный модуль интеллектуальной системы управления процессом определения пути приема поездов различных категорий, который в оперативном режиме позволяет дежурному по станции определить соответствующий парк (приема, транзитный, отправления) и целесообразный путь приема или пропуска при условии обеспечения безопасности движения.

Выводы

1. В данной научной статье сформирована модель интеллектуальной автоматизированной системы управления процессом определения рационального пути приема поездов различных категорий, которая в оперативном режиме позволяет дежурному по станции определить соответствующий парк (прием, транзитный, отправление...) и рациональный путь приема или пропуска при условии обеспечения безопасности движения.

2. Для достижения наибольшего эксплуатационного эффекта предложено разработанную модель интеллектуальной автоматизированной системы управления процессом определения рационального пути приема поездов различных категорий интегрировать с существующими автоматизированными рабочими местами дежурных по станциям.

3. Для реализации задачи интеграции разработанной модели к АРМ ДСП был разработан программный модуль в среде Matlab, который позволяет осуществить процесс обучения нейронной сети по методу – обучение с учителем, в качестве которого должен выступать опытный дежурный по станции под непосредственным

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

наблюдением ревизора по безопасности движения, предназначенным для данного участка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Горбань, А. Н. Обучение нейронных сетей / А. Н. Горбань – Москва : ПараГраф, 1990. – 160 с.
2. Жуковицький, І. В. Напрямки побудови електронного документообігу на підприємствах УЗ / І. В. Жуковицький, М. М. Пойманов // Сучасні інформ. техн. на трансп., в пром. та освіті : тез. міжнар. наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ, 2007. – С. 11–12.
3. Жуковицький, І. В. Принципи побудови системи підтримки прийняття рішень і управління вантажними перевезеннями на основі аналітичних серверів АСК ВП УЗ / І. В. Жуковицький, В. В. Скалозуб, А. Б. Устенко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 17. – С. 28–34.
4. Козаченко, Д. Н. Математическая модель для оценки технико-технологических показателей работы железнодорожных станций / Д. Н. Козаченко // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № (3) 45. – С. 22–28.
5. Козаченко, Д. Н. Объектно-ориентированная модель функционирования железнодорожных станций / Д. Н. Козаченко // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № (4) 46. – С. 47–55.
6. Коробйова, Р. Г. Адекватність математичних моделей для визначення техніко-експлуатаційних показників роботи станцій / Р. Г. Коробйова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 28. – С. 29–33.
7. Короткий, С. Нейронные сети: основные положения [Электронный ресурс] / С. Короткий. – Режим доступа: http://www.shestopaloff.ca/kyriako/Russian/Artificial_Intelligence/Some_publications/Korotky_Neuron_network_Lectures.pdf. – Загл. с экрана. – Проверено 19. 10. 2014.
8. Лаврухін, О. В. Удосконалення технології розподілу вагонів на основі автоматизації процесів змінно-добового планування / О. В. Лаврухін // Вісн. економ. трансп. і пром-сті. – Харків, 2009. – Вип. 23. – С. 62–65.
9. Лаврухін, О. В. Формування критерію безпеки для оцінки транспортної події – прийняття поїзда на зайняту колію / О. В. Лаврухін // Інформ.-керуючі сист. на залізн. трансп. – 2011. – № 2. – С. 102–108.
10. Минский, М. Перцептроны / М. Минский, С. Пейперт. – Москва : Мир, 2007. – 261с.
11. Akhmet, M. Neural networks with discontinuous / M. Akhmet, E. Yilmaz. – New-York : Springer, 2014. – 176 p. doi: 10.1007/978-1-4614-8566-7.
12. Hecht-Nielsen, R. The mathematics of thought / R. Hecht-Nielsen // Yen GY, Fogel DB (eds) Computational intelligence: Principles and practice. IEEE Computational Intelligence Society, Piscataway, New Jersey. – 2006. – P. 1–16.
13. Smith, L. An Introduction to Neural Networks [Электронный ресурс] / L. Smith // Unpublished draft. University of Stirling. – 2001. – Режим доступа. – <http://www.cs.stir.ac.uk/~lss/NNIntro/InvSlides.html>. – Загл. с экрана. – Проверено : 19. 10. 2014.

О. В. ЛАВРУХІН^{1*}

^{1*}Каф. «Управління вантажною і комерційною роботою», Українська державна академія залізничного транспорту, пл. Фейербаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 85, ел. пошта creattel@mail.ru, ORCID 0000–0003–1302–4960

ФОРМУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ СТАНЦІЇ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ПОЇЗНОЇ РОБОТИ

Мета. Дана наукова робота спрямована на формування інтелектуальної технології визначення раціональної колії прийому вантажних поїздів на основі техніко-технологічних параметрів, яка дозволить черговому по станції отримувати оперативні, обґрунтовані рішення щодо виконання поїзної роботи в межах залізничної станції. **Методика.** В якості основних елементів дослідження виступають техніко-технологічні параметри залізничної станції при виконанні поїзної роботи. В основу сформованої моделі виконання поїзної роботи покладено методи нейронних мереж, які дозволяють сформувати автоматизовану систему, котра може «самостійно навчатися». **Результати.** Представлена модель щодо виконання поїзної роботи на залізничній станції реалізована на основі штучних нейронних мереж при використанні алгоритму навчання «з вчителем» в середовищі Matlab.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Середовище Matlab також використане для безпосередньої реалізації інтелектуальної автоматизованої системи управління поїзною роботою призначеною для інтегрування в автоматизоване робоче місце чергового по станції. Розроблену систему також доцільно інтегрувати на автоматизоване робоче місце поїзного диспетчера. Дана пропозиція доцільна за умови наявності диспетчерської централізації на певній ділянці залізничної колії.

Наукова новизна. В результаті дослідження сформована модель технології роботи залізничної станції при виконанні поїзної роботи з елементами штучного інтелекту. Модель дозволяє надавати обґрунтовані рішення черговому по станції щодо вибору раціонального та безпечного варіанта прийому й беззупинного пропуску поїздів і з можливістю самонавчання та пристосування до мінливих умов. Ця умова досягається за рахунок принципів функціонування нейронної мережі. **Практична значимість.** Сформована автором модель інтелектуальної системи управління процесом визначення раціональної колії прийому поїздів різних категорій в оперативному режимі надає можливість черговому по станції визначити відповідний парк (прийому, відправлення, транзитний) і раціональну колію прийому або пропуску за умови забезпечення безпеки руху. Кардинальною відмінністю даної технології від існуючих є можливість пристосування моделі до мінливих умов експлуатації. Це означає, що у разі появи ситуації, що раніше не виникала, модель розрахує найбільш раціональний варіант виконання поїзної роботи.

Ключові слова: залізнична станція; поїзна робота; штучна нейронна мережа; черговий по станції; інтелектуальна система

O.V. LAVRUKHIN^{1*}

^{1*}Dep. «Management of Cargo and Commercial Work», Ukrainian State Academy of Railway Transport, Feuerbach Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (057) 730 10 85, e-mail creattel@mail.ru, ORCID 0000-0003-1302-4960

INTELLECTUAL MODEL FORMATION OF RAILWAY STATION WORK DURING THE TRAIN OPERATION EXECUTION

Purpose. The aim of this research work is to develop an intelligent technology for determination of the optimal route of freight trains administration on the basis of the technical and technological parameters. This will allow receiving the operational informed decisions by the station duty officer regarding to the train operation execution within the railway station. **Methodology.** The main elements of the research are the technical and technological parameters of the train station during the train operation. The methods of neural networks in order to form the self-teaching automated system were put in the basis of the generated model of train operation execution. **Findings.** The presented model of train operation execution at the railway station is realized on the basis of artificial neural networks using learning algorithm with a «teacher» in Matlab environment. The Matlab is also used for the immediate implementation of the intelligent automated control system of the train operation designed for the integration into the automated workplace of the duty station officer. The developed system is also useful to integrate on workplace of the traffic controller. This proposal is viable in case of the availability of centralized traffic control on the separate section of railway track. **Originality.** The model of train station operation during the train operation execution with elements of artificial intelligence was formed. It allows providing informed decisions to the station duty officer concerning a choice of rational and a safe option of reception and non-stop run of the trains with the ability of self-learning and adaptation to changing conditions. This condition is achieved by the principles of the neural network functioning. **Practical value.** The model of the intelligent system management of the process control for determining the optimal route reception for different categories of trains was formed. In the operational mode it offers the possibility to the station duty officer or the traffic controller to determine the appropriate park (receiving, sending, transit one) and efficient reception way or handling one on condition of train safety control. The cardinal difference of this technology from the existing ones is the possibility to adapt the model to changing conditions. It means that in case of a situation that had not been encountered previously the model will calculate the most efficient way of train operation execution.

Keywords: railway station; train operation; artificial neural network; the station duty officer; intellectual system

REFERENCES

1. Gorban A.N. *Obucheniye neyronnykh setey* [Training of neural networks]. Moscow, ParaGraf Publ., 1990. 160 p.
2. Zhukovyskyi I.V., Poimanov M.M. *Napriamky pobudovy elektronnoho dokumentoobihu na pidpriemstvakh UZ* [Directions of build electronic document management at the enterprises of the UZ]. *Tezy Mizhnarodnoi*

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasni informatsiini tekhnologii na transporti, v promyslovosti ta osviti»* [Proc. of the Int. Sci. and Practical Conf. «Modern information technologies in transport, industry and education»]. Dnipropetrovsk, 2007, pp. 11-12.
3. Zhukovytskyi I.V., Skalozub V.V., Ustynko A.B. Pryntsypy pobudovy systemy pidtrymky pryiniattia rishen i upravlinnia vantazhnymy perevezenniamy na osnovi analitychnykh serveriv ASK VP UZ [The support system principles of decision-making and management of freight transport on the basis of analytical servers ASC VP UZ]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2002, issue 17, pp. 28-34.
 4. Kozachenko D.N. Matematicheskaya model dlya otsenki tekhniko-tekhnologicheskikh pokazateley raboty zheleznodorozhnykh stantsiy [Mathematical model for estimation of technical and technological indicators of railway stations operation]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. (3) 45., pp. 22-28.
 5. Kozachenko D.N. Obektno-orientirovannaya model funktsionirovaniya zheleznodorozhnykh stantsiy [The object-oriented model of the railway stations operation]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. (4) 46, pp. 47-55.
 6. Korobiova R.H. Adekvatnist matematychnykh modelei dlia vyznachennia tekhniko-ekspluatatsiinykh pokaznykiv roboty stantsii [The adequacy of mathematical models for determination of technical and operational indicators of stations]. *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 28, pp. 29-33.
 7. Korotkiy S. Neyronnyye seti: osnovnyye polozheniya [Neural networks: fundamentals]. Available at: http://www.shestopaloff.ca/kyriako/Russian/Artificial_Intelligence/Some_publications/Korotky_Neuron_network_Lectures.pdf (Accessed 19 October 2014).
 8. Lavrukhin O.V. Udoshkonalennia tekhnologii rozpodilu vahoniv na osnovi avtomatyzatsii protsesiv zminnodobovoho planuvannia [The technology improving of cars distribution on the basis of automation of shift and daily planning processes]. *Visnyk ekonomiky transportu ta promyslovosti* [Bulletin of Transport Economics and Industry], 2009, issue 23, pp. 62-65.
 9. Lavrukhin O.V. Formuvannia kryteriiu bezpeky dlia otsinky transportnoi podii – pryiniattia poizda na zainiatu koliiu [The formation of the security criterion for the evaluation of traffic accidents reception of a train on busy road]. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznomu transporti – Information Management Systems on the Railway Transport*, 2011, issue 2, pp. 102-108.
 10. Minskiy M., Peypert S. *Perseptrony* [Perceptrons]. Moscow, Mir Publ., 2007. 261 p.
 11. Akhmet M., Yilmaz E. Neural networks with discontinuous. New-York, Springer, 2014. 176 p. doi: 10.1007/978-1-4614-8566-7.
 12. Hecht-Nielsen R. The mathematics of thought. Yen GY, Fogel DB (eds) Computational intelligence: Principles and practice. IEEE Computational Intelligence Society, Piscataway, New Jersey. 2006, pp. 1-16.
 13. Smith L. An Introduction to Neural Networks. Unpublished draft. University of Stirling. 2001. Available at: <http://www.cs.stir.ac.uk/~lss/NNIntro/InvSlides.html> (Accessed: 19. October 2014).

Статья рекомендована к публикации д.т.н, проф. А. Н. Огарем (Украина); д.т.н., проф. Е. С. Алёшинским (Украина)

Поступила в редколлегию 03.10.2014

Принята к печати 27.11.2014

УДК 629.42.027.2:539.376

В. Р. СКАЛЬСЬКИЙ¹, І. Я. ДОЛІНСЬКА^{2*}, Д. В. РУДАВСЬКИЙ^{3*}, Р. Я. ЯРЕМА⁴,
В. Р. БАС^{5*}

¹Відділ акустико-емісійного діагностування елементів конструкцій, Фізико-механічний інститут імені Г. В. Карпенка НАН України, вул. Наукова, 5, Львів, Україна, 79060, тел. +38 (032) 263 12 64, ел. пошта skal@ipm.lviv.ua, ORCID 0000-0002-3799-0883

^{2*}Відділ акустико-емісійного діагностування елементів конструкцій, Фізико-механічний інститут імені Г. В. Карпенка НАН України, вул. Наукова, 5, Львів, Україна, 79060, тел. +38 (032) 229 68 75, ел. пошта ira_dolinska@ukr.net, ORCID 0000-0003-1143-8895

^{3*}Відділ акустико-емісійного діагностування елементів конструкцій, Фізико-механічний інститут імені Г. В. Карпенка НАН України, вул. Наукова, 5, Львів, Україна, 79060, тел. +38 (032) 229 65 46, ел. пошта rudavskyu@gmail.com, ORCID 0000-0001-5541-3003

⁴ПрАТ «Львівський локомотиворемонтний завод», вул. Залізнична, 1а, Львів, Україна, 79018, тел. +38 (032) 233 30 25, ел. пошта general@lvivlrz.com, ORCID 0000-0002-1560-6078

^{5*}ПрАТ «Львівський локомотиворемонтний завод», вул. Залізнична, 1а, Львів, Україна, 79018, тел. +38 (032) 233 02 96, ел. пошта v_bas@mail.ua, ORCID 0000-0002-8308-8807

МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЗАЛИШКОВОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ РАМИ ВІЗКА ЛОКОМОТИВА З УРАХУВАННЯМ ПОВЗУЧОСТІ

Мета. Проблема визначення залишкового ресурсу елементів рами візка електровозів має велике значення для прогнозування їх безпечної роботи та уникнення можливих аварій на колії. Особливо це стосується випадків, коли в таких елементах наявні повзучо-втомні тріщини, які за дії циклічного навантаження з витримкою T_1 в циклі ростуть і досягають свого критичного розміру. Тут постає питання про розвиток таких дефектів (тріщин), їх кінетику і, взагалі, про період їх докритичного росту. Метою роботи є розроблення розрахункової моделі визначення періоду докритичного росту повзучо-втомних тріщин у рамах візків електровозів, яка враховувала б основні параметри навантаження, геометрію елемента конструкції та тріщини. **Методика.** Сформульовано розрахункову модель для визначення періоду докритичного росту повзучо-втомних тріщин в елементах конструкцій рами в умовах дії змінного в часі навантаження. Вона базується на першому законі термодинаміки стосовно механіки заповільненого руйнування тіл під час змінного навантаження та низькотемпературної повзучості, коли домінуюча роль при цьому відводиться періоду неусталеної повзучості (перша ділянка кривої повзучості). Низькотемпературна повзучість – це повзучість матеріалів за температур $T_0 < 0,5T_{\text{mp}}$, де T_{mp} – температура плавлення матеріалу. **Результати.** Отримано аналітичну формулу для визначення коефіцієнта інтенсивності напружень шкворневої балки з технологічним отвором. Показано, що за визначеними експериментально константами матеріалу з використанням запропонованих аналітичних залежностей можна легко визначати залишковий ресурс елементів рами візка. **Наукова новизна.** Запропоновано нову математичну модель для опису кінетики поширення повзучо-втомних тріщин у рамах візків електровозів за змінних у часі навантажень із різними їх часовими витримками та визначення на цій основі періоду докритичного росту тріщин. **Практична значимість.** Сформульована модель може слугувати основою інженерних методів розрахунку з визначення залишкового ресурсу елементів конструкцій із тріщинами, що працюють за сумісної дії циклічного навантаження та неусталеної повзучості.

Ключові слова: рама візка локомотива; повзучо-втомна тріщина; залишкова довговічність; низькотемпературна повзучість; період докритичного росту повзучо-втомної тріщини; коефіцієнт інтенсивності напружень

Вступ

Вантажні і пасажирські електровози серії ВЛ [9, 10] становлять значну частину магістральних електровозів, що експлуатуються на вітчизняних електрифікованих залізничних дорогах. Однак відомо, що на сьогодні значна частина даного рухомого складу залізниць України експлуатується з перевищенням призначеного

строку служби. А тому для відвернення непередбачених аварій виникає потреба створення надійних методів оцінки залишкового ресурсу їх несучих елементів конструкцій.

Зміна рівня якісного стану рейкових шляхів, технічного обслуговування і умов експлуатації електровозів останнім часом все більше призводить до появ тріщин рам візків вантажних

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

електровозів, їх руйнування, а відтак і сходження з рейок. Рама візка електрорухомого складу (рис. 1) є основним несучим вузлом конструкції локомотива, який призначений для розміщення елементів тягового приводу, гальмівного обладнання і ресорної підвіски. Через раму візка здійснюється передача ваги кузова на колісні пари, вона сприймає також сили тяги і гальмування, що розвиваються кожною колісною парою, і передає їх на раму кузова, а потім на автозчепку.

Одним із основних елементів рами візка, який сприймає силу тяги і гальмування, є шкворневий брус коробчастого перерізу з двома технологічними отворами та конічним переходом вздовж висоти заглиблення, через який проходить шкворінь. Як показує практика, в процесі експлуатації рами візка зародження тріщин найчастіше відбувається в технологічних кругових отворах на нижній полиці шкворневої балки (рис. 1). Подальший ріст таких тріщин може призвести до руйнування балки, а відтак і до повного руйнування рами візка під час руху потяга. Таким чином, можна припускати, що шкворнева балка визначає ресурс рами візка локомотива. Виходячи з цього, постала задача оцінки довговічності візка залежно від розміру тріщини, яка виникла з технологічного отвору шкворневої балки, за умов низькотемпературної повзучості.

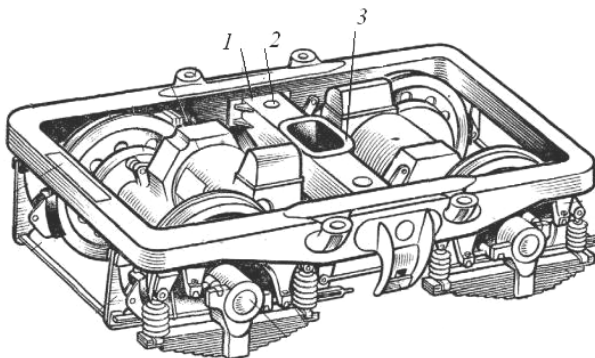


Рис. 1. Схема рами візка локомотива ВЛ-80:
1 – шкворнева балка; 2 – технологічні отвори;
3 – шкворневий отвір

Fig. 1. Scheme of bogie frame VL-80:
1 – truck bolster; 2 – technological holes; 3 – pivoted hole

На цей час оцінці ресурсу основних несучих конструкцій рухомого складу залізниць присвячено багато наукових праць. Так, наприклад, у [4] запропоновано методику для оцінки дов-

говічності залишкового ресурсу рам візків локомотива, яка побудована на базі коректованої гіпотези лінійного сумування втомних пошкоджень з використанням показників експлуатаційного навантаження і характеристик опору втомі натурних деталей після їх тривалої експлуатації. Викладено методики визначення строку служби та залишкового ресурсу ходових частин рухомого складу на базі стендових випробувань малої кількості деталей з різними термінами експлуатації [6].

Авторами праці [1] розроблено методи розв'язку прямих і обернених задач надійності рам візків вагонів електропоїздів з урахуванням випадковості навантаження та характеристик опору втомі і виконано числові дослідження характеристик надійності.

У [5] здійснено оцінювання залишкового ресурсу рам візків електровозів ВЛ-10 за допомогою 3-го розрахункового методу Серенсена, який передбачає розрахунок коефіцієнта перевантаження. На основі літературних даних про ВЛ-10 розробник визначив вихідні дані для розрахунку ймовірності виникнення втомних тріщин у найбільш напружених місцях рами.

Вагому частку наукових праць присвячено прогнозуванню та підвищенню втомної довговічності бокової рами візків вантажних вагонів [2, 3, 7, 8].

Однак у вищезгаданих працях запропоновані моделі оцінювання ресурсу рам візків електровозів ґрунтуються на стендових дослідженнях або числових методах. Аналітичних залежностей для цього в літературних джерелах не виявлено, особливо таких, що враховують повзучість.

Мета

Метою роботи є розроблення розрахункової моделі визначення періоду докритичного росту повзучо-втомних тріщин в рамах візків електровозів, яка враховувала б основні параметри навантаження, геометрію елемента конструкції і тріщини.

Методика

Під час руху локомотива на шкворневу балку рами візка діє постійна тягова сила P , яка збільшується (зменшується) за його старту (зупинки) (рис. 2). Час зупинки чи старту локомо-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

тива є набагато меншим за час його руху (тобто час навантаження і розвантаження поїзда), тому ними можемо знехтувати. Таким чином навантаження, що припадає на раму візка локомотива, можна моделювати циклічним навантаженням з витримкою T_1 в циклі в умовах дії низькотемпературного поля T_0 ($T_0 < 0,5T_{пл}$, $T_{пл}$ – температура плавлення матеріалу елемента конструкції), що забезпечує в основному процес повзучо-втомного руйнування (рис. 2). Тут T_1 – тривалість руху поїзда в тяговому режимі; T_2 – час уповільнення руху; T_3 – час стоянки; T_4 – час прискорення руху; $T_1 \gg T_2 + T_3 + T_4$. За навантаження, яке домінує в циклі T_1 , в шкворневій балці будуть зароджуватись і розвиватись повзучо-втомні тріщини.

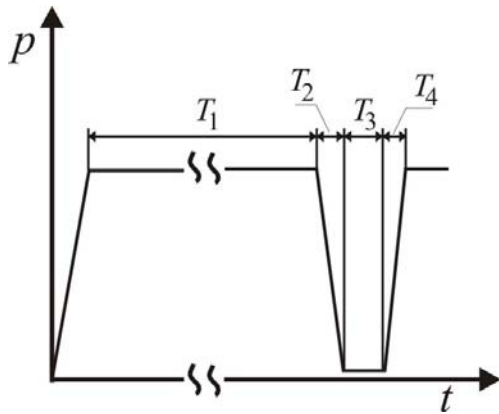


Рис. 2. Схема часової зміни в часі зовнішнього навантаження під час руху і зупинки поїзда

Fig. 2. Scheme of hours changes in time of the external load during the driving and stopping of trains

Таким чином, задача полягає у визначенні періоду докритичного росту повзучо-втомної тріщини (кількості циклів навантаження $N = N_*$), яка розміщена в шкворневій балці рами візка локомотива і виходить з технологічного отвору.

Розв'язування задачі виконаємо на основі запропонованої раніше аналогічної розрахункової моделі [11] для визначення періоду докритичного росту повзучо-втомних високотемпературних тріщин за змінного в часі навантаження. В основу моделі покладено принципи термодинаміки, а саме балансу енергетичних складових для елементарного акта поширення тріщини та балансу швидкостей їх зміни. Запишемо рівняння кінетики поширення повзучо-втомної тріщини у вигляді

$$dl/dN = \partial W_p / \partial N [\gamma_{fc} - \gamma_t]^{-1}, \quad (1)$$

за початкової і кінцевої умов

$$N = 0, \quad l(0) = l_0;$$

$$N = N_*(T_1), \quad l(N_*(T_1)) = l_*;$$

$$\gamma_t(l_*) = \gamma_{fc}. \quad (2)$$

Тут W_p – частина роботи пластичних деформацій, яка генерується самим тілом під час його розвантаження і статичного стиску зони передруйнування; $\gamma_t = \sigma_{0f} \delta_{tmax}$ – питома робота пластичних деформацій у зоні передруйнування за росту повзучо-втомної тріщини; $\gamma_{fc} = \sigma_{0f} \delta_{fc}$ – її критичне значення; δ_{tmax} – максимальне за цикл розкриття δ_t тріщини в її вершині за усередненого напруження σ_{0f} в зоні передруйнування; δ_{fc} – критичне значення δ_t ; l_0 – початковий розмір тріщини; l_* – граничний розмір тріщини (для цього випадку приймаємо наближення вершини втомної тріщини до ребра жорсткості, розміщеного на внутрішній стороні шкворневого бруса).

Енергію деформування W_p , що входить в рівняння (1) запишемо так [11]

$$W_p = \alpha_0 N \sigma_{0f} \left(\left([\delta_{tmax}(0,t) - \delta_{tmin}(0,t)]^2 - [\delta_{thmax}(0,t) - \delta_{thmin}(0,t)]^2 \right) \right), \quad (3)$$

де δ_{thmax} , δ_{thmin} – максимальне і мінімальне нижнє порогове значення розкриття δ_t тріщини в її вершині, за якого не відбувається повзучо-втомне руйнування; α_0 – константа, яка визначається експериментально.

Оскільки ми розглядаємо практичні часи витримок, то основну долю часу інкубаційного періоду займатиме неусталена повзучість (перша ділянка кривої повзучості [13]). Також відомо [13], що за відношення температури $T_0/T_{пл}$ від 0,05 до 0,3 деформація повзучості за розтягу змінюється пропорційно натуральному логарифму. Тоді на основі результатів праці [13] для першої ділянки діаграми повзучості розкриття зони передруйнування запишемо так

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

$$\delta_{t\max}(0, t) = \delta_{t\max}(0, 0) + B \ln((t_0 + t)t_1^{-1}). \quad (4)$$

Тут B , t_1 – константи, які визначають експериментально; $\delta_{t\max}(0, 0)$ – максимальне розкриття зони передруйнування на початку циклу навантаження; $B \ln((t_0 + t)t_1^{-1})$ – додаткове розкриття зони передруйнування за рахунок повзучості протягом циклу навантаження (надалі приймається, що $t_0 = 1$ год). З (4) легко бачити, що $B = \dot{\delta}_{t\max}(0, 0)t_0$, де $\dot{\delta}_{t\max}(0, 0)$ – швидкість розкриття у вершині тріщини за повзучості в зоні передруйнування.

Різницю розкриття тріщини у формулі (3) запишемо у вигляді

$$\delta_{t\max}(0, t) - \delta_{t\min}(0, t) = 0,5[\delta_{t\max}(0, 0) + \dot{\delta}_{t\max}(0, 0)t_0 \ln((t_0 + t)t_1^{-1})](1 - R)^2, \quad (5)$$

де R – коефіцієнт асиметрії циклу навантаження. Аналогічно, як це було запропоновано в працях [11, 12], швидкість розкриття тріщини повзучості $\dot{\delta}_{t\max}(0, 0)$ можна подати такою залежністю

$$\dot{\delta}_{t\max}(0, 0) = A_1 [\delta_{t\max}(0, 0) \delta_{fc}^{-1}]^m, \quad (6)$$

де A_1 , m – характеристики низькотемпературної повзучості матеріалу, які визначаються із експерименту. Тоді з врахуванням цього і співвідношень (3), (5) рівняння (1) для визначення швидкості поширення макротріщини набуде вигляду

$$\frac{dl}{dN} = \frac{\alpha_0(1-R)^4}{4\sigma_{of}E} \left\{ \left[K_{l\max}^2 + A_2 \left[\frac{K_{l\max}^2}{K_{fc}^2} \right]^m \times \ln \left(\frac{t_0 + T}{t_1} \right) \right]^2 - \left[K_{th}^2 + A_2 \left[K_{th}^2 K_{fc}^{-2} \right]^m \times \ln \left(\frac{t_0 + T_1}{t_1} \right) \right]^2 \right\} (K_{fc}^2 - K_{l\max}^2)^{-1} \quad (7)$$

за наступних початкової і кінцевої умов

$$N = 0, \quad l(0) = l_0;$$

$$N = N_*(T_1), \quad l(N_*(T_1)) = l_*;$$

$$K_{l\max}(l_*) = K_{fc}, \quad (8)$$

де E – модуль Юнга; $K_{l\max}$ – максимальне значення коефіцієнта інтенсивності напружень K_I в циклі; K_{fc} – критичне значення K_I за циклічного навантаження; K_{th} – нижнє порогове значення K_I , за якого не проходить повзучо-втомне руйнування; $A_2 = A_1 t_0 \sigma_{of} E$.

Результати

Маючи швидкість росту повзучо-втомної тріщини, значення докритичного періоду легко знайти за залежністю

$$N_* = \frac{4\sigma_{of}E}{\alpha_0(1-R)^4} \int \left\{ \left[K_{l\max}^2 + A_2 \left[K_{l\max}^2 / K_{fc}^2 \right]^m \times \ln \left(\frac{t_0 + T_1}{t_1} \right) \right]^2 - \left[K_{th}^2 + A_2 \left[K_{th}^2 / K_{fc}^2 \right]^m \times \ln \left(\frac{t_0 + T}{t_1} \right) \right]^2 \right\}^{-1} (K_{fc}^2 - K_{l\max}^2) dl. \quad (10)$$

Для цього випадку значення коефіцієнта інтенсивності напружень визначаємо на основі праці [14] за формулою

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi l} F \left(\frac{l}{r} \right), \quad (9)$$

де $F \left(\frac{l}{r} \right)$ – протабульована безрозмірна поправкова функція.

За даними табличних значень функції $F \left(\frac{l}{r} \right)$ [14] її було апроксимовано методом найменших квадратів із високою точністю (R^2 не менше 0,999) за допомогою такої залежності (рис. 3)

$$F \left(\frac{l}{r} \right) = 1,29 \left(\frac{l}{r} + 0,535 \right)^{-1,7} + 0,768. \quad (11)$$

Для побудови кількісних діаграм оцінки залишкового ресурсу балки з наявною повзучо-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

втомною тріщиною необхідно виконати додаткові експериментальні дослідження для визначення повзучо-втомних характеристик матеріалу рами з урахуванням терміну експлуатування візка, які необхідно закласти для розрахунків за отриманою аналітичною залежністю (10).

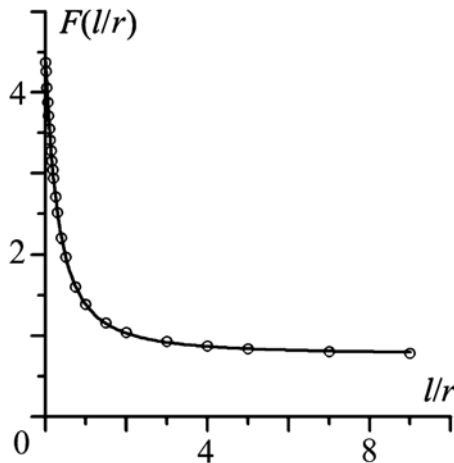


Рис. 3. Апроксимація методом найменших квадратів коефіцієнта інтенсивності напружень для тріщини біля кругового вирізу:
кружечки – числовий розв’язок [14],
суцільна лінія – залежність (11)

Fig. 3. Approximation with the smallest squares method of stress intensity factor for cracks near circular neckline:

circles – numerical solution [14], *solid line* – dependence (11)

Наукова новизна та практична значимість

Запропоновано нову математичну модель для опису кінетики поширення повзучо-втомних тріщин у рамах візків електровоза за змінних у часі навантажень з різними їх часовими витримками і визначення на цій основі періоду докритичного росту тріщин. В основу моделі покладено перший закон термодинаміки для елементарного акта руйнування за такого виду навантажень.

Сформульована модель може слугувати основою інженерних методів розрахунку з визначення залишкового ресурсу елементів конструкцій із тріщинами, що працюють за сумісної дії циклічного навантаження і неусталеної повзучості.

Висновки

Побудована розрахункова модель для оцінки періоду росту в рамі візка локомотива повзучо-

втомних тріщин за циклічно-змінних навантажень з різними часовими витримками у циклі і визначення на цій основі залишкового ресурсу рами візка. Модель урахує особливості експлуатування локомотива в тяговому режимі. Вона передбачає мінімальну кількість експериментальних досліджень з визначення констант матеріалу і може бути покладена в основу методик розрахунку залишкового ресурсу силових елементів рухомого складу залізниць, під час використання їх у виробничих умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жовдак, В. А. Прогнозирование надежности рам тележек вагонов электропоездов / В. А. Жовдак, А. Б. Белоцерковский // Вестн. НТУ «ХПИ». Динаміка та міцність машин : сб. науч. тр. – Харьков, 2005. – № 47. – С. 61–70.
2. Излом боковой рамы тележки грузового вагона. Анализ технологии производства, пути устранения дефектов / А. Монастырский, В. Бубнов, С. Котенко, В. Балакин // САПР и графика. – 2013. – № 1. – С. 95–99.
3. Особенности рамы тележки грузового вагона и усталостная выносливость / А. Л. Голубенко, Л. А. Губачева, А. А. Андреев, С. Д. Мокроусов // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2013. – № 9 (1). – С. 7–16.
4. Оценка долговечности и остаточного ресурса рам тележек локомотивов / Б. Б. Бунин, Э. С. Оганьян, Т. М. Пономаева, В. Г. Шевченко // Тяжелое машиностроение. – 2007. – № 11. – С. 31–33.
5. Оцінювання залишкового ресурсу рам візків електровозів ВЛ-10 / В. Леоніць, Б. Шульгінов, А. Лукашевич, Л. Чаус // Вісн. Тернопіл. нац. ун-ту. – 2011. – Спецвип., ч. 2. – С. 29–34.
6. Прогнозирование остаточного ресурса ходовых частей подвижного состава, исчерпавших свой ресурс / А. В. Донченко, Л. С. Ольгард, С. В. Бондарев, Л. Г. Волков // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 15. – С. 83–87.
7. Самошкин, С. Л. Исследование несущих элементов тележек модели 18-100 грузовых вагонов / С. Л. Самошкин, А. А. Хоменко, А. А. Виноградов // Тяжелое машиностроение. – 2007. – № 9. – С. 23–25.
8. Султан, А. В. Исследование усталостной прочности рамы тележки электровоза ДСЗ методом конечно-элементного моделирования / А. В. Султан, Б. Н. Товт // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 30. – С. 230–234.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

9. Электровозы ВЛ-10 и ВЛ-10у. Руководство по эксплуатации / под ред. О. А. Кикнадзе. – Москва : Транспорт, 1981. – 519 с.
10. Электровоз ВЛ-11. Руководство по эксплуатации / под ред. Г. И. Чиракадзе и О. А. Кикнадзе. – Москва : Транспорт, 1983. – 464 с.
11. Andreykiv, O. E. Estimation of the period of initiation and propagation of creep-fatigue cracks in thin-walled structural elements / O. E. Andreykiv, I. Ya. Dolins'ka, and N. V. Yavorska // *Materials Science*. – 2011. – Vol. 47. – Iss. 3 – P. 273–283. doi: 10.1007/s11003–011–9393–6
12. Andreykiv, O. E. Strength of thin-walled structural elements with cracks under the conditions of creep / O. E. Andreykiv, N. B. Sas // *Materials Science*. – 2007. – Vol. 43. – Iss. 2. – P. 174–182. doi: 10.1007/s11003–007–0020–5
13. Garofalo, F. Fundamentals of creep and creep-rupture in metals / F. Garofalo. – New York ; London : Mac Millan Company, 1970. – 343 p.
14. Stress intensity factors handbook : in 2 Vol. / Ed. by Y. Murakami. – Tokyo : Pergamon Books LTD, 1982. – 1014 p.

В. Р. СКАЛЬСКИЙ¹, И. Я. ДОЛИНСКАЯ^{2*}, Д. В. РУДАВСКИЙ^{3*}, Р. Я. ЯРЕМА⁴,
В. Р. БАС^{5*}

¹Отдел акустико-эмиссионного диагностирования элементов конструкций, Физико-механический институт имени Г. В. Карпенко НАН Украины, ул. Научная, 5, Львов, Украина, 79060, тел. +38 (032) 263 12 64, эл. почта skal@ipm.lviv.ua, ORCID 0000-0002-3799-0883

^{2*}Отдел акустико-эмиссионного диагностирования элементов конструкций, Физико-механический институт имени Г. В. Карпенко НАН Украины, ул. Научная, 5, Львов, Украина, 79060, тел. +38 (032) 229 68 75, эл. почта ira_dolinska@ukr.net, ORCID 0000-0003-1143-8895

^{3*}Отдел акустико-эмиссионного диагностирования элементов конструкций, Физико-механический институт имени Г. В. Карпенко НАН Украины, ул. Научная, 5, Львов, Украина, 79060, тел. +38 (032) 229 65 46, эл. почта rudavskyu@gmail.com, ORCID 0000-0001-5541-3003

⁴ЧАО «Львовский локомотиворемонтный завод», ул. Железнодорожная, 1а, Львов, Украина, 79018, тел. +38 (032) 233 30 25, эл. почта general@lvivlrz.com, ORCID 0000-0002-1560-6078

^{5*}ЧАО «Львовский локомотиворемонтный завод», ул. Железнодорожная, 1а, Львов, Украина, 79018, тел. +38 (032) 233 02 96, эл. почта v_bas@mail.ua, ORCID 00–0002–8308–8807

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАМЫ ТЕЛЕЖКИ ЛОКОМОТИВА С УЧЕТОМ ПОЛЗУЧЕСТИ

Цель. Проблема определения остаточного ресурса элементов рамы тележки электровозов имеет большое значение для прогнозирования их безопасной работы и избежания возможных аварий на пути следования. Особенно это касается случаев, когда в таких элементах имеются усталостно-ползучие трещины, которые при действии циклической нагрузки с выдержкой T_1 в цикле растут и достигают своего критического размера. Здесь возникает задача изучения развития таких дефектов (трещин), то есть получения данных об их кинетике, что определяет период их докритического роста. Целью работы является разработка расчетной модели определения периода докритического роста ползуче-усталостных трещин в рамах тележек электровозов, которая учитывала бы основные параметры нагрузки, геометрию элемента конструкции и трещины. **Методика.** Сформулирована расчетная модель для определения периода докритического роста ползуче-усталостных трещин в элементах конструкции рамы в условиях действия переменного во времени нагружения. Она базируется на первом законе термодинамики относительно механики замедленного разрушения тел при переменной нагрузке и низкотемпературной ползучести, когда доминирующая роль при этом отводится периоду неустановившейся ползучести (Первый участок кривой ползучести). Низкотемпературная ползучесть – это ползучесть материалов при температурах $T_0 < 0,5T_{\text{mp}}$, где T_{mp} – температура плавления материала. **Результаты.** Получена аналитическая формула для определения коэффициента интенсивности напряжений шкворневой балки с технологическим отверстием. Показано, что по экспериментально определенным константам материала с использованием предложенных аналитических зависимостей можно легко определять остаточный ресурс элементов рамы тележки. **Научная новизна.** Предложена новая математическая модель для описания кинетики распространения ползуче-усталостных трещин в рамах тележек электровоза при переменных во времени нагрузках с различными их часовыми выдержками и определение на этом основании периода их докритического роста. **Практическая значимость.** Предложенная в работе модель может служить основой инженерных методов расчета остаточного ресурса элементов конструкций с трещинами, работающих при совместном действии циклической нагрузки и неустановившейся ползучести.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Ключевые слова: рама тележки локомотива; ползуче-усталостная трещина; остаточная долговечность; низкотемпературная ползучесть; период докритического роста; ползуче-усталостная трещина; коэффициент интенсивности напряжений

V. R. SKALSKYY¹, I. YA. DOLINSKA^{2*}, D. V. RUDAVSKYY^{3*}, R. YA. YAREMA⁴,
V. R. BAS^{5*}

¹Dep. «Acoustic Emission Diagnostics of Structural Elements», Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Naukova St., 5, Lviv, Ukraine, 79060, tel. +38 (032) 263 12 64, e-mail skal@ipm.lviv.ua, ORCID 0000-0002-3799-0883

^{2*}Dep. «Acoustic Emission Diagnostics of Structural Elements», Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Naukova St., 5, Lviv, Ukraine, 79060, tel. +38 (032) 229 68 75, e-mail ira_dolinska@ukr.net, ORCID 0000-0003-1143-8895

^{3*}Dep. «Acoustic Emission Diagnostics of Structural Elements», Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Naukova St., 5, Lviv, Ukraine, 79060, tel. +38 (032) 229 65 46, e-mail rudavskyy@gmail.com, ORCID 0000-0001-5541-3003

⁴JSC «Lviv Locomotive Repair Plant», Zaliznychna St., 1a, Lviv, Ukraine, 79018, tel. +38 (032) 233 30 25, e-mail general@lvivlrz.com, ORCID 0000-0002-1560-6078

^{5*}JSC «Lviv Locomotive Repair Plant», Zaliznychna St., 1a, Lviv, Ukraine, 79018, tel. +38 (032) 233 02 96, e-mail v_bas@mail.ua, ORCID 0000-0002-8308-8807

ESTIMATION MODEL OF RESIDUAL LIFE-TIME OF LOCOMOTIVE FRAME BOGIE WITH ALLOWANCE FOR CREEP

Purpose. The problem of determining the residual life of frame bogie elements of locomotives is a great importance for predicting their work safely and avoidance potential failures on the track. This especially concern cases when such elements have creep-fatigue cracks which grow under action of cyclic loading with excerpts T_1 in the cycle and reach their critical size. Here the question of the propagation of such defects (cracks) arises, their kinetics and about the period of subcritical cracks growth. The aim is to develop a calculation model for determination the period of subcritical creep-fatigue cracks growth in the bogies frames of electric locomotive. The model takes into account the basic parameters of load, geometry of the construction element and cracks. **Methodology.** The calculation model for determination the period of subcritical creep-fatigue cracks growth in structural elements of frame under conditions of variable load time has been formulated. It is based on the first law of thermodynamics concerning to mechanics of solids slow fracture at low temperature creep and variable loadings. It is assumed that the period of unsteady creep dominates here (the first section of the creep curve). Low-temperature creep is creep of materials at temperatures $T_0 < 0,5T_{mp}$, where T_{mp} – the melting point of the material. **Findings.** The analytical formula for the determination of the stress intensity factor of truck bolster with technological hole has been obtained. It is shown that by experimentally established constants of the material using the proposed analytical relations can easily determine residual resource of the bogie frame elements. **Originality.** The new mathematical model for describing the kinetics of creep-fatigue cracks growth in the frames bogies of electric locomotive under variable in time loadings with various time excerpts and on this base the period determination of subcritical crack growth has been proposed. **Practical value.** Formulated model can serve as a basis for engineering calculation methods to determine the residual life of structural elements with cracks, working on joint action of cyclic loading and unsteady creep.

Keywords: bogie frame of the locomotive; creep-fatigue crack; residual life-time; low temperature creep; period of subcritical creep-fatigue crack growth; stress intensity factor

REFERENCES

1. Zhovdak V.A., Belotserkovskiy A.B. Prognozirovaniye nadezhnosti ram telezhok vagonov elektropoyezdov [Reliability prediction of bogie frames of electric trains]. *Sbornik nauchnykh trudov. Vestnik natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta Kharkovskogo politekhnicheskogo universiteta: Dynamika ta mitsnist mashyn* [Proc. of the National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»: Dynamics and machines strength], 2005, no. 74, pp. 61-70.
2. Monastyrskiy A., Bubnov V., Kotenko S., Balakin V. Izlom bokovoy ramy telezhki gruzovogo vagona. Analiz tekhnologii proizvodstva, puti ustraneniya defektov [Failure of side bogie frame in the freight car. Analysis of manufacturing technology, ways of defects removal]. *SAPR i grafika – CAD and graphics*, 2013, no. 1, pp. 95-99.
3. Golubenko A.L., Gubacheva L.A., Andreyev A.A., Mokrousov S.D. Osobennosti ramy telezhki gruzovogo vagona i ustalostnaya vynoslivost [Features of bogie frame in the freight car and fatigue endurance]. *Visnyk Shidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni V. Dalia* [Bulletin of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University], 2013, no. 9 (1), pp. 7-16.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

4. Bunin B.B., Oganyan Ye.S., Ponomayeva T.M., Shevchenko V.H. Otsenka dolgovechnosti i ostatochnogo resursa ram telezhok lokomotivov [Estimation of lifetime and residual resource of bogie frames in locomotives]. *Tyazheloye mashinostroeniye – Heavy Engineering*, 2007, no. 11, pp. 31-33.
5. Leonets V., Shulhinov B., Lukashevych A., Chaus L. Otsiniuvannya zalyshkovoho resursu ram vizkiv elektrovoziv VL-10 [Estimation of residual resource of bogie frames in the electric locomotives VL-10]. *Visnyk Ternopil'skoho natsionalnoho universytetu – Bulletin of Ternopil National University*, 2011, special issue, no. 2, pp. 29-34.
6. Donchenko A.V., Olgard L.S., Bondarev S.V., Volkov L.G. Prognozirovaniya ostatochnogo resursa khodovykh chastei podvizhnogo sostava, ischerpavshikh svoi resurs [Residual resource prediction of running parts of the rolling stock which have exhausted their resource]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 15, pp. 83-87.
7. Samoshkin S.L., Khomenko A.A., Vinogradov A.A. Issledovaniye nesushchikh elementov telezhok modeli 18-100 gruzovykh vagonov [Investigation of bogie supporting elements, model 18-100 of the freight cars]. *Tyazheloye mashinostroeniye – Heavy Engineering*, 2007, no. 9, pp. 23-25.
8. Sultan A.V., Tovt B.N. Issledovaniye ustalostnoy prochnosti rami telezhki elektrovoza DS3 metodom konechno-elementnogo modelirovaniya [Investigation of the fatigue strength of the bogie frame in the electric locomotive of DS3 by finite element modeling]. *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. 230-234.
9. Kiknadze O.A. *Elektrovoz VL10 and VL10u. Rukovodstvo po ekspluatatsii* [Electric locomotive VL11. Operations manual]. Moscow, Transport Publ., 1981. 519 p.
10. Chirakadze G.I., Kiknadze O.A. *Elektrovoz VL11. Rukovodstvo po ekspluatatsii* [Electric locomotive VL11. Operations manual]. Moscow, Transport Publ., 1983. 464 p.
11. Andreykiv O.E., Dolinska I.Ya., Yavorska N.V. Estimation of the period of initiation and propagation of creep-fatigue cracks in thin-walled structural elements. *Materials Science*, 2011, issue 47, no. 3, pp. 273–283. doi: 10.1007/s11003–011–9393–6.
12. Andreykiv O.E., Sas N.B. Strength of thin-walled structural elements with cracks under the conditions of creep. *Materials Science*, 2007, issue 43, no. 2, pp. 174–182. doi: 10.1007/s11003–007–0020–5.
13. Garofalo F. Fundamentals of creep and creep-rupture in metals, New York-London, Mac Millan Company Publ., 1970. 343 p.
14. Murakami Y. Stress intensity factors handbook. Stress intensity factors handbook. In 2 volumes. Tokyo, Pergamon Books LTD Publ., 1982. 1014 p.

Стаття рекомендована до друку д.т.н., проф. О. Є. Андрейківим (Україна); д.т.н., проф. В. Л. Горобцем (Україна)

Надійшла до редколегії 22.10.2014

Прийнята до друку 19.12.2014

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 621.331:621.311.4

О. О. МАТУСЕВИЧ^{1*}, Д. В. МІРОНОВ^{2*}

^{1*}Каф. «Електропостачання залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 17, ел. пошта al_m0452@meta.ua, ORCID 0000-0002-2174-7774

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ

Мета. В роботі проводились дослідження експлуатації силового обладнання тягових підстанцій (ТП) електрифікованих залізниць України. Необхідним є пошук нових сучасних методів і підходів удосконалення системи моніторингу, діагностування та технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) силового обладнання ТП. **Методика.** Для досягнення поставленої мети досліджено динаміку зміни технічного стану обладнання ТП за останні 11 років на основі звітів аналізу роботи господарства електрифікації та електропостачання Укрзалізниці. Проведено дослідження основних систем із організації ТО і Р пристроїв ТП електрифікованих залізниць. **Результати.** У результаті дослідження встановлено, що в основі нових стратегій ТО і Р лежить аналіз ризиків експлуатації старого устаткування або устаткування з певними дефектами (обслуговування устаткування за фактичним технічним станом). Проведене дослідження основних причин порушень за період із 2002 по 2012 рр. нормальної роботи системи тягового електропостачання залізниць України показує, що 80 % причин порушень складають: пошкодження основного силового обладнання ТП; відключення живлення енергосистемою; перевантаження та перенапруга; вплив метеорологічних умов. Із них 43 % складають відмови основного силового обладнання ТП. Тому в існуючих умовах експлуатації силового електрообладнання ТП актуальними є постійний моніторинг, випробування й діагностика стану обладнання зі створенням і використанням мікропроцесорних інтелектуальних автоматизованих систем моніторингу та діагностування. **Наукова новизна.** Розглянуті нові напрями подальшого удосконалення системи ТО і Р тягових підстанцій електрифікованих залізниць. Уперше запропоновані сучасні стратегії та методи управління ТО і Р ТП електрифікованих залізниць України, які не розглядаються в «Інструкції з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць» ЦЕ-0024. Визначені основні проблеми, які необхідно вирішити для впровадження даних стратегій. **Практична значимість.** Встановлено, що система ППР в умовах жорсткого централізованого планування й керування у нових економічних умовах не забезпечує в багатьох випадках ухвалення та прийняття ефективних рішень при організації та проведенні ТО і Р. Досліджено, що і після нормативного терміну служби значна частина силового обладнання ТП зберігає свою працездатність при своєчасному проведенні випробувань, діагностувань, ТО і Р та якісному їх виконанні.

Ключові слова: електропостачання; електрифіковані залізниці; тягова підстанція; обладнання; стратегії, ризики ТО і Р; діагностування; надійність; моніторинг; фактичний технічний стан; система технічної експлуатації

Вступ

Однією з найважливіших проблем сучасності є проблема надійності. Питання про надійність

електроенергетичних об'єктів і систем є основним в комплексі вимог, що пред'являються до них. Ефективне функціонування електрифікованого залізничного транспорту в основному

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

залежить від надійності електропостачання. У свою чергу надійність функціонування електротехнічного обладнання тягових підстанцій (ТП) залежить від його технічного стану. Сучасне електротехнічне устаткування має високі розрахункові показники надійності, однак в процесі експлуатації під впливом різних чинників, умов і режимів роботи стан обладнання ТП безперервно погіршується, знижується експлуатаційна надійність і збільшується небезпека виникнення відмов. Надійність силового обладнання ТП залежить не лише від якості виготовлення, але і від науково обгрунтованої експлуатації, правильного технічного обслуговування і своєчасного ремонту. В основі процесу експлуатації електроустаткування ТП лежать послідовні в часі зміни технічного стану обладнання ТП, наявність резерву, своєчасність ремонту, якісне технічне обслуговування та зберігання, здійснення моніторингу стану технічного обладнання, тощо.

На сьогодні значна частина обладнання електроенергетичної інфраструктури залізничного транспорту України вже вичерпала свій ресурс і потребує заміни або поетапної реконструкції та оновлення. Крім того, необхідно підвищувати ефективність використання існуючого обладнання, застосовувати нові методи діагностування фактичного технічного стану обладнання, скорочувати експлуатаційні витрати і переходити на ресурсозберігаючі та енергозберігаючі технології. Надійна робота пристроїв електропостачання відіграє важливу роль з питань вирішення проблеми безпеки руху на залізницях України. При цьому більшості відмов електроустаткування дистанцій електропостачання передують той або інший вид накопичених ушкоджень. Наприклад, внаслідок пошкодження пристроїв електропостачання на залізницях України за 2012 рік було затримано 982 поїзди на 959 годин, у 2011 році – 832 поїзди на 656 годин. Це на 17,0 % більше за кількістю і на 46,0 % більше за часом [1].

Як бачимо, проблема забезпечення надійності електроустаткування та зниження аварійності силового обладнання ТП в процесі експлуатації стає першочерговим завданням системи електропостачання електрифікованих залізниць.

Мета

Виходячи з вищерозглянутої проблеми, метою статті є дослідження експлуатації силового обладнання ТП електрифікованих залізниць

України та пошук нових сучасних методів і підходів удосконалення системи моніторингу, діагностування і технічного обслуговування в процесі експлуатації ТП. Підтримка необхідного рівня надійності тягового електропостачання та зниження аварійності силового устаткування.

Методика

Теоретичною базою дослідження стали результати аналізу роботи господарства електрифікації та електропостачання Укрзалізниці, а також публікацій, які присвячені дослідженню досвіду з питань якісного вирішення проблем надійного електропостачання залізниць.

Підтримка необхідного рівня надійності обладнання ТП в процесі його експлуатації забезпечується системою технічного обслуговування і ремонтів. Відповідно до [3] системи ТО і Р обладнання тягового електропостачання залізниць – це сукупність взаємозв'язаних засобів, документації технічного обслуговування і ремонту та виконавців, необхідних для підтримки і відновлення якості пристроїв, що входять в цю систему. Метою системи ТО і Р є управління технічним станом обладнання протягом їх терміну служби або ресурсу.

Утримання технічного обладнання залізничного транспорту на високому експлуатаційному рівні неможливе без об'єктивної інформації про їх фактичний технічний стан. Об'єкти залізничного транспорту містять велику кількість пристроїв, тривала експлуатація яких без належного діагностування технічного стану може призвести до виходу їх з ладу та значного матеріального збитку.

Основним технологічним завданням господарства електропостачання залізниць України («Е») є якісне, безперебійне забезпечення електроенергією тягових та нетягових споживачів. Для виконання цього завдання підрозділи господарства «Е» перетворюють електричну енергію на тягових підстанціях, передають електроенергію заданих параметрів через контактну мережу до електрорухомого складу для тяги поїздів, а також живлять сторонніх споживачів через райони електропостачання. Технічне забезпечення виконання основного завдання господарства «Е» можна розділити на групи:

1. Експлуатація технічних пристроїв електропостачання, яка включає в себе:

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

- моніторинг та діагностику технічного стану обладнання тягових підстанцій, контактної мережі та районів електропостачання;

- технічне обслуговування і ремонт обладнання тягових підстанцій, постів секціонування, пунктів паралельного з'єднання та обладнання районів електропостачання.

2. Забезпечення процесу експлуатації силового обладнання ТП з вирішенням проблем модернізації і оновлення обладнання; виділення коштів на експлуатаційні витрати; забезпечення кваліфікованим персоналом; забезпечення запасними частинами; здійснення моніторингу та якісного діагностування обладнання ТП.

На сьогодні розвиток швидкісного руху та зростання його інтенсивності, застосування електрорухомого складу нового покоління вимагають заміни застарілого обладнання низької експлуатаційної надійності на високотехнологічні пристрої підвищеної надійності і збільшеного ресурсу, впровадження нових методів діагностування технічного стану обладнання ТП та вдосконалення існуючої системи технічного обслуговування і ремонту пристроїв електропостачання електрифікованих залізниць України.

Зазначені обставини вказують на необхідність розробки науково-обґрунтованого комплексу методів і засобів, спрямованих на підвищення надійності системи тягового електропостачання (СТЕ). Цей комплекс повинен базуватися на детальному аналізі виходу з ладу електрообладнання СТЕ зі застосуванням сучасних математичних моделей і методів. Результати такого дослідження можна використовувати:

- під час розробки заходів з підвищення надійності тягового електропостачання залізниць України;

- під час розробки концепції стратегії оперативного управління СТЕ;

- для вирішення задачі безперервної та надійної роботи обладнання ТП з мінімальними витратами на ТО і Р;

- для аналізу проблем виникнення аварійних ситуацій тягового електропостачання залізниць;

- для вирішення проблеми скорочення простой обладнання та позапланових робіт з ТО і Р обладнання ТП.

З метою вирішення проблеми підвищення якості ТО і Р системи тягового електропостачання залізниць України виконаємо дослідження надійності обладнання системи та розгляне-

мо порушення нормальної роботи пристроїв електропостачання різного ступеня тяжкості.

Аналіз динаміки зміни даних показників за 11 років показав [1, 2], що в період з 2002 по 2007 р. спостерігається зменшення кількості відмов силового обладнання. А починаючи з 2007 р., цей показник та кількість причин, що викликають його, навпаки зростають (рис. 1). В першу чергу це стосується порушень на контактній мережі та тягових підстанціях.

З наведених графіків бачимо, що починаючи з 2007 р., зросла кількість порушень як по всіх підрозділах служби «Е» в цілому, так і по ТП зокрема. Для ТП це зростання склало з 9 випадків в 2007 р. до 20 випадків в 2012 р.

За кількістю затриманих поїздів в результаті порушень (відмов) силового обладнання тягових підстанцій також спостерігається динаміка зростання затримки поїздів за досліджуваний період (рис. 2).

З метою виявлення причин порушень нормальної роботи системи тягового електропостачання залізниць України виконано дослідження основних причин порушень за період з 2002 по 2012 р., результати якого наведені у табл. 1.

Однак, така велика кількість виявлених порушень нормальної роботи системи тягового електропостачання, які наведені у табл. 1, ускладнює можливість якісно виявити та надати оцінку порушень нормальної роботи системи тягового електропостачання.

Для вирішення цієї проблеми є багато сучасних методів. У цьому напрямі японські вчені в період становлення науки про якість відібрали сім основних методів. Заслуга вчених полягає в тому, що вони забезпечили простоту, наочність, візуалізацію багатьох статистичних методів, перетворивши їх фактично в ефективні інструменти оперативного контролю якості [9]. Одним з семи методів є закон Парето, принцип якого заснований на відокремленні важливих факторів від малозначущих і несуттєвих та дозволяє сфокусувати зусилля і ресурси на усунення найбільш значимих проблем.

Побудована діаграма Парето з причин порушень нормальної роботи системи тягового електропостачання електрифікованих залізниць України, які наведені у табл. 1, зображена на рис. 3.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

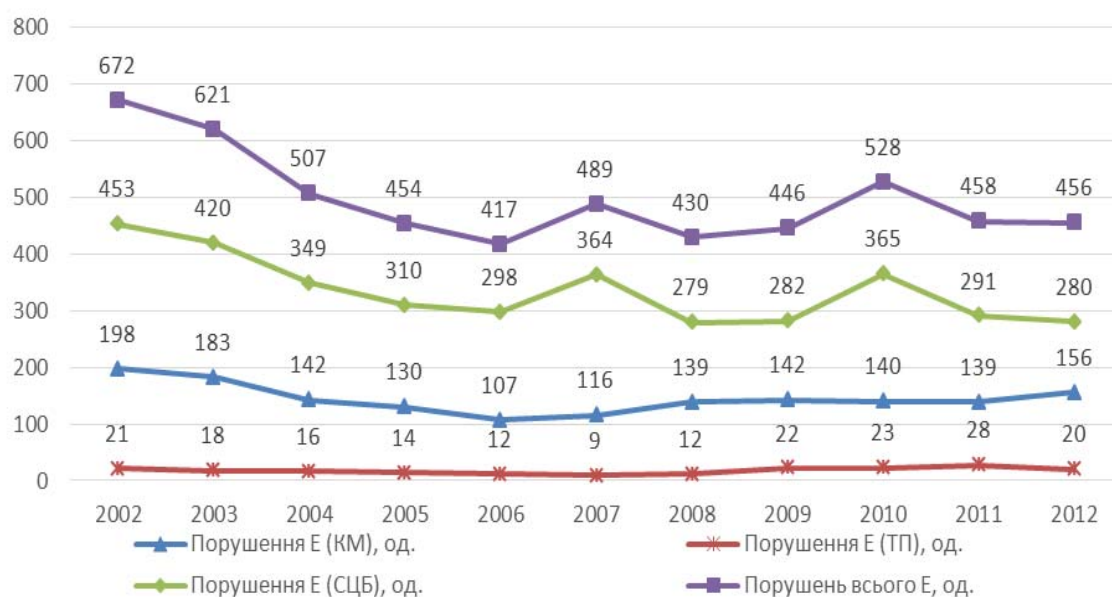


Рис. 1. Динаміка порушень нормальної роботи пристроїв електропостачання по господарству «Е»

Fig. 1. The dynamic violation of normal work of the electric supply device on the economy «E»

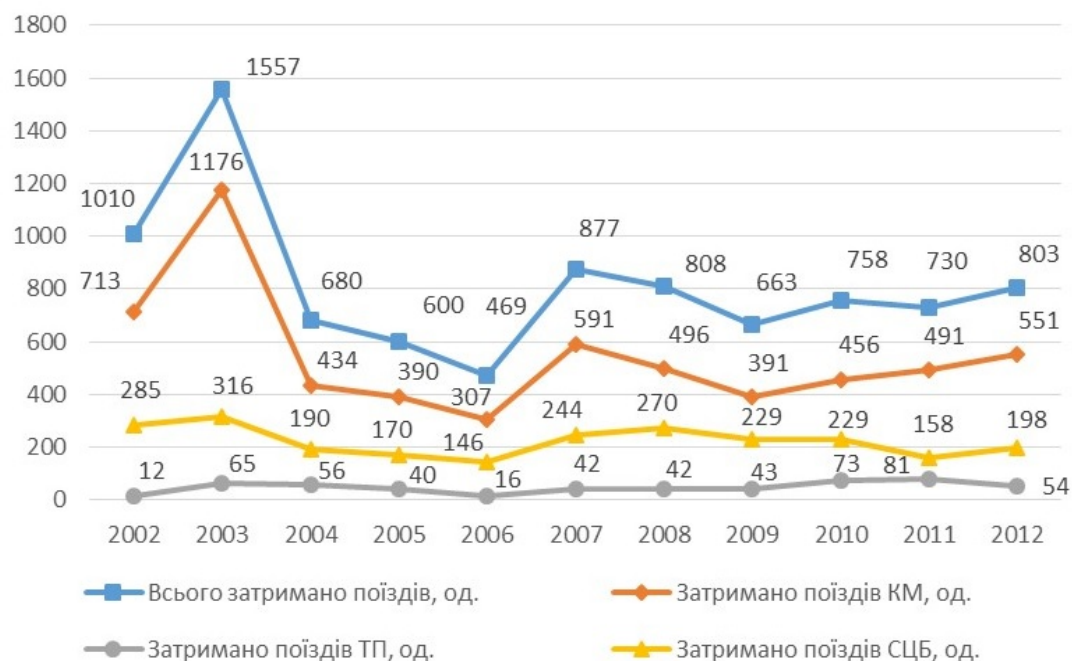


Рис. 2. Динаміка кількості затриманих поїздів в результаті відмов пристроїв електропостачання

Fig. 2. Dynamics of the number of delayed trains as a result of power supply failure

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

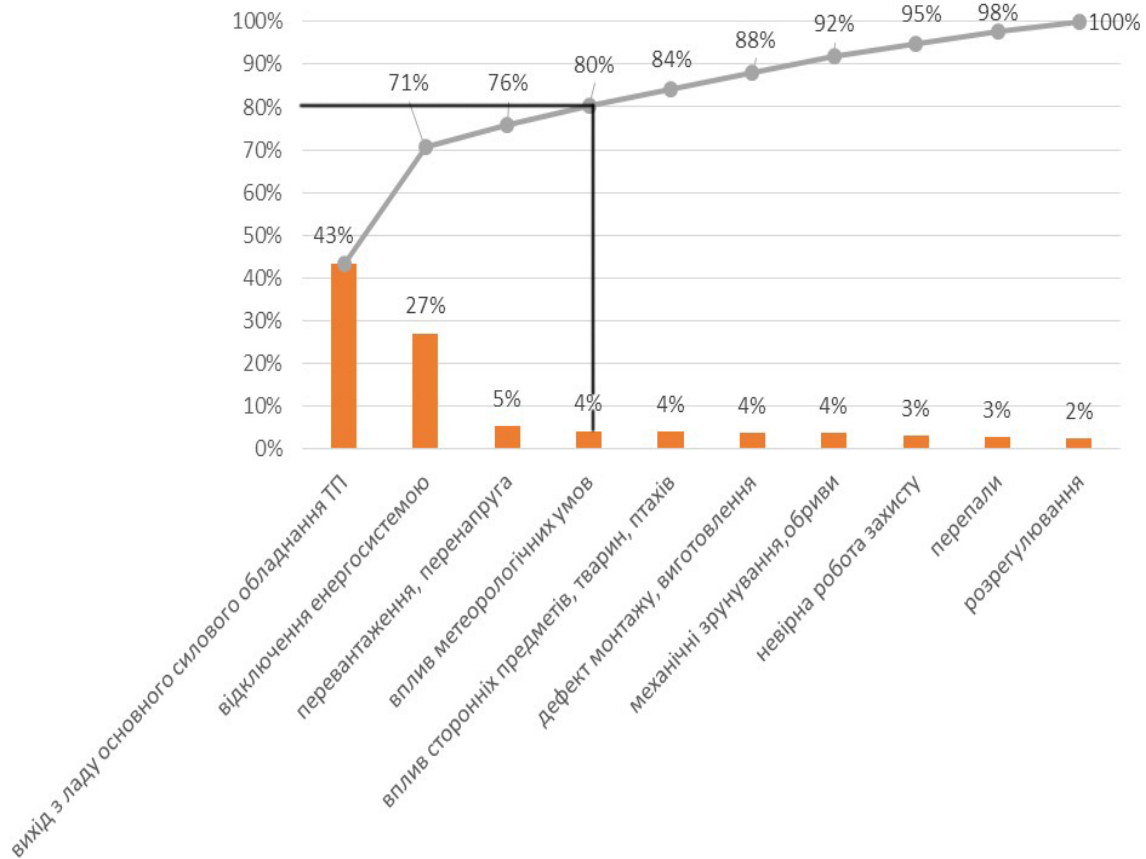


Рис. 3. Причини порушення роботи обладнання ТП

Fig. 3. Causes of traction substation work disturbances

Таблиця 1

Причини порушень нормальної роботи системи тягового електропостачання електрифікованих залізниць України

Table 1

Causes of normal work disturbances of the traction electric of Ukrainian electrified railways

| Рік | Вихід з ладу основного силового обладнання ТП | Перепали | Механічні зруйнування, обриви | Розрегулювання | Перевантаження, перенапруга | Дефект монтажу, виготовлення | Вплив метеорологічних умов (ожеледь, вітер, температура) | Вплив сторонніх предметів, тварин, птахів | Невірна робота захисту | Відключення енергосистемою |
|------|---|----------|-------------------------------|----------------|-----------------------------|------------------------------|--|---|------------------------|----------------------------|
| 2012 | 16 | 1 | 3 | 3 | 7 | 2 | 1 | | 2 | 5 |
| 2011 | 23 | 2 | | | 3 | 2 | 3 | 1 | 4 | 26 |
| 2010 | 9 | | | | 1 | 2 | 4 | 3 | | 25 |
| 2009 | 25 | 2 | | | 3 | 1 | 1 | | 4 | 25 |
| 2008 | 25 | 1 | | | 4 | | 1 | 1 | | 34 |
| 2007 | 8 | 1 | | | 4 | | 1 | 1 | | 13 |
| 2006 | 15 | | 3 | | 2 | | 2 | 3 | | 21 |

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Закінчення табл. 1

| Рік | Вихід з ладу основного силового обладнання ТП | Перепали | Механічні зруйнування, обриви | Розрегулювання | Перевантаження, перенапруга | Дефект монтажу, виготовлення | Вплив метеорологічних умов (ожеледь, вітер, температура) | Вплив сторонніх предметів, тварин, птахів | Невірна робота захисту | Відключення енергосистемою |
|------|---|----------|-------------------------------|----------------|-----------------------------|------------------------------|--|---|------------------------|----------------------------|
| 2005 | 32 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 6 | 1 | 2 |
| 2004 | 41 | 2 | 2 | 8 | | 3 | 5 | 4 | 1 | 8 |
| 2003 | 35 | 1 | 8 | 2 | 3 | 3 | 5 | 1 | 2 | 5 |
| 2002 | 55 | 7 | 5 | 2 | 5 | 5 | 3 | 6 | 6 | 13 |

Аналіз діаграми показує, що 80 % причин порушень нормальної роботи системи тягового електропостачання електрифікованих залізниць України за досліджуваний період складають: пошкодження основного силового обладнання ТП; відключення живлення енергосистемою;

перевантаження та перенапруга; та вплив метеорологічних умов. З них 43 % складають відмови основного силового обладнання ТП. Результати дослідження відмов основного силового обладнання ТП електрифікованих залізниць України за 2000–2012 роки [1, 2], наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Розподіл порушень нормальної роботи основного обладнання ТП електрифікованих залізниць України

Table 2

The distribution of the abnormal operation of the main equipment of traction substation of electrified Railways of Ukraine

| Рік | Порушення | Трансформатори | | | Вимикачі | | | | | Розрядники | | Кмпенс. згляд. пристрої | Ізолятори | Перетворювачі | Роз'єднувачі | Рел. захист |
|------|-----------|----------------|--------|-----------------|--------------|-------------|---------|------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------------|-----------|---------------|--------------|-------------|
| | | Силові | Тягові | Змінного струму | Вимірювальні | Швидкодіючі | 6-35 кВ | 110-220 кВ | Фідерні 27,5 кВ | Постійного струму | Змінного струму | | | | | |
| 2012 | 49 | 3 | | 1 | 1 | 6 | 3 | | 2 | | | 2 | 4 | | 1 | 7 |
| 2011 | 58 | 2 | 4 | | 4 | 5 | 3 | 3 | 1 | 1 | | | | 1 | | 9 |
| 2010 | 44 | | | | 1 | 5 | 3 | 3 | 3 | | | 1 | 4 | 1 | 5 | 2 |
| 2009 | 43 | 2 | 1 | 3 | 4 | | | 1 | 1 | 1 | | | 4 | 1 | | |
| 2008 | 28 | 2 | 3 | | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | | | 3 | | | |
| 2007 | 28 | 2 | | | 1 | 1 | | 1 | 2 | 1 | | 1 | | | | 2 |
| 2006 | 28 | | | | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | | 2 | | 1 | | 1 | |
| 2005 | 45 | | 1 | | 11 | | 2 | 3 | 4 | | 3 | | 4 | 1 | 2 | 1 |
| 2004 | 58 | 1 | | 1 | 6 | 4 | 2 | 2 | 1 | | | 1 | 5 | | 2 | 9 |
| 2003 | 64 | | | 3 | 7 | 4 | 1 | 3 | 5 | | 1 | 3 | 4 | | 4 | 4 |
| 2002 | 96 | 3 | 1 | 3 | 8 | 5 | 5 | 2 | 8 | 1 | 3 | 4 | 9 | 2 | 3 | 6 |
| 2001 | 95 | 3 | 1 | 4 | 3 | 5 | 6 | 9 | 8 | 11 | | 4 | 3 | 1 | 5 | 4 |
| 2000 | 120 | 1 | 1 | 3 | 5 | 7 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 14 | 9 | 2 | 3 | 19 |

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

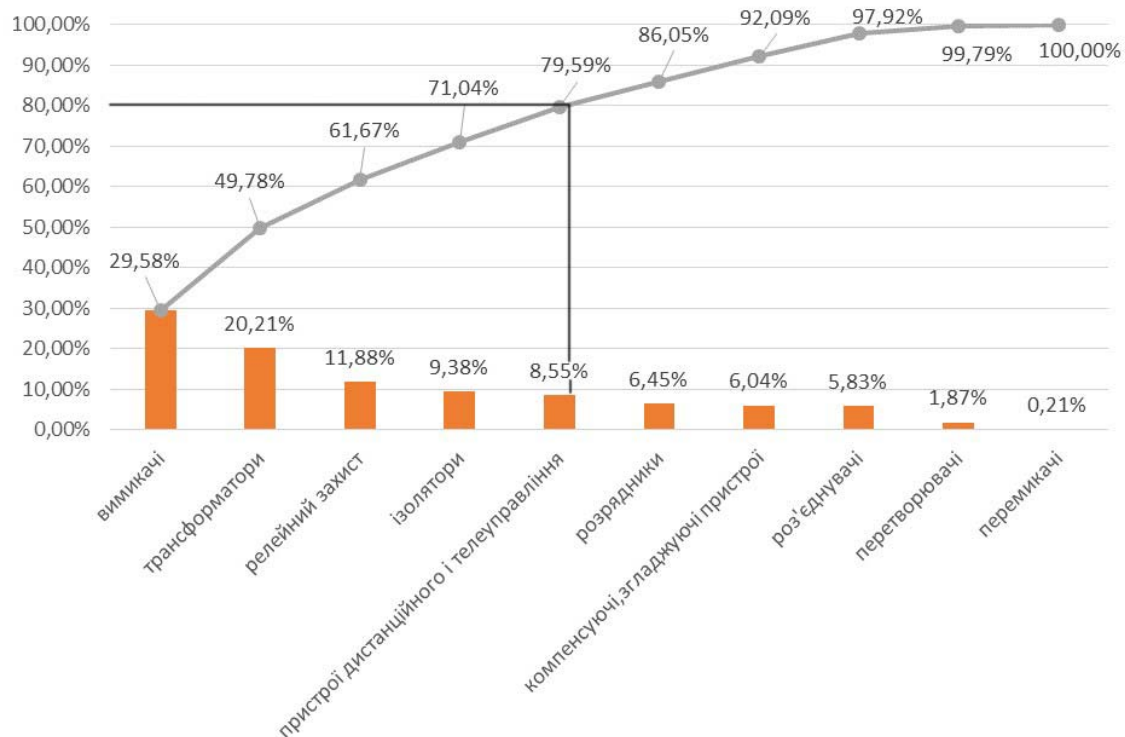


Рис. 4. Розподіл порушень роботи обладнання ТП за типами устаткування

Fig. 4. The distribution of failures of traction substation equipment on types of equipment

Для виявлення обладнання ТП, стану якого необхідно приділити першочергову увагу під час здійснення моніторингу, діагностування та ТО і Р, побудуємо діаграму Парето за результатами дослідження, які наведені у табл. 2 (рис. 4).

Аналіз діаграми показує, що основним обладнанням з вини якого здійснюється 79,59 % порушень нормальної роботи ТП електрифікованих залізниць України за досліджуваний період є: вимикачі, трансформатори (як силові, так і вимірювальні), пристрої релейного захисту, ізолятори та пристрої дистанційного і телеуправління. Також бачимо, що основні порушення нормальної роботи ТП відбуваються за рахунок виходу з ладу вимикачів (29,58 %) та трансформаторів (20,21 %).

У електроенергетичних системах високовольтні вимикачі відносяться до одних з найбільш відповідальних видів електрообладнання. Якість функціонування високовольтних вимикачів визначає ступінь надійності і енергобезпеки роботи всієї системи передачі і розподілу електроенергії як в нормальних, так і в аварійних режимах. Ця проблема також стосується системи тягового електропостачання залізниць.

За допомогою високовольтних вимикачів здійснюються відключення аварійних струмів короткого замикання, операції комутації електропостачання, а також комутації, пов'язані зі зміною напрямку потоків потужностей в електроенергетичних системах. Очевидно, що залежно від роботи вимикача його комутаційний ресурс витрачається нерівномірно. Будь-яким вимикачем можна виконати набагато більше операцій комутації номінального робочого струму, ніж аварійного, який в декілька десятків разів перевищує робочий струм вимикача. Оскільки спроби експлуатації вимикачів після вичерпання їхнього комутаційного ресурсу призводять до значних збитків, важливою технічною задачею є своєчасна оцінка залишкового комутаційного ресурсу цього класу пристроїв.

Основний парк вимикачів 110 кВ становлять вимикачі типу МКП з терміном експлуатації до 25 років (близько 70 %) [1], які зняті з виробництва, трудомісткі в експлуатації і не мають запасних частин.

Середньорічна кількість аварійних відключень на один живлячий фідер контактної мережі в 2012 р. становить 178 проти 207,5 у 2011 році.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

У 2012 році по залізницях замінено 26 швидкодіючих вимикачів постійного струму із запланованих 27, на цей час залишається в експлуатації 425 морально застарілих вимикачів постійного струму типу АБ-2/4.

На змінному струмі експлуатуються масляні вимикачі типу ВМО-27,5 та ВМК-25, що мають низький ресурс відключень, потребують позачергових ремонтів і підлягають заміні. До того ж, ці вимикачі на сьогодні зняті з виробництва і відсутній обмінний фонд запчастин для виконання ремонтів. У 2012 році із запланованих 13 вимикачів замінено лише 7.

Тому в таких умовах експлуатації ТП дуже актуальними є технічний контроль і діагностика стану високовольтних вимикачів, що дозволяють своєчасно виявляти дефекти або несправності, а потім оперативно усувати їх. Очевидно, що діагностиці високовольтних вимикачів, які знаходяться в експлуатації дистанцій електропостачання, слід приділяти підвищену увагу. В цей час для вирішення цієї проблеми в системі електропостачання залізниць, в тому числі і діагностиці високовольтного електроустаткування, важливу роль відіграють сучасні методи з використанням цифрових пристроїв та систем на мікропроцесорній елементній базі. Ці методи мають важливе значення для зношеного електрообладнання, в першу чергу для масляних вимикачів, які на сьогодні експлуатуються значно більше, ніж іншого силового обладнання ТП.

Наступним напрямом вирішення проблеми підвищення надійності системи тягового електропостачання є ефективне та якісне діагностування фактичного технічного стану силових трансформаторів ТП з метою повного використання його ресурсу.

Трансформатори ТП дистанцій електропостачання зумовлені особливою значущістю у забезпеченні надійної роботи системи тягового електропостачання залізниць, високою вартістю, небезпекою виникнення ушкоджень, які викликають значні наслідки.

Діаграма розподілу порушень роботи обладнання ТП за типами устаткування (рис. 4) показує, що пошкодження трансформаторів відносяться до основних значущих проблем порушення нормальної роботи тягового електропостачання.

На цей час на залізницях України з 422 понижувальних та тягових трансформаторів напругою 110–220 кВ знаходяться в експлуатації

337 трансформаторів зі строком служби понад 25 років, що складає 79 % від загальної кількості понижувальних та тягових трансформаторів. За наявності трансформаторів з терміном експлуатації понад 25 років, службами електропостачання Південної залізниці (48 трансформаторів – 70 %), Південно-Західної залізниці (43 трансформаторів – 60 %), Одеської залізниці (37 трансформаторів – 59 %) у 2011 році роботи з ремонту і заміни навіть не планувались. В 2012 році виконано капітальний ремонт 11 тягових трансформаторів [1].

Згідно з додатком 2 «Інструкції з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць» (ЦЕ-0024), термін служби трансформатора складає не менше 25 років, при цьому через 12 років необхідно виконувати капітальний ремонт [6].

Виконаний аналіз технічного стану силових трансформаторів ТП показав, що з 2006 по 2012 рр. відбулося 30 пошкоджень та відмов трансформаторів [1, 2]. Із числа пошкоджених замінені 17 трансформаторів. Аналіз розподілу відмов і пошкоджень силових трансформаторів залежно від періоду їх експлуатації наведено на рис. 5.

Аналіз розподілу відмов і пошкоджень силових трансформаторів залежно від періоду їх експлуатації дозволяє зробити такий висновок:

- розподіл має чітко виражений максимум, найбільша кількість відмов і пошкоджень силових трансформаторів спостерігається після 10 і 30 років. Пошкоджуваність трансформаторів на рівні 15...20 % в перші 10...15 років роботи пояснюється, в основному, проявом істотних заводських дефектів конструкції і виготовлення;

- максимум пошкоджуваності силових трансформаторів в період експлуатації 10...15 років збігається з терміном капітального ремонту, який в умовах тягових підстанцій, як правило, не виконується через відсутність ремонтної бази;

- зниження пошкоджуваності до 25...30 років експлуатації пояснюється виробленим вибракуванням обладнання з істотними дефектами шляхом його заміни і частково виконанням ремонтів;

- зростання пошкоджуваності після 30 років експлуатації свідчить про недосконалість системи діагностування та ТО і Р. Можливістю істотно продовжити термін експлуатації транс-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

форматора та повного використання залишкового ресурсу є здійснення якісного і своєчасного діагностування, раннього усунення виявлених дефектів шляхом недорогого відновлювального ремонту.

Досвід експлуатації силових трансформаторів показує, що і після нормативного терміну служби значна частина трансформаторів збері-

гає свою працездатність за умови дотримання допустимих навантажувальних режимів, своєчасного виконання випробувань, діагностування, технічного обслуговування, ремонтів і якісного їх виконання, з іншого боку термін служби трансформатора залежить від його залишкового ресурсу [4, 13, 12].

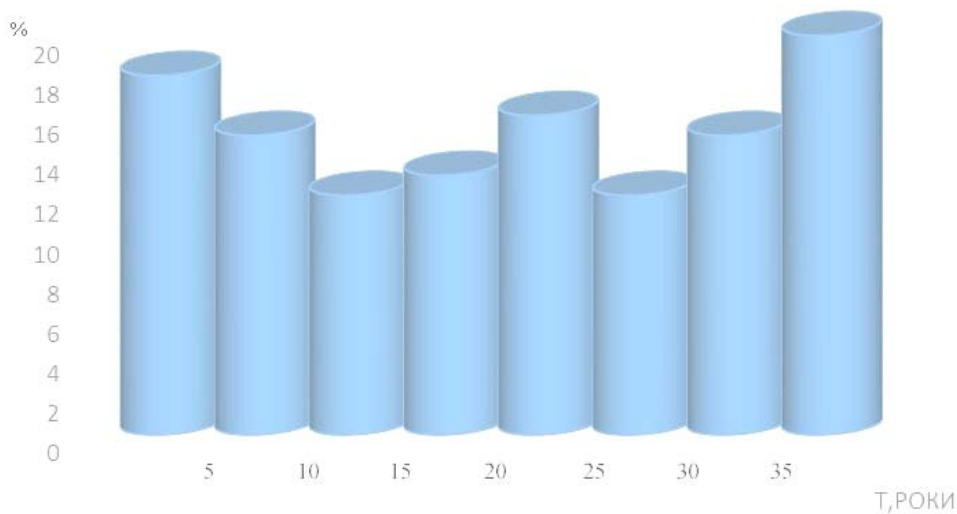


Рис. 5. Розподіл відмов і пошкоджень силових трансформаторів за періодами експлуатації, %

Fig. 5. The distribution of failures and damages of power transformers by periods of operation, %

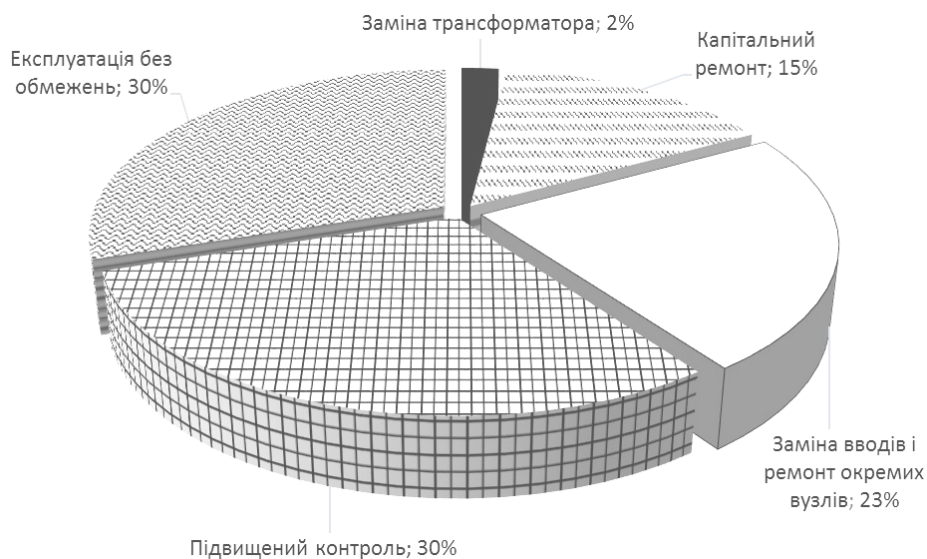


Рис. 6. Результати обстежень трансформаторів

Fig. 6. The results of the transformers tests

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Підтвердженням цього є результати обстежень більше двохсот трансформаторів потужністю від 6,3 до 1 000 МВт, виготовлених в Україні, Росії, Швеції і Бельгії і встановлених в різних кліматичних зонах [10]. Майже 70 % з обстежених трансформаторів мали напрацювання більше 25 років. Близько половини з них відноситься до великих (більше 100 МВт). Узагальнені результати комплексних діагностичних обстежень наведені на рис. 6.

За результатами обстежень видно, що 30 % трансформаторів, з числа обстежених, можуть продовжувати експлуатуватися без жодних обмежень. І всього лише 2 % мають бути замінені. Інші трансформатори вимагають або капітального ремонту (15 %), або відносно невеликих і недорогих відновних ремонтів (23 %), або просто підвищеного контролю (30 %).

Тому поряд з плановою заміною застарілого обладнання найважливішим завданням є використання повного робочого ресурсу трансформаторів за рахунок комплексного застосування сучасних методів діагностування та технологій ремонту за фактичним технічним станом обладнання.

На цей час підтримка необхідної міри надійності обладнання системи тягового електропостачання залізниць в процесі експлуатації забезпечується, по-перше, за рахунок значних коефіцієнтів запасу, які закладені під час його створення, по-друге системою технічного обслуговування і періодичних ремонтів.

В основу діючої системи ТО і Р ТП системи тягового електропостачання залізниць, згідно з «Інструкцією з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць» ЦЕ-0024 [6], покладено поєднання технічного обслуговування і планово-попереджувальних ремонтів (ППР). Принципи, які покладені в основу системи ППР [8]:

- чим старіше устаткування, тим вище вірогідність виходу його з ладу;
- накопичена статистика дозволяє розрахувати середній час роботи устаткування та норми періодичності ремонтів;
- планування засноване на попереджувальній профілактичній дії.

Основним техніко-економічним критерієм системи ППР служить мінімум простоїв устаткування на основі жорсткої регламентації ремонтних циклів. Відповідно до цього критерію

періодичність і об'єм робіт з технічного обслуговування і ремонту обладнання ТП визначаються заздалегідь встановленими для усіх видів устаткування типовими нормативами. Такий підхід попереджує прогресуючий знос обладнання і зменшує вірогідність виходу його з ладу. Система ППР дає можливість підготувати керувану і прогнозовану на тривалий період ремонтну програму за видами ремонтів, типами обладнання, дистанціями тягового електропостачання та служби ЦЕ Укрзалізниці. Це спрощує планування профілактичних заходів, дозволяє здійснити попередню підготовку ремонтних робіт, дозволяє виконувати їх в мінімальні терміни, підвищує якість ремонту, що забезпечує необхідну надійність енергопостачання споживачів. Таким чином, система ППР призначена для забезпечення надійності електроустаткування системи електропостачання залізниць України в умовах жорсткого централізованого планування і керування, стабільного завантаження потужностей ТП при мініальному їх резерві. Однак у нових економічних умовах система ППР не забезпечує у багатьох випадках ухвалення та прийняття ефективних і оптимальних рішень. Це пояснюється такими причинами та обставинами [8, 11]:

- усереднені і застарілі нормативи інструкцій з організації ТО і Р ТП;
- призначення профілактичних робіт здійснюється за регламентом і не залежить від фактичного технічного стану обладнання ТП на початок ремонту (біля 50 % робіт виконується без фактичної необхідності);
- плани-графіки профілактичних робіт не встановлюють пріоритет виводу в ремонт різних видів електроустаткування ТП залежно від реального фактичного технічного стану обладнання;
- під час складання планів-графіків не враховується низка обмежень (технологічних, матеріальних, тимчасових, трудових), а також не передбачається їх оптимізація з позиції раціонального управління станами процесу експлуатації і повного використання ресурсу кожної одиниці електроустаткування ТП;
- виконується заміна деталей з великим залишковим ресурсом;
- велика трудомісткість профілактичних робіт;
- значна чисельність ремонтного персоналу.

Технічне переобладнання і модернізація вимагають значних інвестицій, а систему техні-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

ного обслуговування і ремонту можна удосконаливати шляхом впровадження нових прогресивних форм її організації і управління [7, 5]. У ході досліджень як вітчизняних, так і зарубіжних авторів було виявлено, що якщо витрати на експлуатацію по стратегії ППР прийняти за 100 %, то витрати по стратегії аварійних ремонтів складатимуть 130 %, а по стратегії ремонтів за фактичним технічним станом – 70 %.

Виходячи з виконаного дослідження, можна зробити висновок, що існуюча система ППР стала неадекватною економічним умовам функціонування системи тягового електропостачання та експлуатації силового обладнання ТП електрифікованих залізниць і протирічить ринковим механізмам виробничо-господарської діяльності об'єктів господарства електропостачання Укрзалізниці. На сучасному етапі розвитку залізниць України удосконалення системи ТО і Р електроустаткування ТП стає однією з основних задач підвищення надійності тягового електропостачання та вирішення проблеми скорочення витрат на ТО і Р.

Нездатність традиційної системи організації ТО і Р ефективно і надійно запобігати відмовам електроустаткування потребує застосування нових підходів з організації ТО і Р ТП дистанцій електропостачання. Для вирішення цієї проблеми необхідний вибір та застосування сучасних стратегій та методів управління ТО і Р силового електрообладнання ТП протягом всього строку служби з урахуванням різних режимів його функціонування.

На цей час для здійснення переходу від ППР електрообладнання ТП можна запропонувати такі стратегії організації ТО і Р силового електрообладнання ТП (ці підходи з організації ТО і Р не розглядаються в «Інструкції з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць» ЦЕ-0024 [6]), а саме:

- обслуговування за фактичним технічним станом силового електрообладнання ТП;
- суміщення ППР з ремонтом за фактичним технічним станом;
- обслуговування, яке орієнтоване на надійність – методика RCM (Reliability-Centered Maintenance);
- планування на основі оцінки ризиків прогнозованого залишкового ресурсу електрообладнання ТП;

– процесний підхід до управління системою ТО і Р електрообладнання ТП;

– системний підхід з організації та управління ТО і Р електрообладнання ТП.

Впровадження запропонованих стратегій обслуговування і ремонту електроустаткування ТП дозволить: підвищити надійність обладнання ТП і тягового електропостачання дистанції в цілому; скоротити витрати на виконання ТО і Р та аварійні витрати за рахунок аналізу ризиків; скоротити витрати на утримання обладнання ТП за рахунок відмови від непотрібних ремонтів і замін; скоротити час підготовки і виконання робіт (підвищення їх продуктивності) за рахунок детального планування; скоротити планові втрати, пов'язані з виконанням ремонтів за рахунок оптимізації графіка і поєднання робіт; скоротити складські запаси за рахунок детального планування; понизити закупівельні ціни на необхідний матеріально-технічний ресурс за рахунок детального планування; понизити вартість підрядних робіт за рахунок детального планування, тощо.

Однак для реалізації цих стратегій необхідно вирішити такі проблеми:

– забезпечити постійний моніторинг та оцінку технічного стану електроустаткування ТП електрифікованих залізниць;

– вдосконалити методи діагностики та методи прогнозування фактичного технічного стану електроустаткування ТП;

– розробити комбіновані технічні засоби діагностики і прогнозування технічного стану електроустаткування ТП;

– розробити сучасні мікропроцесорні датчики виміру основних параметрів силового електрообладнання ТП з метою створення інтелектуальних автоматизованих систем моніторингу та діагностування;

– розробити автоматизоване робоче місце (АРМ) чергового персоналу ТП;

– розробити автоматизовану систему планування ТО і Р, моніторингу та діагностування, обліку матеріально-технічного забезпечення, витрат ресурсів на обслуговування і контролю виконання робіт, аналізу відмов та технічних порушень, тощо;

– постійно підвищувати кваліфікацію і професіоналізм персоналу ТП, який обслуговує електроустаткування.

Впровадження прогресивних систем та методів обслуговування, як правило, первинно

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

витратне, але в подальшому використання запропонованих концепцій дозволить підвищити надійність експлуатації електроустаткування ТП, зменшити простой устаткування, максимально використати ресурс електрообладнання (економія фінансових витрат), скоротити витрати на виконання ТО і Р, знизити ризики збитків, тощо.

Результати

У результаті дослідження встановлено, що в основі нових методів ТО і Р лежить аналіз ризиків експлуатації старого устаткування або устаткування з певними дефектами (обслуговування електрообладнання ТП за фактичним технічним станом).

Надійна робота пристроїв електропостачання відіграє важливу роль з питань вирішення проблеми безпеки руху на залізницях України. При цьому більшості відмов електроустаткування дистанцій електропостачання електрифікованих залізниць передують той або інший вид накопичених ушкоджень.

Виконане дослідження основних причин порушень за період з 2002 по 2012 р. нормальної роботи системи тягового електропостачання залізниць України показує, що 80 % причин порушень нормальної роботи системи тягового електропостачання за досліджуваний період складають: пошкодження основного силового обладнання ТП; відключення живлення енергосистемою; перевантаження та перенапруга; та вплив метеорологічних умов. З них 43 % складають відмови основного силового обладнання ТП.

У ході дослідження відмов основного силового обладнання ТП електрифікованих залізниць України за 2000–2012 роки встановлено, що основним обладнанням, з причини якого здійснюється 79,59 % порушень нормальної роботи ТП, за досліджуваний період є: вимикачі, трансформатори (як силові, так і вимірювальні), пристрої релейного захисту, ізолятори та пристрої дистанційного і телеуправління. В результаті дослідження встановлено, що основні порушення нормальної роботи ТП відбуваються за рахунок виходу з ладу вимикачів (29,58 %) та трансформаторів (20,21 %).

На цей час основний парк вимикачів 110 кВ становлять вимикачі типу МКП з терміном експлуатації до 25 років (близько 70 %), які

зняті з виробництва, трудомісткі в експлуатації і не мають запасних частин. Також на змінному струмі експлуатуються масляні вимикачі типу ВМО-27,5 та ВМК-25, що мають низький ресурс відключень, потребують позачергових ремонтів і підлягають заміні.

У 2012 році по залізницях замінено 26 швидкодіючих вимикачів постійного струму із запланованих 27, на цей час залишається в експлуатації 425 морально застарілих вимикачів постійного струму типу АБ-2/4.

Що стосується експлуатації трансформаторів, то за їх наявності з терміном експлуатації понад 25 років, службами електропостачання Південної залізниці (48 трансформаторів – 70 %), Південно-Західної залізниці (43 трансформаторів – 60 %), Одеської залізниці (37 трансформаторів – 59 %) у 2011 році роботи з ремонту і заміни навіть не планувались.

Тому в таких умовах експлуатації силового електрообладнання ТП дуже актуальними є постійний моніторинг, технічний контроль і діагностика стану обладнання, це дозволяє своєчасно виявляти дефекти або несправності та оперативно усувати їх.

Наукова новизна та практична значимість

Розглянуті нові напрями подальшого удосконалення системи ТО і Р тягових підстанцій електрифікованих залізниць. Вперше запропоновані сучасні стратегії та методи управління ТО і Р ТП електрифікованих залізниць України, які не розглядаються в «Інструкції з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць» ЦЕ-0024 та визначені основні проблеми, які необхідно вирішити для впровадження цих стратегій.

Встановлено, що система ППР в умовах жорсткого централізованого планування і керування у нових економічних умовах не забезпечує у багатьох випадках ухвалення та прийняття ефективних і оптимальних рішень під час організації та виконання ТО і Р.

Досліджено, що і після нормативного терміну служби значна частина силового електрообладнання ТП зберігає свою працездатність за умови дотримання допустимих навантажувальних режимів, своєчасного виконання випробувань, діагностування, технічного обслугову-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

вання, ремонтів та якісного їх виконання, з іншого боку термін служби електрообладнання залежить від його залишкового ресурсу.

Висновки

1. На сьогодні значна частина обладнання електроенергетичної інфраструктури залізничного транспорту України вже вичерпала свій ресурс і потребує заміни або поетапної реконструкції та оновлення. Крім того, необхідно підвищувати ефективність використання існуючого обладнання, застосовувати нові методи діагностування фактичного технічного стану обладнання, скорочувати експлуатаційні витрати і переходити на ресурсозберігаючі та енергозберігаючі технології.

2. Технічне переобладнання і модернізація ТП електрифікованих залізниць вимагають значних інвестицій, а систему ТО і Р можна удосконалювати шляхом впровадження нових прогресивних форм її організації і управління. У цьому напрямі дослідження як вітчизняних, так і зарубіжних авторів показують, що якщо витрати на експлуатацію по стратегії ППР прийняти за 100 %, то витрати по стратегії аварійних ремонтів складатимуть 130 %, а по стратегії ремонтів за фактичним технічним станом – 70 %.

3. У ході виконаного дослідження виявлено, що існуюча система ППР стала неадекватною економічним умовам функціонування системи тягового електропостачання та експлуатації силового обладнання ТП електрифікованих залізниць протиричить ринковим механізмам виробничо-господарської діяльності об'єктів господарства електропостачання Укрзалізниці. На сучасному етапі розвитку залізниць України удосконалення системи ТО і Р електроустаткування ТП стає однією з основних задач підвищення надійності тягового електропостачання та вирішення проблеми скорочення витрат на ТО і Р.

4. Метою сучасних підходів щодо управління ТО і Р устаткування, пристроїв ТП є: уникнення або мінімізація наслідків відмов пристроїв; забезпечення ремонту за фактичним станом обладнання; вирішення завдань з виявлення відмов; оптимізація планового обслуговування тощо.

5. Найбільш ефективним в довгостроковій перспективі є перехід на системи ТО і Р, які якісно та повно відображають поточний стан електроустаткування ТП. Для цього необхідне

впровадження сучасних, перевірених вітчизняною і зарубіжною практикою систем ТО і Р, а це: ТО і Р за фактичним технічним станом; обслуговування, яке орієнтоване на надійність – методика RCM (Reliability-Centered Maintenance); планування на основі оцінки ризиків прогнозованого залишкового ресурсу електрообладнання ТП тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2012 році. – Київ : Мануфактура, 2013. – 248 с.
2. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2011 році. – Київ : Мануфактура, 2012. – 245 с.
3. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Основные термины и определения. – Москва : Изд-во стандартов, 1979. – 12 с.
4. Долин, А. П. Опыт проведения комплексных обследований силовых трансформаторов / А. П. Долин, Н. Ф. Першина, В. В. Смекалов // *Електр. станції*. – 2000. – № 6. – С. 46–52.
5. Дунаев, Д. В. Анализ отказов и методы контроля рельсовых цепей / Д. В. Дунаев, И. О. Романцев, В. И. Гаврилюк // *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 32. – С. 212–217.
6. Інструкція з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць. – Київ : Інпрес, 2008. – 125 с.
7. Капиця, М. І. Стратегії експлуатації, технічного обслуговування та ремонту локомотивів / М. І. Капиця, Р. О. Коренюк // *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 40. – С. 63–66.
8. Матусевич, О. О. Багатоаспектна оцінка технічного стану силового устаткування тягових підстанцій / О. О. Матусевич, В. Г. Сиченко // *Енергосбережение на ж.-д. транспорте и в промышленности : тез. IV міжнар. наук.-практ. конф. (11.06-14.06.2013) / МОН України, Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. В. Лазаряна*. – Дніпропетровськ, 2013. – С. 78–80.
9. Николаева, Э. К. Семь инструментов качества в японской экономике / Э. К. Николаева. – Москва : Изд-во стандартов. – 1990. – 45 с.
10. Смекалов, В. В. Оценка состояния и продление срока службы силовых трансформаторов [Электронный ресурс] / В. В. Смекалов, А. П. Долин, Н. Ф. Першина // *SIGRE2002*. – 2011. – 10 с. – Режим доступа: <http://www.ts-electro.ru/publi->

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

- cation.php?k=2. – Назва з екрана. – Перевірено : 07.10.2014.
11. Холоденин, А. А. Сравнение стратегий технического обслуживания электрооборудования [Электронный ресурс] / А. А. Холоденин // Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону : Материалы X регион. научно-техн. конф. – 2006. – Режим доступа: <http://www.ncstu.ru>. – Назва з екрана. – Перевірено : 07.10.2014.
 12. Gockenbach, E. Condition monitoring and diagnosis of power transformers / E. Gockenbach, H. Borsi // Condition Monitoring and Diagnosis, 2008. CMD 2008. Intern. Conference on: Proc. of Int. Conf. (21.04 – 24.04.2008). – Beijing, 2008. – P. 894–897. doi : 10.1109/cmd.2008.4580427.
 13. Sun, H.-Ch. Fault Diagnosis of Power Transformers Using Computational Intelligence: A Review / H.-Ch. Sun, Ya.-Ch. Huang, Ch.-M. Huang // Energy Procedia. – 2012. – Vol. 14. – P. 1226–1231. doi : 10/1016/j.egypro.2011.12.1080.

А. А. МАТУСЕВИЧ^{1*}, Д. В. МИРОНОВ^{2*}

^{1*}Каф. «Электроснабжение железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 793 19 17, эл. почта al_m0452@meta.ua, ORCID 0000-0002-2174-7774

^{2*}Каф. «Электроснабжение железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 25, эл. почта mironov.epz@yandex.ua, ORCID 0000-0002-5717-4322

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Цель. В работе проводились исследования эксплуатации силового оборудования тяговых подстанций (ТП) электрифицированных железных дорог Украины. Необходим поиск новых современных методов и подходов совершенствования системы мониторинга, диагностирования и технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) силового оборудования ТП. **Методика.** Для достижения поставленной цели проведено исследование динамики изменения технического состояния оборудования ТП за последние 11 лет, на основе отчетов анализа работы хозяйства электрификации и электроснабжения Укрзализныци. Проведено исследование основных систем по организации ТО и Р устройств ТП электрифицированных железных дорог. **Результаты.** В результате исследования установлено, что в основе новых стратегий ТО и Р лежит анализ рисков эксплуатации старого оборудования или оборудования с определенными дефектами (обслуживание оборудования по фактическому техническому состоянию). Проведенное исследование основных причин нарушений за период с 2002 по 2012 гг. нормальной работы системы тягового электроснабжения железных дорог Украины показывает, что 80% причин повреждения системы тягового электроснабжения за исследуемый период составляют: повреждение основного силового оборудования ТП; отключение питания энергосистемой; перегрузки и перенапряжение; влияние метеорологических условий. Из них 43 % составляют отказы основного силового оборудования ТП. Поэтому в существующих условиях эксплуатации силового электрооборудования ТП очень актуальны: постоянный мониторинг, испытания и диагностика состояния оборудования с созданием и использованием микро-процессорных интеллектуальных автоматизированных систем мониторинга и диагностирования. **Научная новизна.** Рассмотрены новые направления дальнейшего совершенствования системы ТО и Р тяговых подстанций электрифицированных железных дорог. Впервые предложены современные стратегии и методы управления ТО и Р ТП электрифицированных железных дорог Украины, которые не рассматриваются в «Инструкции по техническому обслуживанию и ремонту оборудования тяговых подстанций, пунктов питания и секционирования электрифицированных железных дорог» ЦЭ-0024. Определены основные проблемы, которые необходимо решить для внедрения данных стратегий. **Практическая значимость.** Установлено, что система ППР в условиях жесткого централизованного планирования и управления в новых экономических условиях не обеспечивает во многих случаях одобрения и принятия эффективных и оптимальных решений при организации и проведении ТО и Р. Исследовано, что и после нормативного срока службы значительная часть силового электрооборудования ТП сохраняет свою работоспособность при своевременном проведении испытаний, диагностики, технического обслуживания, ремонтов и качественном их выполнении.

Ключевые слова: электроснабжение; электрифицированные железные дороги; тяговая подстанция; оборудование; стратегии; риски ТО и Р; диагностирование; надежность; мониторинг; фактическое техническое состояние, система технической эксплуатации

O. O. MATUSEVYCH^{1*}, D. V. MIRONOV^{2*}

^{1*}Dep. «Power Supply of Railway Transport», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793 19 17, e-mail al_m0452@meta.ua, ORCID 0000-0002-2174-7774

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

STUDY OF THE MANUAL POWER EQUIPMENT OF TRACTION ELECTRIFICATION SYSTEM OF THE RAILWAYS

Purpose. Investigation of the operation of power equipment of traction substations (TS) of Ukrainian electrified railways. The search of the new modern methods and approaches improved monitoring, diagnostics and maintenance of power equipment TS during operation to maintain the required level of reliability of the traction power supply of electrified railway and limit the power equipment accidents TS. **Methodology.** The study of changes of a technical condition of TSs' equipment over the last 11 years was done for achieving this goal. This research was done for solving problems of power supply railways with high quality on the base of the reports analysis of the management and power supply of Ukrzaliznytsia. **Findings.** It was found that on the base of the new methods of maintenance is the risk analysis of old equipment or equipment with some defects (rev servicing equipment for the actual technical condition). Reliable performance of power supply devices has significant impact for solving the problem of safety on the railways of Ukraine. Different kinds of accumulated damage are at the first place before of failures of an electric power supply of electrified railway. The study of main causes of violations from 2002 to 2012 year showed that 80% of the reasons disorders normal operation of the traction power supply over the period constitutes next factors. There are damage to the main power equipment TS; power off the grid; overload and surge; and the impact of weather conditions. The primary power equipment failure of TS are constituted about 43%. Relevant constant monitoring, testing and diagnostics of the equipment with the creation and use of micro-processor smart automated monitoring and diagnosis are topical in the current operating conditions. **Originality.** The new directions for further improvement of maintenance electrified traction substations for electrified railways were considered. Modern strategies and management techniques and maintenance TS electrified railways of Ukraine were proposed at the first time. This methods aren't covered in the "Instructions for maintenance and repair of equipment of traction substations, power points and sectioning electrified railways" IT-0024. The basic problems for implementation of these strategies were identified. **Practical value.** It was established that system outage under tight central planning and management in the new economy does not provide, in many cases, approval and adoption of effective and optimal solutions in organization and carrying out maintenance. It was investigated that a significant portion of electric power equipment of TS even after normative life maintains its performance under the terms. There are allowable stress regimes, timely testing, diagnosis, maintenance, repair and quality of execution; on the other hand the service life of electrical equipment depends on its residual life.

Keywords: electricity; electrified railway; traction substation; equipment; strategies; risks of maintenance; diagnosis; reliability; monitoring; actual technical state system of technical exploitation

REFERENCES

1. *Analiz roboty hospodarstva elektryfikatsii ta elektropostachannia v 2012 rotsi* [Analysis of the work management electrification and power supply in 2012]. Kyiv, Manufaktura Publ., 2013. 248 p.
2. *Analiz roboty hospodarstva elektryfikatsii ta elektropostachannia v 2011 rotsi* [Analysis of the work management electrification and power supply in 2002-2011]. Kyiv, Manufaktura Publ., 245 p.
3. GOST 18322-78. *Sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta tekhniki. Osnovnyye terminy i opredeleniya* [State standard 18322-78. System maintenance and repair of equipment. Basic terms and definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 1979. 12 p.
4. Dolin A.P., Pershina N.F., Smekalov V.V. Opyt provedeniya kompleksnykh obsledovaniy silovykh transformatorov [Experiences comprehensive surveys of power transformers]. *Elektricheskiye stantsii – Electric power stations*, 2000, no. 6, pp. 46-52.
5. Dunayev D.V., Romantsev I.O., Gavriluk V.I. Analiz otkazov i metody kontrolya relsovykh tsepey [Failure Analysis and Control Methods of rail circuits]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 32, pp. 212-217.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

6. *Instruktsiia z tekhnichnoho obsluhovuvannia i remontu obladnannia tiahovykh pidstantsii, punktiv zhyvlennia i seksionuvannia elektryfikovanykh zaliznyts* [Instructions for maintenance and repair of equipment of traction substations, power points and sectioning electrified railways]. Kyiv, Inpres Publ., 2008. 125 p.
7. Kapytsia M.I., Koreniuk R.O. Stratehii ekspluatatsii, tekhnichnoho obsluhovuvannia ta remontu lokomotyviv [Strategies for operation, maintenance and repair of locomotives]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 40, pp. 63-66.
8. Matusevych O.O., Sychenko V.G. Bahatoaspektna otsinka tekhnichnoho stanu sylovoho ustatkuvannia tiahovykh pidstantsii [Multifaceted technical evaluation of the power equipment of traction substations]. *Tezisy IV mizhnarodnoi naukovo- praktichnoi konferentsii «Energoberezheniye na zheleznodorozhnom transporte i v promyshlennosti (11.06 -14.06.2013)»* [Proc. of IV Int. Sci.-Practical Conf. «Power save on railway transport and in industry (11.06 -14.06.2013)»]. Dnipropetrovsk, 2013, pp. 78-80.
9. Nikolaeva E.K. *Sam instrumentov kachestva v yaponskoy ekonomike* [Seven quality tools in the Japanese economy]. Moscow, Standartinform Publ., 1990. 45 p.
10. Smekalov V.V., Dolin A.P., Pershina N.F. *Otsenka sostoyaniya i prodleniye sroka sluzhby silovykh transformatorov* (Assessment of the status and life extension of power transformers). *SIGRE 2012*, 2011. 10 p. Available at: <http://www.ts-electro.ru/publication.php?k=2> (Accessed 07 October 2014).
11. Kholodenin A.A. Sravneniye strategiy tekhnicheskogo obsluzhivaniya elektrooborudovaniya [Comparing Strategies maintenance of electrical equipment]. *Materialy X regionalnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Vuzovskaya nauka – Severo-Kavkazskomu regionu»* [Materials of X regional Sci.-Technical Conf. «University Science to North Caucasus region»], 2006. Available at: <http://www.ncstu.ru>. (Accessed 07 October 2014).
12. Gokenbach E., Borsi E. Condition monitoring and diagnosis of power transformers. Proc. of the Int. Conf. «Condition Monitoring and Diagnosis, 2008. CMD 2008. International Conference on» (21.04 - 24.04.2008). Beijing, 2008, pp. 894-897. doi: 10.1109/cmd.2008.4580427.
13. Sun H.-Ch., Huang Ya.-Ch., Huang Ch.-M. Fault Diagnosis of Power Transformers Using Computational Intelligence: A Review. *Energy Procedia*, 2012, no. 14, pp. 1226-1231. doi: 10/1016/j.egypro.2011.12.1080

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Ф. П. Шкрабцем (Україна); д.т.н., проф. Г. К. Гетьманом (Україна)

Надійшла до редколегії 05.11.2014

Прийнята до друку 26.12.2014

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

УДК 625.1"401.4"-047.58

І. О. БОНДАРЕНКО^{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 irina_bondarenko@ua.fm, ORCID 0000-0003-4717-3032

СТОСОВНО ПИТАНЬ МОДЕЛЮВАННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ДЕФОРМАТИВНОЇ РОБОТИ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

Мета. В статті розглянуто моделювання життєвого циклу роботи елементів залізничної колії для дослідження розвитку процесів деформативності як основи створення нормативної бази роботи колії за умов забезпечення надійності залізниць. **Методика.** Для досягнення мети використано засади теорії розповсюдження хвильового процесу при описі взаємодії колії та рухомого складу. **Результати.** Запропоновано та сформульовано основні положення стосовно поняття «життєвий цикл деформативної роботи колії». Встановлено метод, на основі якого отримано алгоритм визначення результатів динамічного впливу рухомого складу на колію. Сформульовано основні засади складання розрахункових схем елементів залізничної колії для оцінки процесу деформативної роботи колії. Розроблено алгоритм, що дає можливість отримати значення полів напружень, деформацій та переміщень всіх точок елементів конструкції колії. На основі отриманих полів напружено-деформованого стану колії створено алгоритм зі встановлення залежності процесу деформативності та кількості енергії, що необхідно витратити на деформативну роботу колії. **Наукова новизна.** Дослідження питань із надійності колії мотивує розробку нових моделей, що дають можливість розглядати її протягом деякого напруження. Існує необхідність визначення критеріїв, на основі яких можливі оцінка та прогнозування зміни станів колії в процесі її експлуатації. В роботі запропоновано основні засади, методи, алгоритм та терміни щодо дослідження питань із надійності колії. **Практична значимість.** Аналітичні моделі, що застосовані при визначенні параметрів міцності та стійкості колії, повністю задовольняють поставленим задачам, але не можуть бути застосовані для визначення параметрів надійності колії. Одним із головних факторів неможливості застосування цих моделей є квазидинамічний підхід. Тому, зазвичай, отримують та досліджують не сам динамічний процес роботи залізничної колії, а його наслідки. Окрім того, такі моделі відносяться до плоских, що також додає певні складнощі порівняння результатів з експериментом, так як нелегко в об'ємному процесі виділити вплив в його обмежених частинах. Застосування чисельних методів розширюють можливості, але також унеможливають розгляд самого динамічного процесу, так як неможливо ввести процеси, що обумовлюють реакцію на навантаження. Тому запропоноване моделювання дає можливість розглядати безпосередньо динамічний процес та зробити його оцінку завдяки введеному новому параметру – життєвому циклу деформативної роботи колії.

Ключові слова: моделювання; життєвий цикл; деформативність колії; залишкові деформації; працездатність; хвильове розповсюдження; напружено-деформований стан колії; надійність колії; переміщення колії

Вступ

Відомо, що найважливіші елементи конструкції колії, що визначають безпеку руху поїздів, такі як рейки та стикові накладки (з мен-

шим терміном служби колії), баластна призма та земляне полотно (з більшим терміном служби колії), отримують пошкодження в більшості випадків не через те, що за будь-яких факторів (механічних, атмосферних, біологічних) відбу-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

вся динамічний силовий вплив рухомого складу на них, бо перевищив межі міцності, навіть з врахуванням статистичної дії цих впливів, а внаслідок багаторазового прикладення до них різноманітних за величиною навантажень, що зумовили розвиток пошкоджень або дефектів, тобто внаслідок розвитку процесу втоми як самих матеріалів елементів конструкції колії, так і втоми конструкції загалом.

Оскільки питання інтенсивності накопичення залишкових деформацій в колії безпосередньо пов'язано з економікою її експлуатації, то розрахунки та дослідження залізничної колії разом із параметрами міцності і тими, що вирішують питання безпеки, повинні давати можливість визначати інтенсивність накопичення залишкових деформацій залежно від конструкції колії, системи її утримання та впливу рухомого складу і його режиму обертання по колії.

В цій роботі стоїть задача щодо моделювання життєвого циклу роботи елементів залізничної колії для дослідження розвитку процесів деформативності, тому перш за все необхідно встановити термінологію, яка розкриє зміст досліджень.

Передумови введення нового критерію. Пропонується ввести новий критерій оцінки залізничної колії – деформативність.

Залежно від виду розрахунку деформативність може бути статичною та динамічною, причому статична є складовою динамічної деформативності.

Статична деформативність колії – виникнення пружних деформацій у навантаженій конструкції колії, викликаних як пружними змінами форми або розмірів елементів конструкції колії чи їхніх частин, так і зумовлені цими змінами переміщення окремих точок конструкції колії.

Якщо розглянути зміни, що відбуваються в конструкції залізничної колії, при впливі навантаження від рухомого складу, то такі елементи як піщана подушка, баластний шар, підкладки, прокладки та дерев'яні шпали зазнають як переміщення, так і деформації; рейки та залізобетонні шпали – переважно переміщення, земляне полотно – тільки деформацію. Якщо конструкція колії знаходиться під навантаженням, тоді сукупність деформацій і переміщень елементів, що складають конструкцію залізничної колії або їх частин, і є її деформативністю.

Введення нового критерію повинно бути реально обґрунтовано, тому що його наявність

викликає додаткову відповідальність. Крім того, новий критерій повинен доповнювати існуючі не дублюючи їх. Тому нижче наведені передумови, які обґрунтовують введення нового критерію.

1. Якщо розглядати конструкцію залізничної колії як цілісну систему, що складається з окремих елементів (рейок, скріплення, шпал, баластного шару та земляного полотна), які схильні до зносу, то на цьому етапі відсутня єдина методика оцінки працездатності такої системи.

2. Дотепер не має висновків та рекомендацій щодо оптимальної жорсткості колії з точки зору подовження строку її експлуатації.

3. Конструкція рейко-шпальної решітки безстикової колії передбачає укладання по довжині колії однотипних елементів з однаковими характеристиками. Такі елементи, як рейкові пліти й залізобетонні шпали відповідають цим вимогам, а скріплення – ні. В роботі скріплення основну роль відіграють прокладки, які й характеризують жорсткість скріплення. Згідно з [5] жорсткість прокладок ПРЦП-4, ПНЦП 31–1 може змінюватись на 8 %, ПРП-2 з поліуретану на 533 %, а ПРП-2 з поліетилену на 200 %, а не співпадання їх товщини може змінюватись в інтервалі 3 мм. Що теж вносить розкид в їх жорсткість. Таким чином, жорсткість однотипних скріплень з прокладками, які відповідають технічним вимогам та розташовані на сусідніх шпалах, можуть значно відрізнятись, що зведе до мінімуму всі зусилля щодо забезпечення рівножорсткості безстикової конструкції колії навіть під час укладання її на підготовлену під шпальну основу.

4. Щоб ефективно використовувати скріплення, необхідно встановити для кожного його типу оптимальний режим роботи, тобто інтервал значень модуля пружності підшпальної основи. А розробка вимог до жорсткості скріплення залежно від модуля пружності підшпальної основи дає можливість якісно розробляти їх конструкцію.

5. Не досить розроблено методику посилення та стабілізації земляного полотна за рахунок укладання стабілізуючих шарів в залежності від категорії колії. Введення нового критерію дасть можливість розрахунку конструкції стабілізуючого шару для підсилення та стабілізації земляного полотна.

6. Застосування стабілізуючих шарів та ефективного використання скріплень згідно з пара-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

метрами деформативності колії може зменшити долю прогинів земляного полотна в загальному прогині конструкції до 5 %, як в конструкціях, що використовуються в Західній Європі. Що по-перше, подовжить строк служби всіх елементів конструкції залізничної колії, а по-друге, допоможе забезпечувати оптимальну жорсткість безстикової колії за рахунок використання удосконалених або розроблених пружних елементів конструкції.

7. Зміна геометричних параметрів рейкової колії (ширина колії, положення по рівню та в плані, просадки рейкових ниток) і конструкції колії в цілому (величини плеча баластної призми та обочини земляного полотна, їх відкоси) пов'язані зі зміною стану кожного елемента конструкції залізничної колії (гнилість шпал, забруднення баласту, стан скріплень та земляного полотна). Тому не можна розглядати зміну одних параметрів без врахування інших. Так критерієм призначення комплексно-оздоровчого ремонту є кількість відступів й кількість неприродних шпал і скріплень. Але на одну й ту ж саму кількість відступів припадає різна кількість несправностей: відступів за рівнем та в плані, просядок, перекосів або їх поєднання. Тому без даних стосовно стану елементів колії планування робіт із встановлення рівнопружності залізничної колії не може бути оптимальним. Що також доводить необхідність нормування деформативності колії та встановлення взаємозв'язків з існуючими критеріями.

8. Введення критерію деформативності колії поєднає розрахунки верхньої та нижньої будов колії під час встановлення конструкції за певними умовами експлуатації та навпаки.

9. Введення критерію деформативності колії дозволить розробити методику щодо призначення терміну і обсягу робіт ремонтів як верхньої, так і нижньої будови колії залежно від категорії колії умов експлуатації та природно-кліматичних умов.

Статична деформативність оцінюється за допомогою модуля пружності підрейкової основи колії.

Але деформації в конструкції колії під впливом часу дії рухомого складу та зміни кліматичних умов не завжди належать тільки до пружних, а зазвичай вони є часткою пружних та залишкових деформацій. Окрім того, змінення швидкості руху призводить до того, що конс-

трукція під впливом руху поїзда не реалізує повний прогин, тому статична деформативність є часткою при визначенні надійної роботи конструкції колії. Таким чином, під час моделювання життєвого циклу роботи елементів залізничної колії для дослідження розвитку процесів деформативності необхідно розглядати динамічні процеси, які відбуваються протягом терміну служби конструкції колії.

Динамічна деформативність – виникнення під впливом навантаження конструкції колії деформацій, викликаних змінами форми, розмірів або об'єму елементів за рахунок вібрації елементів конструкції колії чи їхніх частин, змін властивостей матеріалів елементів та зумовлені всіма змінами переміщення окремих точок конструкції колії.

Мета

Метою дослідження є моделювання життєвого циклу деформативної роботи колії для дослідження процесу змін станів колії протягом напруження за певних умов.

Методика

Моделі, за якими встановлені допустимі та рекомендовані значення у нормативних документах, повністю виконують поставлені задачі, але не можуть відповісти на питання щодо інтенсивності накопичення залишкових деформацій в колії. Тому спочатку необхідно розробити інструмент, на основі якого можна розглядати зазначені питання.

В сучасних аналітичних розрахунках основною прийнята модель залізничної колії, де прийнято рейку як балку, що лежить на суцільній пружній основі. Для підвищення точності розрахунку на міцність необхідно вдосконалювати схеми, які застосовуються для досліджень взаємодії колії та рухомого складу. Зокрема необхідно брати до уваги як пружні і дисипативні, так і інерційні властивості підрейкової основи. Але ця модель повністю виключає вирішення задач, пов'язаних зі швидкісним рухом, надійністю роботи конструкції колії та можливістю прогнозування її станів за часом.

Дослідженню динамічної реакції на рухоме навантаження присвячено багато наукових праць. Однією з перших робіт, де було розглянуто реакцію одновимірної системи на рухоме

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

навантаження, є робота Д. Ахенбахом [7], який розглянув динамічну реакцію одновимірної балки Тимошенко, що лежить на пружній основі. У 1970 році А. П. Філіппов [6] опублікував свої монографії, присвячені аналізу таких систем.

Пізніше дослідники почали розглядати більш складні періодично неоднорідні системи, що враховують шпальну структуру колії. У 1981 році Л. Жезекюль [10] опублікував роботу, де вперше було розглянуто реакцію балки, що лежить на періодичних еквідистантних опорах, на рух навантаження. Після цього було виконано велику кількість досліджень, присвячених аналізу як континуальних, так і періодичних одновимірних систем. Особливо слід виділити в цій низці робіт публікації Р. Богача, Т. Кржізінського і К. Поппа [9], а також роботу П. М. Білоцерківського [8].

З середини 90-х років почалися масові дослідження тривимірних моделей залізничного полотна, що було зумовлено бурхливим розвитком високошвидкісного залізничного транспорту. Як виявилось, поверхневі хвилі в ґрунті, що викликані такими поїздами, чинять істотний вплив на динаміку рухомого складу, та одновимірні моделі показали себе неспроможними для опису руху поїздів з великими швидкостями. Особливо слід відзначити огляд по відомих до того часу моделях залізничного полотна К. Кноте [12].

У всьому світі здійснюють численні теоретичні та експериментальні дослідження з вивчення взаємодії основи і ґрунту. Аналітичним шляхом вирішено вкрай обмежену кількість таких завдань. Для реальних же граничних умов, характерних для задач фундаментобудівництва та гірничої справи, а тим більше в неоднорідних середовищах [13], аналітичне рішення практично неможливе. Тому переважна більшість сучасних досліджень у цьому напрямку здійснюється з використанням чисельних методів, що дозволяють отримувати рішення за будь-яких складних граничних умов.

Серед різних чисельних методів механіки суцільних середовищ найбільш досконалим і широко застосовуваним є метод кінцевих елементів (МСЕ) [14]. Причина настільки великої популярності МСЕ полягає в його алгоритмі і доброю сумісністю з системами автоматичного проектування. Поява високопродуктивних комп'ютерів призвела до значного збільшення досліджень, присвячених фізично нелінійним задачам пластичної зміни, граничного стану та ін.

На сьогодні існують багато розрахункових комплексів і програм, заснованих на МСЕ. Найбільш відомими і універсальними з них є розрахункові комплекси ABAQUS, ANSYS, LS-DYNA, Nastran, Plaxis, ПК ЛІРА та ін. Також є безліч програм, призначених для вирішення спеціальних задач або проблем вузької спрямованості. Вони дозволяють вести розрахунки складних споруд на вплив різних навантажень, у тому числі вирішувати задачі з визначення напружено-деформованого стану систем з урахуванням взаємодії ґрунту і конструкції.

Однак вони мають і недоліки. Зокрема, в розрахункових комплексах під час обліку взаємодії ґрунту та конструкції використовуються тільки ті моделі, які закладені спочатку (пластичність, повзучість, ділатансія та інші. особливості ґрунтів), але не враховується зміна міцності і пористості ґрунту в процесі деформування. До того ж в існуючих розрахункових комплексах відсутня можливість врахування всіх визначальних фізичних параметрів системи конструкції ґрунту одночасно.

Загальним недоліком цих моделей є те, що вони належать до крайових задач, тобто вирішують задачу для конкретних умов і не дають змогу на їх основі розробити комплекси із загальним підходом вирішення задач і таким чином також виключають вирішення задач, пов'язаних із надійністю роботи конструкції колії та можливістю прогнозування її станів за часом.

В процесі вивчення існуючих напрямків розвитку моделей, що наведені вище, та зіставляючи їх придатність щодо описання фізики процесу взаємодії колії і рухомого складу, дійшли висновку, що необхідно застосовувати моделі, які засновані на описі хвильового розповсюдження пружних хвиль. Застосування теорії поширення пружних хвиль для вирішення завдань напружено-деформованого стану твердого тіла описані в низці фундаментальних робіт класичної фізики. Як теоретична основа були прийняті роботи [1, 3, 11].

Застосування теорії розповсюдження пружних хвиль для вирішення задач напружено-деформованого стану залізничної колії.

Згідно з існуючою теорією хвильового розповсюдження пружних хвиль, вони поділяються на об'ємні та поверхневі. Відповідно до лінійної теорії пружності в однорідному ізотропному середовищі при динамічному впливі на нього

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

в будь-якій точці виникають два види об'ємних хвиль: поздовжні стиску P і поперечні зсуву S . Останні не можуть поширюватися в рідких і газоподібних середовищах, оскільки ці середовища не володіють пружністю форми. У них можуть поширюватися лише поздовжні хвилі.

Швидкість розповсюдження хвиль в земляних конструкціях за [4] наведена в табл. 1. Значення швидкостей, наведених в табл. 1, можна порівняти зі швидкостями поїздів. Звідки дійдемо висновку, що при відповідному стані земляного полотна швидкість навантаження на колію навіть більша, ніж швидкість її реакції. А при неоднорідному стані земляного полотна в подовжній площині таке співвідношення може призвести до втрати колією стійкості. Але такий вид стійкості поки що не розглядався в дослідженнях стійкості колії. Це пов'язано більше з тим, що при пружній роботі земляного полотна швидкість навантаження на колію значно менша за швидкість її розповсюдження.

Поверхневі акустичні хвилі (ПАХ) – пружні хвилі, що поширюються уздовж поверхні твердого тіла або уздовж кордону з іншими середовищами. ПАХ поділяються на два типи: з вертикальною поляризацією і з горизонтальною поляризацією.

До найбільш поширених приватних випадків поверхневих хвиль можна віднести такі:

– хвилі Релея, в класичному розумінні поширюються уздовж кордону пружного півпростору з вакуумом або достатньо розрідженим газовим середовищем, (SV типу). Швидкість поширення хвилі Релея VR змінюється від 0,874 до 0,956 значення VS. Енергія їх локалізована в поверхневому шарі товщиною від однієї до двох довжин хвилі;

– затухаючі хвилі релєвського типу на кордоні твердого тіла з рідиною;

– незатухаюча хвиля з вертикальною поляризацією, що біжить по межі рідини і твердого тіла;

– хвиля Стонлі, поширюється уздовж плоскої межі двох твердих середовищ, модулі пружності і щільності яких не сильно відрізняються. Ця хвиля складається ніби з двох релєвських хвиль (по одній в кожному середовищі). Вертикальна і горизонтальна компоненти зміщень в кожному середовищі зменшуються при віддаленні від кордону так, що енергія хвилі виявляється зосередженою у двох граничних шарах товщиною, що дорівнює довжині хвилі;

Таблиця 1

Швидкості пружних поздовжніх V_p та поперечних V_s хвиль

Table 1

Velocity of longitudinal V_p and cross V_s elastic waves

| Типи ґрунтів | V_p , м/с | V_s , м/с | V_s/V_p |
|----------------------------|-------------|-------------|-----------|
| Водоненасичені | | | |
| валуно-галечні відкладення | 500–1 000 | 250–500 | 0,60–0,70 |
| піски | 200–500 | 150–300 | 0,50–0,70 |
| супіски | 250–700 | 150–400 | 0,45–0,60 |
| суглинки | 300–1 000 | 150–500 | 0,30–0,55 |
| глини (включаючи корінні) | 400–1 800 | 200–600 | 0,15–0,35 |
| Водонасичені | | | |
| валуно-галечні відкладення | 2 000–2 700 | 250–500 | 0,10–0,20 |
| піски | 1 500–2 000 | 150–300 | 0,10–0,18 |
| супіски | 1 500–1 800 | 150–400 | 0,10–0,20 |
| суглинки | 1 500–1 900 | 150–500 | 0,10–0,25 |
| глини (включаючи корінні) | 1 800–2 500 | 200–600 | 0,10–0,25 |

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

– хвилі Лява – поверхневі хвилі з горизонтальною поляризацією (SH типу), які можуть поширюватися в структурі пружного шару на пружному півпросторі. Хвиля Лява утворюється тільки в шарі (або пачці шарів) із зниженою швидкістю поперечних хвиль VS1, що підставляються товщею більш високошвидкісних порід VS2. Швидкість поширення хвиль Лява VL залежить від частоти коливань і змінюється в межах: $VS1 < VL < VS2$. Глибина проникнення хвилі в півпростір змінюється від часток довжини хвилі до багатьох довжин хвилі залежно від товщини шару h , частоти і параметрів середовищ. Саме існування хвилі Лява як ПАХ пов'язано з наявністю шару на півпросторі: при $h \rightarrow 0$ глибина проникнення хвилі в півпростір прагне до нескінченності і хвиля переходить в об'ємну.

У деяких випадках на межі середовищ утворюються обмінні хвилі (відбиті і заломлені), пов'язані зі зміною типу хвилі.

На вільній поверхні шаруватого середовища можуть реєструватися такі типи хвиль:

- поздовжні – прямі, відображені і заломлені (від різних кордонів), а також різні види багаторазово відбитих і заломлених хвиль;
- поперечні – тих же класів, що поздовжні;
- обмінні – відбиті, заломлені і різні комбінації відбито-заломлених хвиль;
- поверхневі хвилі Релея і Лява.

Для зв'язних ґрунтів типовою є квазіанізотропія, що пов'язана з тонкошаруватістю самих шарів. У такому середовищі не існує чистих поздовжніх і поперечних хвиль, а лише подібні їм квазіпоздовжні і квазіпоперечні. Останні, як правило, можуть бути двох типів: типу SH –

коливання частинок паралельно шаруватості і типу SV коливання частинок перпендикулярно шаруватості. Таким чином, необхідно описати розповсюдження всіх видів хвиль та врахувати їх сумісну дію.

Ще одним з недоліків дослідження цього питання є те, що вимірювальна техніка, що застосовується в експериментах, має невелику, порівняно із справжніми випромінюваннями хвиль, частоту запису. В табл. 2 наведено інформацію щодо оцінки квазівібрації. Так, якщо розглянуто існуючу квазідинамічну модель, що застосовується в розрахунках колії на міцність, під час руху рухомого складу зі швидкістю 30 км/год, при повному ігноруванні реакції елементів конструкції колії на динамічний вплив рухомого складу, то за одну секунду на цифровому записі повинні отримати: 87 відбитих хвиль від всієї конструкції, 335 – без земполотна, 457 – без піщаної подушки і земполотна, 5 400 – без сипучої основи, 14 000 – тільки від рейки. Всього – 20 288 імпульсів.

Зараз максимальна частота дискретизації запису цифрової апаратури дослідної лабораторії 4 кГц, тобто між суміжними вимірами проходить 1/4 000 секунд [2].

Крім зазначених спрощень, не враховано як мінімум п'ять поверхневих процесів.

Таким чином, необхідно розробити динамічну просторову модель розповсюдження хвиль в конструкції колії з урахуванням того, що точність розрахунку повинна коливатись в межах 0,0001...0,000001 с, залежно від характеристик матеріалів елементів колії.

Таблиця 2

Оцінка процесу квазівібрації

Table 2

The evaluation of quasi-vibration process

| Елемент | Vp, м/с | Товщина елемента, м | Час проходження, с | Кількість проходів хвилі за 1 с в обидві сторони | Кількість імпульсів на 1 вимір |
|---------|---------|---------------------|--------------------|--|--------------------------------|
| рейка | 5 100 | 0,18 | 3,52941E-05 | 28 000 | 7 |
| шпала | 3 500 | 0,2 | 5,71429E-05 | 17 500 | 4,375 |
| щебінь | 400 | 0,4 | 0,001 | 1 000 | 0,25 |
| пісок | 500 | 0,2 | 0,0004 | 2 500 | 0,625 |
| супісок | 700 | 3 | 0,004285714 | 200 | 0,05 |

Результати

Під процесом деформативної роботи колії будемо розуміти явища динамічної деформативності, що відбуваються під впливом рухомого складу.

Для оцінки процесу деформативної роботи колії складаються розрахункові схеми конструкції колії за таких передумов:

1) залізнична колія розглядається як просторова система об'єктів, що є збиранням елементів конструкції колії, які характеризуються геометричними розмірами і фізичними властивостями, відповідно до нормативної літератури, що визначають напрямки і швидкості поширення хвиль, тобто якісну оцінку процесу деформативної роботи колії;

2) на залізничну колію діють масові (тяжіння і інерції) та поверхневі результати дії дотичних елементів, сили f_i , що визначають кількісну оцінку процесу деформативної роботи колії;

3) залізнична колія є системою суцільних середовищ, що володіють властивістю стискування ($\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{m}{\Delta V} \neq \text{const}$) з певними законами поведінки;

4) середовища володіють силами внутрішнього тертя, які базуються на передумові, що відновлювальні сили пропорційні амплітуді коливань, а дисипативні – швидкості процесу розповсюдження;

5) розглядається рух сполушного середовища – континуума – в евклідовому просторі з використанням абсолютного часу.

Основна система рівнянь руху сполушного середовища виводиться на основі законів механіки Ньютона. Але вона не замкнута, тому доповнюється її термодинамічними та фізичними співвідношеннями.

Для виведення рівнянь застосовано як метод Лагранжа, так і метод Ейлера, тобто розглядається рух, з одного боку, певної частки середовища, з іншого – прийнято до уваги наявність заданого поля швидкостей.

$$\frac{d^2 \bar{u}}{dt^2} = \frac{d\bar{v}}{dt} = \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + (\bar{v}, \nabla) \bar{v}, \quad (1)$$

де $\frac{d\bar{v}}{dt}$ – локальна зміна швидкості, що відбувається в певній точці простору за рахунок не

стаціонарності поля швидкостей; $v \frac{\partial \bar{v}}{\partial t}$ – конвективна складова, що є наслідком неоднорідності поля швидкостей, зміна швидкості переміщення певної частки за час dt по дузі dl .

Локальна частина прискорення дорівнює нулю, якщо поле швидкостей стаціонарне (залежить тільки від координат та не залежить від часу). Конвективна складова дорівнює нулю, якщо поле швидкостей однорідне.

У випадку стаціонарного поля швидкостей лінія току (крива, що проведена в цей час середовища, та в кожній її точці вектор швидкості направлений по дотичній до неї) і траєкторія співпадають.

Сукупність ліній току утворює поверхню. В кожній точці цієї поверхні вектор швидкості \bar{v} лежить в дотичній площині.

Якщо $f(x_1, x_2, x_3) = \text{const}$ – рівняння поверхні току, то $(\bar{v}, \text{grad } f) = 0$.

На колію діє зовнішня сила від впливу рухомого складу:

$$F = F_A \sin \omega t, \quad (2)$$

де F_A – максимальне значення сили при дії рухомого складу на колію, тобто її амплітуда; ωt – коливається від 0 до π , та за цей час t , що залежить від швидкості руху, колесо проходить весь цикл впливу на колію: тиск з'являється, поступово збільшується до максимального, та згасає.

Сила прикладається в локальній системі координат, і весь процес розповсюдження відбувається в локальних системах координат, які приводяться до загальної системи координат. Сила завжди прикладена в точці початку локальної системи координат і завжди співпадає з вертикальною віссю цієї локальної системи координат.

Рівняння еліпсоїдної хвилі, що розповсюджується від дії зовнішньої сили для певної точки:

$$s(x, y, z, t) = A \sin(\omega t - kr + \varphi), \quad (3)$$

де A – амплітуда коливань; ω – частота впливу зовнішньої сили; k – хвильове число; r – радіус розповсюдження; φ – фаза відповідності зовнішніх та внутрішніх коливань: якщо їх фази співпадають, то $\varphi = 0$, якщо різні, то $\varphi = \pi$.

Таким чином постановка динамічної задачі з визначення процесу деформативної роботи

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

залізничної колії зводиться до того, що в заданій області Ω необхідно знайти поля напружень σ_{ij} , деформацій ε_{ij} , переміщень u_i та щільності ρ_i , що задовольняють рівняння в будь-який момент часу t :

– руху:

$$\nabla^2 u_i + \frac{1}{1-2\nu} \Theta_i = -\frac{\rho}{\mu} \left(f_i - \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} \right); \quad (4)$$

– з граничними умовами:

$$\sigma_{ij} n_j = \tau_i; \quad (5)$$

– залежностей Гука:

$$\sigma_{ij} = \lambda \Theta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij}, \quad \Theta = j_1(\varepsilon_{ij}) = \text{div} u; \quad (6)$$

– залежностей Коші:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i}); \quad (7)$$

– збереження маси:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \text{div} \vec{v} = 0. \quad (8)$$

Одиничність рішення досягається шляхом формування початкових:

$$\begin{cases} u|_{t=0} = \varphi_0(x, y, z), \\ \left. \frac{\partial u}{\partial t} \right|_{t=0} = \varphi_1(x, y, z) \end{cases} \quad (9)$$

та граничних умов:

$$u|_s = f(x, y, z, t). \quad (10)$$

Коректність рішення досягається відповідною стійкістю за Ляпуновим.

Розрахунки за цим алгоритмом надають можливість визначити залежність між змінами процесу деформативної роботи колії та станами колії за показниками надійності.

Моделювання життєвого циклу деформативної роботи залізничної колії за умов забезпечення надійності залізничної колії.

Тепер вважається, що проблема визначення різноманітності сил, які діють на залізничну колію, вирішена з достатньою для практичних потреб строгістю. І вся практика підтверджує правильність положення, що виникаючи в колії зусилля, напруження та деформації підкоря-

ються імовірнісним та стохастичним закономірностям. Оскільки дослідження різноманітних механічних характеристик залізничної колії виявляють, що такі її характеристики як модуль пружності, пружні характеристики матеріалів, з яких виготовлено елементи конструкції колії, розміри колії та окремих її елементів, що виміряні в різних точках ділянки колії, можуть бути описані тільки імовірнісними закономірностями. Точно так враховуючи варіації в конструктивному оформленні і технологічному виготовленні одного і того ж типу екіпажа, питання про з'ясування впливу будь-якого екіпажа на рейки розглядають, як задачу теорії імовірності. Таким чином теорія взаємодії колії і рухомого складу є однією з гілок загальної статистичної механіки. І дає можливість розгляду і опису роботи колії у часі за всіма глобальними параметрами механічної системи.

Всі системи володіють енергією – одним з основних понять фізики, що використовується при розрахунках і пояснює механічні, теплові і електричні явища. Однією з важливих проблем техніки є отримання, передача та використання енергії.

Якщо розглядати колію як модель, створену засобами теорії розповсюдження пружних хвиль, що являє собою систему об'єктів, яка володіє властивістю замкнутої системи, то цілком можливо використовувати всі закони збереження. Це дає можливість говорити про зміну енергії як системи в цілому, так і кожного елемента колії зокрема за будь-який час роботи.

Адаптація зміни енергії конструкції колії і кожного елемента зокрема до норм та допусків улаштування та утримання надає можливість перейти до визначення її (та їх) стану залежно від умов експлуатації та утримання.

Величини зміни енергії дозволяють прогнозувати стан колії, тобто оцінювати та передбачати поведінку колії та її об'єктів з визначеною імовірністю, із врахуванням впливу кожного об'єкта конструкції колії та кожного параметра впливу самого об'єкта при певних впливах рухомого складу.

За законом термодинаміки:

$$\delta K + \delta U = \delta A + \delta Q. \quad (11)$$

Значення зміни кінетичної енергії становить:

$$\delta K = \left(\frac{\delta K}{\delta t} \right) \delta t = \iiint_V \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} \delta u_i \rho dV. \quad (12)$$

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Значення зміни роботи, що здійснюється зовнішніми силами за той же елемент часу δt становить:

$$\delta A = \iiint_V (\sigma_{ij,j} + \rho f_i) \delta u_i dV + \iiint_V \sigma_{ij} \delta u_{i,j} dV. \quad (13)$$

Зміна внутрішньої енергії тіла δU дорівнює сумі зміни роботи деформації та теплової енергії δQ , що передається тілу

$$\delta U = \iiint_V \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV + \delta Q. \quad (14)$$

Рівняння теплопровідності в просторі – однорідне:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + a^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) = 0, \quad (15)$$

де x, y, z – відповідно координати; t – час; u – температура в точці; $u|_{t=0} = \phi(x, y, z)$; a – відомий коефіцієнт.

В кожній точці поверхні S конструкції колії задається температура: $u|_S = \Psi_1(P, t)$.

$\Psi_1(P, t)$ – відома функція точки поверхні S та часу $t \geq 0$.

За цим розповсюдженням визначається кількість теплової енергії.

Далі виконуються розрахунки зі встановленням залежностей процесів деформативності та кількості енергії, що необхідно витратити на деформативну роботу. Та через зв'язок зі станами надійності прогнозується поведінка конструкції колії за певних умов.

Наукова новизна та практична значимість

Дослідження питань з надійності колії мотивує розробку нових моделей, що дають можливість розглядати її протягом деякого напрацювання. Існує необхідність визначення критеріїв, на основі яких можливі оцінка та прогнозування зміни станів колії в процесі її експлуатації. В роботі запропоновано основні засади, методи, алгоритм та терміни щодо дослідження питань з надійності колії. Практична значимість. Аналітичні моделі, що застосовані під час визначення параметрів міцності та стійкості колії, повністю відповідають поставленим задачам, але не можуть бути застосовані для визначення параметрів

надійності колії. Одним з головних факторів неможливості застосування цих моделей є квазі-динамічний підхід. Тому, зазвичай, отримують та досліджують не сам динамічний процес роботи залізничної колії, а його наслідки. Крім того, такі моделі належать до плоских, що також додає певні складнощі порівняння результатів з експериментом, оскільки нелегко в об'ємному процесі виділити вплив в його обмежених частинах. Застосування чисельних методів розширюють можливості, але також унеможливають розгляд самого динамічного процесу, оскільки неможливо ввести процеси, що обумовлюють реакцію на навантаження. Тому запропоноване моделювання дає можливість розглядати безпосередньо динамічний процес та оцінити цей процес завдяки введеному новому критерію – життєвому циклу деформативної роботи колії.

Висновки

Обізнаність в процесах взаємодії колії та рухомого складу призводить до розгляду нових задач. Одним з нових аспектів цього процесу є вирішення задач надійності колії. Складовою надійності колії є функціональна безпека колії. Таким чином, напрямок досліджень є актуальним, але таким, що потребує нового підходу для вирішення поставленої проблеми.

Вивчення розвитку фізико-математичних методів розв'язання задач щодо визначення напружено-деформованого стану в механіці деформованого твердого тіла дозволили обрати метод рішення поставленої задачі. Таким методом є застосування теорії розповсюдження хвиль.

Аналіз роботи конструкції колії допоміг визначитись з:

- передумовами для складання розрахункових схем конструкції колії;
- визначенням сил, що задіяні в процесі розповсюдження навантажень на колію;
- визначенням необхідних величин, які характеризують процес розповсюдження навантажень. До основних величин відносяться: поля переміщень, деформацій, напружень та значення витрат всіх видів енергії;
- критеріями, які необхідно застосовувати для розгляду тривалої роботи колії;
- формулюванням термінів, які необхідно застосовувати під час дослідження тривалої роботи колії.

На основі поєднання знань щодо можливос-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

тей методу розрахунку та протікання фізичного процесу роботи колії визначено:

- основний вид рівняння руху;
- початкові умови розрахунку;
- граничні умови розрахунку.

Розроблено алгоритм виконання досліджень, тобто повний комплекс модулювання життєвого циклу деформативної роботи залізничної колії за умов забезпечення надійності залізниць.

Загальні матеріали, що наведені в статті, дають змогу перейти до встановлення характеристик станів надійності та залежностей, які пов'язують між собою ці стани.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ
ДЖЕРЕЛ

1. Бондаренко, І. О. Вирішення задач надійності системи на основі моделювання напружено-деформативного 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.
2. Використання цифрової виміральної техніки для експериментальних досліджень взаємодії колії і рухомого складу / І. О. Бондаренко, Д. М. Курган, О. М. Патласов, В. Є. Савлук // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 37. – С. 124–128.
3. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика. Теория упругости. Т. VII / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – 4-е изд., испр. и доп. – Москва : Наука, 1987. – 248 с.
4. Методические рекомендации по применению сейсмоакустических методов для изучения физико-механических свойств связанных грунтов. – Москва : ЦНИИС, 1976. – 70 с.
5. Практичні рекомендації щодо проведення вхідного контролю якості матеріалів верхньої будови колії : розпорядження Головного управління колійного господарства України від 30.01.2003 р. № ЦП-7/72. – Дніпропетровськ : Арт-Прес, 2003. – 196 с.
6. Филиппов, А. В. Колебания деформируемых систем / А. В. Филиппов. – Москва : Машиностроение, 1970. – 734 с.
7. Achenbach, J. D. Moving load on a flexible supported Timoshenko beam / J. D. Achenbach, C. T. Sun // Intern. J. of Solid and Structures. – 1965. – № 1. – P. 353–370. doi : 10.1016/0020-7683(65)90001-6.
8. Belotserkovskiy, P. M. On the oscillations of infinite periodic beams subjected to a moving concentrated force / P. M. Belotserkovskiy // J. of Sound and Vibration. – 1996. – № 193 (3). – P. 706–712. doi : C10.1006/jsvi.1996.0309.
9. Bogacz, R. On dynamics of systems modeling continuous and periodic guideways / R. Bogacz, T. Krzyzinski, K. Popp // Archives of Mechanics. – 1993. – № 45 (5). – P. 575–593.
10. Jezequel, L. Response of periodic systems to a moving load / L. Jezequel // ASME J. of Applied Mechanics. – 1981. – № 48 (3). – P. 603–618.
11. Hadamard, J. Lectures on Cauchy's problem in linear partial differential equations / J. Hadamard. – New York : Dover Publications, 1954. – 315 p. doi : 10.1063/1.3061337.
12. Knothe, K. Gleisdynamik und Wechselwirkung zwischen Fahrzeug und Fahrweg / K. Knothe // ZANGEWMATHMECH. – 1999. – № 79 (11). – P. 723–737. doi : 10.1002/(sici)1521-4001(199911)79:11%3C723::aid-zamm723%3E3.0.co;2-m.
13. Kulikovskii, G. On the nonuniqueness of solutions to the nonlinear equations of elasticity theory / A. G. Kulikovskii, A. P. Chugainova, E. I. Sveshnikova // J. of Engineering Mathematics. – 2006. – Vol. 55, № 1–4. – P. 97–110.
14. Wriggers, P. Nonlinear finite element analysis / P. Wriggers. – Berlin : Springer, 2008. – 559 p.

И. А. БОНДАРЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепрпетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепрпетровск, Украина, 49010, тел./факс. +38 (056) 373 15 42, эл. почта irina_bondarenko@ua.fm, ORCID 0000-0003-4717-3032

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ДЕФОРМАТИВНОЙ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Цель. В статье рассмотрено моделирование жизненного цикла работы элементов железнодорожного пути для исследования развития процессов деформативности как основы создания нормативной базы работы пути

doi 10.15802/STP2015/38247

© І. О. Бондаренко, 2015

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

при условии обеспечения надежности железных дорог. **Методика.** Для достижения цели использованы основы теории распространения волнового процесса при описании взаимодействия пути и подвижного состава. **Результаты.** Предложены и сформулированы основные положения относительно понятия «жизненный цикл деформационной работы пути». Установлен метод, на основе которого получен алгоритм определения результатов динамического воздействия подвижного состава на путь. Сформулированы основные принципы составления расчетных схем элементов железнодорожного пути для оценки процесса деформативной работы пути. Разработан алгоритм, который дает возможность получить значения полей напряжений, деформаций и перемещений всех точек элементов конструкции пути. На основе полученных полей напряженно-деформированного состояния пути создан алгоритм по установлению зависимости процесса деформативности и количества энергии, затрачиваемой на деформативную работу пути. **Научная новизна.** Исследования вопросов надежности пути мотивируют разработку новых моделей, дают возможность рассматривать ее в течение некоторой наработки. Существует необходимость определения критериев, на основе которых возможны оценка и прогнозирование изменения состояний пути в процессе его эксплуатации. В работе предложены основные принципы, методы, алгоритм и термины, касающиеся проведения исследования вопросов надежности пути. **Практическая значимость.** Аналитические модели, используемые при определении параметров прочности и устойчивости пути, полностью удовлетворяют поставленные задачи, но не могут быть применены для определения параметров надежности пути. Одним из главных факторов невозможности применения этих моделей является квазидинамический подход. Поэтому, как правило, получают и исследуют не один динамический процесс работы железнодорожного пути, а его последствия. Кроме того, такие модели относятся к плоским, что также добавляет определенные сложности сравнения результатов с экспериментом, так как нелегко в объемном процессе выделить его влияние в ограниченных частях. Применение численных методов расширяет возможности, но также делает невозможным рассмотрение самого динамического процесса, так как невозможно ввести процессы, обуславливающие реакцию на нагрузку. Поэтому предложенное моделирование позволяет рассматривать непосредственно динамический процесс и оценивать его благодаря новому критерию – жизненному циклу деформационной работы пути.

Ключевые слова: моделирование; жизненный цикл; деформативность пути; остаточные деформации; работоспособность; волновое распространение; напряженно-деформированное состояние пути; надежность пути; перемещение пути

I. O. BONDARENKO^{1*}

^{1*}Dep. «Railway 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 irna_bondarenko@ua.fm, ORCID 0000-0003-4717-3032

TO THE MODELING ISSUES OF LIFE CYCLE OF DEFORMATION WORK OF THE RAILWAY TRACK ELEMENTS

Purpose. This article highlights the operational cycle modeling of the railway track elements for the development processes study of deformability as the basis of creating a regulatory framework of the track while ensuring the reliability of the railways. **Methodology.** The basic theory of wave propagation process in describing the interaction of track and rolling stock are used to achieve the goal. **Findings.** The basic provisions concerning the concept «the operational cycle of the deformation track» were proposed and formulated. The method was set. On its base the algorithm for determining the dynamic effects of the rolling stock on the way was obtained. The basic principles for the calculation schemes of railway track components for process evaluation of the deformability of the way were formulated. An algorithm was developed, which allows getting the field values of stresses, strains and displacements of all points of the track design elements. Based on the fields of stress-strain state of the track, an algorithm to establish the dependence of the process of deformability and the amount of energy expended on the deformability of the track operation was created. **Originality.** The research of track reliability motivates the development of new models, provides an opportunity to consider it for some developments. There is a need to define the criteria on which the possibility of assessing and forecasting changes in the track states in the course of its operation. The paper proposed the basic principles, methods, algorithms, and the terms relating to the conduct of the study, questions the reliability of the track. **Practical value.** Analytical models, used to determine the parameters of strength and stability of tracks, fully meet its objectives, but cannot be applied to determine the parameters of track reliability. One of the main factors of impossibility to apply these models is a quasi-dynamic approach. Therefore, as a rule, not only one dynamic process of the railway track is prepared and assayed, but also its consequences. In addition, such models are flat, that

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

also adds some complexity to compare the results with the experiment, since the process is not easy to distinguish the bulk of its limited influence in parts. The application of numerical methods extends the capabilities, and makes it impossible to consider the dynamic process, because it is impossible to introduce the processes that govern the response to the load. Therefore, the proposed modeling makes it possible to examine directly the dynamic process and evaluate the process due to the new criterion, the operational cycle of the strain gauge.

Keywords: modeling; operational cycle; the deformability of the track; the residual strain; efficiency; wave propagation; the stress-strain state of the track; track reliability; track travel

REFERENCE

1. Bondarenko I.O., Kurgan D.M. Vyrishennia zadach nadiinosti systemy na osnovi modeliuvannia napruzhenodeformatsiinoho stanu zaliznychnoi kolii zasobamy teorii rozpovsiudzhennia pruzhnykh khvyli [Solution of the problems of system reliability on the basis of modeling of stress-strain state of the 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.
2. Bondarenko I.O., Kurgan D.M., Patlasov O.M., Savluk V.Ye. Vykorystannia tsyfrovoy vymiriuvanoi tekhniki dlia eksperymentalnykh doslidzen vzaïemodii kolii i rukhomoho skladu [The use of digital measuring instruments for experimental studies of interaction between track and 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]*, 2011, issue 37, pp. 124-128.
3. Landau L.D., Lifshits Ye.M. *Teoreticheskaya fizika. Teoriya uprugosti* [Theoretical physics. Theory of elasticity]. Moscow, Nauka Publ., 1987. Vol. VII. 248 p.
4. *Metodicheskyye rekomendatsii po primeneniyu seismoakusticheskikh metodov dlya izucheniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv svyaznykh gruntov* [Guidelines on the application of seismic acoustic methods for studying the physical and mechanical properties of cohesive soils]. Moscow, TsNIIS Publ., 1976. 70 p.
5. *Praktychni rekomendatsii shchodo provedennia vkhidnoho kontroliu yakosti materialiv verkhnoi budovy kolii* [Practical recommendations for the incoming quality control of materials for the track structure]. Dnipropetrovsk, Art-Press Publ., 2003. 196 p.
6. Filippov A.V. *Kolebaniya deformiruyemykh sistem* [Fluctuations of deformed systems]. Moscow, Mashinostroyeniye, 1970. 734 p.
7. Achenbach J.D., Sun C.T. Moving load on a flexible supported Timoshenko beam. *International Journal of Solid and Structures*, 1965, no. 1, pp. 353-370. doi : 10.1016/0020-7683(65)90001-6.
8. Belotserkovskiy P.M. On the oscillations of infinite periodic beams subjected to a moving concentrated force. *Journal of Sound and Vibration*, 1996, no. 193 (3), pp. 706-712. doi : C10.1006/jsvi.1996.0309.
9. Bogacz R., Krzyzinski T., Popp K. On dynamics of systems modeling continuous and periodic guideways. *Archives of Mechanics*, 1993, no. 45 (5), pp. 575-593.
10. Jezequel L. Response of periodic systems to a moving load. *ASME Journal of Applied Mechanics*, 1981, no. 48 (3), pp. 603-618.
11. Hadamard J. *Lectures on Cauchy's problem in linear partial differential equations*. New-York, Dover Publications, 1954. 315 p. doi : 10.1063/1.3061337.
12. Knothe K. Gleisdynamik und Wechselwirkung zwischen Fahrzeug und Fahrweg. *ZANGEWMATHMECH*, 1999, no. 79 (11), pp.723-737. doi : 10.1002/(sici)1521-4001(199911)79:11%3C723::aid-zamm723%3E3.0.co;2-m.
13. Kulikovskii A.G., Chugainova A.P., Sveshnikova E.I. On the nonuniqueness of solutions to the nonlinear equations of elasticity theory. *Journal of Engineering Mathematics*, 2006, vol. 55, no. 1-4, pp. 97-110.
14. Wriggers P. *Nonlinear finite element analysis*. Berlin, Springer Publ., 2008. 559 p.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренком (Україна), д.т.н., проф. Д. В. Лаухніним (Україна)

Надійшла до редколегії 30.10.2014

Прийнята до друку 15.12.2014

УДК 625.11

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. +38 (056) 37 31 542, ел. пошта kurgan@brailsys.com, ORCID 0000–0002–9448–5269

ДО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ РОЗРАХУНКУ КОЛІЇ НА МІЦНІСТЬ ІЗ УРАХУВАННЯМ НЕРІВНОПРУЖНОСТІ ПІДРЕЙКОВОЇ ОСНОВИ

Мета. Модуль пружності підрейкової основи є однією з основних характеристик для оцінки напружено-деформаційного стану залізничної колії. Питання щодо необхідності в різних випадках враховувати нерівнопружність підрейкової основи вже розглядалася, однак результати містять доволі складні математичні підходи та не вкладаються в межі стандартного інженерного розрахунку колії на міцність. Тому метою даною роботи є отримання рішення в рамках припущень та наробок зазначеного документу. **Методика.** Пропонується в якості моделі розглядати рейку як балку, котра має суцільне навантаження з таким обрисом, відповідним до значення модуля пружності, що дає еквівалентний прогин при вільному обпиранні на опори. У цьому випадку нерівномірність модуля пружності враховується відповідною зміною обрису навантаження і, з деякими припущеннями, дає змогу отримати корективи для загальновідомих залежностей. **Результати.** Отримано метод врахування поступової зміни модуля пружності підрейкової основи введенням корегувального коефіцієнту в інженерний розрахунок колії на міцність. Розроблено розширення існуючого розрахунку колії на міцність для врахування різкої зміни модуля пружності підрейкової основи (наприклад, при переході з баластної конструкції колії на міст). Отримано характеристику зміни сил, діючих від рейки на основу, в залежності від відстані до моста на ділянці підходу з баластної конструкції колії. Отримані результати перерозподілу дії сил при різкій зміні модуля пружності підрейкової основи пояснюють утворення вертикальних нерівностей перед мостом. **Наукова новизна.** Удосконалено методику інженерного розрахунку колії на міцність для виконання розрахунків із урахуванням нерівнопружності підрейкової основи. **Практична значимість.** Отримані результати дозволять виконувати інженерні розрахунки для оцінки міцності колії в місцях нерівнопружності, обумовленої станом колії або особливостями конструкції. Також стає можливою вирішення зворотної задачі – визначення модуля пружності підрейкової основи за результатами натурних вимірювань напружень в рейках (з урахуванням зазначених умов).

Ключові слова: розрахунок колії на міцність; модуль пружності підрейкової основи; нерівнопружність підрейкової основи; напруження в колії

Вступ

Модуль пружності підрейкової основи є однією з основних характеристик для оцінки напружено-деформаційного стану залізничної колії. Він визначає зв'язок між діючою силою і деформацією – одне з положень, на якому базується сучасний метод інженерного розрахунку колії на міцність.

Під модулем пружності в рівняннях інженерного розрахунку колії на міцність мається на увазі рівномірно розподілена жорсткість підрейкової основи. Від значення цього показника значно залежать результати розрахунків – й прогини, й напруження. Питання з адекватного врахування і вимірювання модуля пружності перш за все пов'язані зі складністю фізичного процесу, що відбувається. На модуль пружності підрейкової основи впливають властивості всіх елементів колії: шпали, підкладки, баласту, зе-

мляного полотна тощо. Його значення складається з жорсткості кожного з елементів, але не в рівній мірі, а з урахуванням їх вкладу у загальну деформацію на мить дії. Ступінь їх вкладу буде суттєво залежати від динаміки процесу. Чим меншу жорсткість має шар, тим більша частина прогину буде реалізовуватися саме за рахунок його деформації.

Нерівнопружність підрейкової основи може виникати у різних випадках. Це може бути наслідок порушень стану залізничної колії – наявність просядок, непридатних скріплень, забруднення баласту тощо [7]. Найбільш чутливими до розвинення місць нерівнопружності є ділянки з інтенсивним рухом [3] або з обпиранням на слабкі ґрунти [13].

Існує методика розрахунку дійсного модуля пружності ділянки колії на основі натурального вимірювання напружень в рейках від поїзного на-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

вантаження, яка являє собою вирішення оберненої задачі інженерного розрахунку колії на міцність. Досвід застосування такої методики у роботах Колієвипробувальної галузевої науково-дослідної лабораторії ДНУЗТу виявив випадки, коли неможливо отримати адекватні результати. Це мало місце на ділянках з суттєвим порушенням стану колії, наприклад з наявністю просадки третього ступеня [1].

З іншого боку, нерівнопружність може бути зумовлена самою конструкцією залізничної колії – це місця перед мостами та шляхопроводами. У цьому випадку може спостерігатися як різка зміна модуля пружності при безпосередньому примиканні звичайної конструкції колії до безбаластної, так і більш-менш поступова за рахунок застосування перехідних ділянок, розробка ефективних конструкцій яких триває до сьогодні [8, 10].

Мета

Питання необхідності в різних випадках враховувати нерівнопружність підрейкової основи вже розглядалися в роботах декількох авторів, наприклад [6, 9, 10, 12, 14]. При цьому було застосовано різні математичні методи: розвиток моделі колії, як балки на дискретних опорах [6, 9]; модель в'язко-пружних стержнів [12, 13] тощо. Було отримано адекватні рішення в рамках поставлених задач. Однак, результати містять доволі складні математичні підходи і не вкладаються в межі стандартного інженерного розрахунку колії на міцність [5]. Тому метою цієї роботи є отримання рішення в рамках припущень та наробіток зазначеного документа.

Квінтесенція методики інженерного розрахунку на міцність – диференціальне рівняння прогину рейки – визначено саме для рівнопружної основи. Тому використання математичних співвідношень, отриманих на його ґрунті, неможливе для випадків, коли модуль пружності різний в межах довжини прогину рейки. Безпосереднє введення модуля пружності як функції від шляху у рівняння прогину рейки унеможливає отримання аналітичних рішень.

Пропонується як модель розглядати рейку як балку, яка має суцільне навантаження з обрисом, відповідним до значення модуля пружності, що дає еквівалентний прогин при вільному обпиранні на дві опори. У цьому випадку нерівномірність модуля пружності враховується

відповідною зміною обриса навантаження і, з деякими припущеннями, дає змогу отримати корективи для загальновідомих залежностей.

Методика

Діюча на сьогодні методика практичного розрахунку колії на міцність, яка використовується для вирішення низки задач взаємодії колії і рухомого складу, викладено в інструкції ЦП–0117 [5]. Теоретичні передумови методики розрахунку наведено в декількох джерелах, наприклад [4, 11]. Аналіз методики з точки зору врахування різних факторів, у тому числі й модуля пружності підрейкової основи, було здійснено автором в рамках роботи [2], присвяченої аналізу альтернативних методик розрахунку напружено-деформованого стану залізничної колії, зокрема й обґрунтуванню загальних принципів формування моделі колії на основі теорії розповсюдження пружних хвиль.

Нагадаємо, що як основну модель для розрахунку колії на міцність прийнято балку нескінченної довжини, яка опирається на рівнопружну основу і сприймає навантаження від поодинокі вертикальної сили, рис. 1.

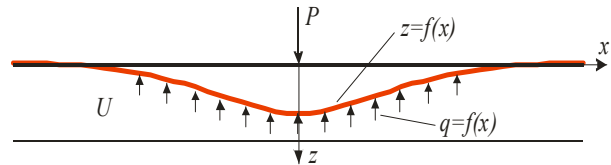


Рис. 1. Розрахункова схема прогину балки на рівнопружній основі

Fig. 1. Design scheme of beam deflection on an elastic foundation

Тоді деформований стан балки буде описуватися загальновідомим диференціальним рівнянням

$$EI \frac{d^4 z}{dx^4} + Uz = 0, \quad (1)$$

де EI – жорсткість балки (рейки) на прогин; z – вертикальний прогин рейки; x – відстань по рейці від точки прикладання сили; U – модуль пружності підрейкової основи.

Одним з базових припущень такого підходу є пряма залежність між реактивним опором основи (q) і прогином рейки

$$q(x) = Uz(x). \quad (2)$$

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Якщо

$$U = \text{const}, \quad (3)$$

то розв'язання рівняння (1) з урахуванням певних граничних умов відомо

$$z(x) = \frac{Pk}{2U} e^{-kx} (\cos kx + \sin kx), \quad (4)$$

де P – вертикальна сила, діюча на рейку; k – коефіцієнт відносної жорсткості

$$k = \sqrt[4]{\frac{U}{4EI}}. \quad (5)$$

Безпосереднє введення модуля пружності як функції від шляху $U = f(x)$ у рівняння прогину рейки (1) унеможливило отримання аналітичних рішень для застосування в інженерних розрахунках. Формули, які отримані на основі рівняння (1) і його рішення (4) для розрахунку згинаючого моменту в перерізі рейки, поперечної сили тощо і, як наслідок, напружень в елементах залізничної колії [5], не можуть бути використані для окремого перерізу з відомим модулем пружності підрейкової основи. Для їх адекватності умова (3) повинна виконуватися хоча б на довжині відчутного прогину рейки

$$\forall x \in \{z(x) \neq 0\} | U(x) = \text{const}. \quad (6)$$

Залежно від величини модуля пружності підрейкової основи довжина прогину рейки може складати приблизно від 3 до 6 метрів.

Для вирішення задачі в умовах невиконання умови (6), пропонується розглянути альтернативну розрахункову схему: рейка приймається як балка, що вільно опирається на дві опори і прогинається від розподіленого навантаження $q = f(x)$, рис. 2. При відповідному обрисі навантаження і відстані між опорами, такий підхід дає результат тотожний попередньо розглянутому.

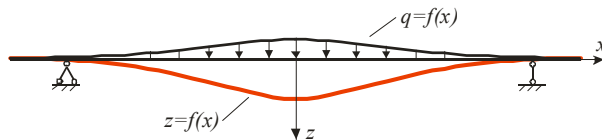


Рис. 2. Розрахункова схема прогину балки при опиранні на опори

Fig. 2. The design model of beam deflection during the rest on supports

При виконанні умови (6) для тотожності розрахункових схем обрис навантаження визначається з рівняння (1) за загальновідомими диференціальними співвідношеннями характеристик прогину балки

$$q(x) = \frac{Pk}{2} e^{-kx} (\cos kx + \sin kx). \quad (7)$$

Таким чином, для отримання розрахункової схеми, яка буде відповідати змінному модулю пружності підрейкової основи $U = f(x)$, достатньо задати відповідний обрис навантаження $q = f(x)$.

Розглянемо випадок, коли модуль пружності змінюється лінійно. На рис. 3 зображено обрис зміни навантаження по довжині рейки для двох випадків: 1 – для постійного значення модуля пружності підрейкової основи U_1 , що відповідає рівнянню (7); 2 – для лінійного збільшення модуля пружності від U_1 у точці прикладення сили до U_2 у точці під умовною опорою.

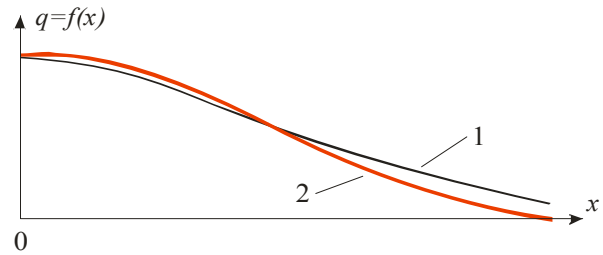


Рис. 3. Обрис розподілення навантаження по довжині рейки:

1 – для постійного значення модуля пружності (U_1); 2 – для лінійного збільшення модуля пружності (від U_1 до U_2)

Fig. 3. The shape of the load compartment along the length of rails:

1 – for constant values of modulus of elasticity (U_1); 2 – for a linear increase of module elasticity (from U_1 to U_2)

Для виконання подальших розрахунків доцільно подати навантаження, як дві складові: q_1 і q_2

$$\left. \begin{aligned} q &= q_1 + q_2; \\ q_1 &= f(x) : U = U_1; \\ q_2 &= f(x) : U = U_1 \dots U_2 / q_1 \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

Тоді обрис навантаження q_1 відповідає лінії «1» на рис. 3, а обрис навантаження q_2 наведено на рис. 4.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

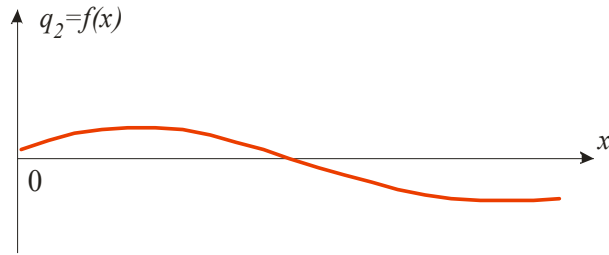


Рис. 4. Обрис додаткового навантаження (q_2) по довжині рейки

Fig. 4. Shape of additional load (q_2) along the length of the rail

Як виявили дослідження, у межах ділянки прогину функцію $q_2 = f(x)$ зручно апроксимувати поліномом виду

$$q_2 \left(x \in \left[0 \dots \frac{3\pi}{4k} \right] \right) = ax'^3 + bx'^2 + cx', \quad (9)$$

де $x' \approx \frac{3\pi}{4k} - x$; $k = f(U_1)$.

Виходячи з загальновідомих співвідношень характеристик прогину балки, можна визначити згинальний момент

$$M(x) = \iint q_1 dx dx + \iint q_2 dx dx. \quad (10)$$

Перша складова формули (10) визначається з рівняння (7), а друга – з рівняння (9)

$$M \left(x \in \left[0 \dots \frac{3\pi}{4k} \right] \right) = \frac{P}{4k} e^{-kx} (\cos kx - \sin kx) + \frac{Pk}{4} \left(\frac{ax'^5}{10} + \frac{bx'^4}{6} + \frac{cx'^3}{3} \right). \quad (11)$$

Графік зміни згинального моменту по довжині рейки зображено на рис. 5 для постійного модуля пружності підрейкової основи (U_1) і за формулою (11) для умов збільшення модуля пружності від U_1 до U_2 .

Як видно з рис. 5, в місці меншого модуля пружності підрейкової основи відбувається збільшення згинального моменту за рахунок перерозподілу прогину рейки з зони більш жорсткого обпирання до зони більш податливого.

Напевно, для корекції саме інженерного розрахунку достатньо обійтися коефіцієнтом k_M , який буде враховувати збільшення згина-

льного моменту (а відповідно і максимально вірогідних згинальних напружень в рейці) для перерізу збігу сили з найменшим модулем підрейкової основи

$$M_{U_1 \dots U_2}^{\max} = (1 + k_M) M_{U_1}^{\max}. \quad (12)$$

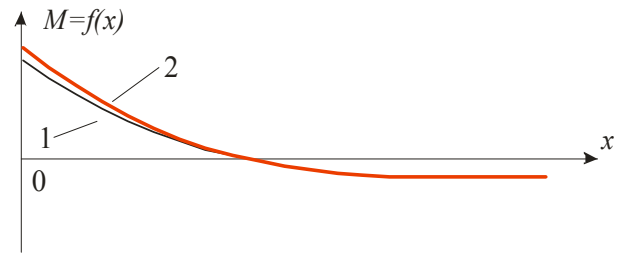


Рис. 5. Зміна згинального моменту по довжині рейки:

1 – для постійного значення модуля пружності (U_1); 2 – для лінійного збільшення модуля пружності (від U_1 до U_2)

Fig. 5. The change of bending moment along the length of rails:

1 – for the constant values of modulus of elasticity (U_1); 2 – for a linear increase of the modulus of elasticity (from U_1 to U_2)

Розглянемо інший випадок нерівнопружності підрейкової основи. При примиканні звичайної конструкції колії до безбаластної (підхід до моста) спостерігається дуже різка зміна модуля пружності підрейкової основи. Такий перехід не може бути описано за наведеною вище методикою. Враховуючи дуже велику жорсткість колії на мосту, можна прийняти відсутність прогину підрейкової основи. В такому разі як розрахункову схему пропонується використовувати наведену на рис. 1, але прийняти, що з одного боку (примикання до моста) рейка обпирається на опору, рис. 6.

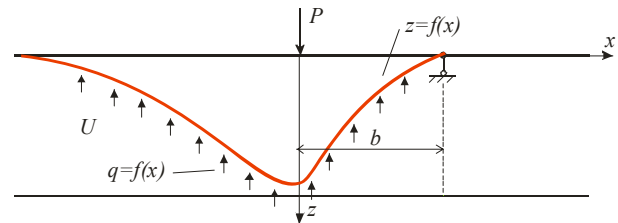


Рис. 6. Розрахункова схема прогину балки на ділянці підходу до моста

Fig. 6. Design scheme of the beam deflection at the site of the approach to the bridge

Прогин балки буде описуватися класичним рівнянням – формула (1). При його розв'язанні

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

наявність обпирання балки на опору буде враховане відповідною граничною умовою

$$z(b) = 0, \quad (14)$$

де b – відстань від точки прикладання сили (положення колеса) до моста.

Тоді прогин рейки (формула (4)) в частині від точки прикладання сили до моста буде визначатися за формулою

$$z(x) = \frac{Pke^{-kx}}{U(1-tg\beta)}(-tg\beta \cos kx + \sin kx), \quad (13)$$

де $\beta = kb$ – показник відстані до моста.

Інші важливі характеристики – згинальний момент та сила, діюча на опору (використовується в інженерному розрахунку на міцність [5] для розрахунку напружень на поверхні шпали, в баласті та на основній площадці земляного полотна) – будуть визначатися за такими формулами, отриманим за загальновідомими диференціальними співвідношеннями характеристик прогину балки:

$$M(x) = \frac{Pe^{-kx}}{2k(1-tg\beta)}(\cos kx + tg\beta \sin kx); \quad (15)$$

$$Q(x) = \frac{Pkle^{-kx}}{1-tg\beta}(-tg\beta \cos kx + \sin kx), \quad (16)$$

де l – відстань між осями шпал.

Формули (14...16) не протирічають відповідним виразам у інженерних розрахунках на міцність [5], і можуть бути долучені до них безпосередньо.

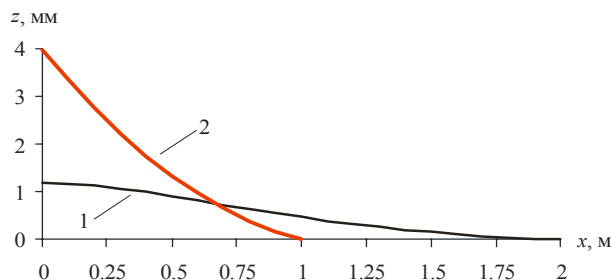


Рис. 7. Прогин рейки по довжині від точки прикладання сили:
1 – без примикання до моста; 2 – з примиканням до моста на відстані 1 м

Fig. 7. The beam deflection along the length from the point of force application:
1 – without adjunction to the bridge; 2 – with adjunction to the bridge at a distance of 1 m

Розглянемо приклад розрахунку ділянки колії з модулем пружності підрейкової основи 50 МПа з примиканням до моста на відстані 1 м від точки прикладання сили у 100 кН. Початок відліку по осі абсцис відповідає точці прикладання сили. Графік прогину рейки зображено на рис. 7 (лінія «2»). Для порівняння зображено прогин для випадку відсутності примикання до моста (лінія «1»).

Графіки зміни згинального моменту в рейці і сили, що діє від рейки на опору, для відповідних випадків зображено на рис. 8 і 9 відповідно.

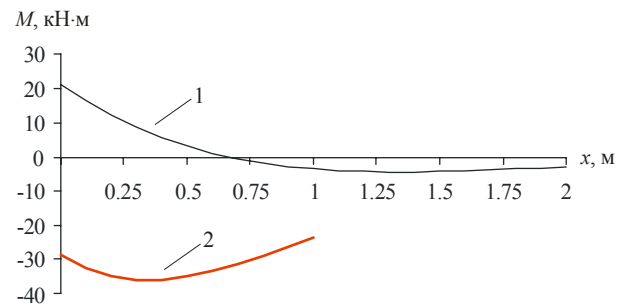


Рис. 8. Згинальний момент в рейці по її довжині:
1 – без примикання до моста; 2 – з примиканням до моста на відстані 1 м

Fig. 8. The bending moment at the rail along its length:
1 – without adjunction to the bridge; 2 – with adjunction to the bridge at a distance of 1 m

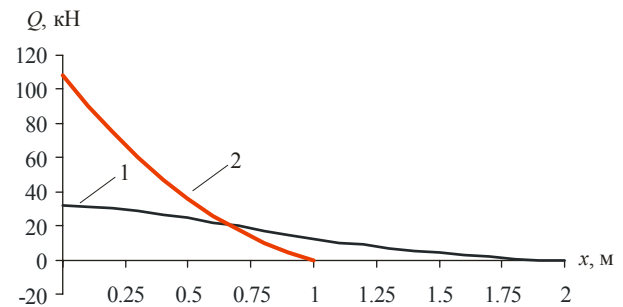


Рис. 9. Сила, діюча від рейки на опору:
1 – без примикання до моста; 2 – з примиканням до моста на відстані 1 м

Fig. 9. The force acting from the rail support:
1 – without adjunction to the bridge; 2 – with adjunction to the bridge at a distance of 1 m

За наведеними графіками видно значний якісний і чисельний перерозподіл зазначених характеристик прогину рейки. Якщо згинальний момент (і відповідно згинальні напруження в рейці) змінює знак, але залишається приблизно того ж самого рівня, то сила, діюча на опору (і відповідно напруження в баласті і на основній площадці земляного полотна), зростає у 3,4

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

разу. Якщо проаналізувати залежність цього показника від відстані точки прикладання сили до моста, то можна зазначити, що має місце набагато більше зростання сили, діючої на підрейкові елементи колії. Якісно такий графік зображено на рис. 10.

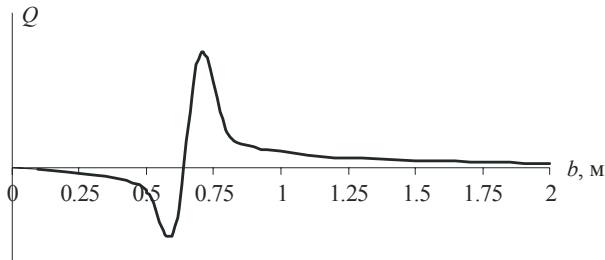


Рис. 10. Сила, діюча від рейки на опору залежно від відстані між точкою прикладання сили і початком моста

Fig. 10. The force acting on the rail for support, depending on the distance between the point of force application and the beginning of the bridge

Виходячи з рівняння (16), максимальна дія на підрейкову основу буде мати місце на відстані $\frac{\pi}{2k}$ між колесом і початком моста. Для розглянутого прикладу ця відстань складає приблизно 0,7 м.

Результати

Значення коефіцієнта k_M (формула (12)), визначеного за вищенаведеною методикою, для різних варіантів зміни модуля пружності наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Значення коефіцієнта k_M залежно від зміни модуля пружності підрейкової основи

Table 1

The k_M coefficient value depending on changes in the elastic modulus in the rail base

| U_1 , МПа | U_2 , МПа | | | |
|-------------|-------------|-------|-------|-------|
| | 30 | 40 | 50 | 60 |
| 20 | 0,077 | 0,115 | 0,130 | 0,131 |
| 30 | | 0,044 | 0,063 | 0,067 |
| 40 | | | 0,022 | 0,029 |
| 50 | | | | 0,008 |

Так, наприклад, при зміні модуля пружності від 20 МПа в точці прикладання сили (розташування колеса) до 50 МПа на кінці зони прогину, значення згинального моменту зростає на 13 % (це навіть порівняно з розрахунком для рівнопружної основи з меншим значенням модуля пружності. Така зміна модуля пружності може відповідати місцю на колії з суттєвою просадкою. В такому разі зростання модуля пружності напевно буде відбуватися в обидві сторони. Тоді значення коефіцієнта k_M повинно бути подвоєно і збільшення згинального моменту буде складати вже 26 %. Тоді формула (12) набуде такого вигляду

$$M_{U_1 \dots U_2}^{\max} = (1 + 2k_M) M_{U_1}^{\max}. \quad (17)$$

Якщо модуль пружності підрейкової основи в перерізі під силою достатньо великий (50 МПа та більше), то подальше його збільшення по довжині рейки (в реальних межах) не приводить до відчутного перерозподілу прогину рейки.

Якщо значення модуля пружності по краях зони прогину рейки достатньо велике (60 МПа та більше), то наявність під силою «м'якого» місця вже не приводить до подальшого збільшення згинального моменту, що пояснюється неможливістю рейки за таких умов прогнутися відповідно до рівняння (1) і при цьому забезпечити виконання умови (2).

Перехід в межах прогину рейки з більшого модуля пружності на менший не розглядається – в такому випадку в перерізі під силою не буде спостерігатися зростання згинального моменту і відповідно згинальних напружень в рейці.

Отриманні результати перерозподілу дії сил при різкій зміні модуля пружності (рис. 10) пояснюють першопричину утворення вертикальних нерівностей перед мостом. На подальший розвиток нерівності (більш пологому поширені далі від моста), окрім зазначених причин, будуть впливати динамічні ефекти дії від проходження рухомого складу по вже наявній нерівності колії, досліджені, наприклад, в роботі [10].

Наукова новизна і практична значимість

Удосконалено методику інженерного розрахунку колії на міцність для виконання розрахунків з урахуванням нерівнопружності підрейкової основи.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Отримані результати дозволять виконувати інженерні розрахунки для оцінки міцності колії в місцях нерівнопружності зумовленої станом колії або особливостями конструкції. Також стає можливою вирішення оберненої задачі – визначення модуля пружності підрейкової основи за результатами натурних вимірювань напружень в рейках – з урахуванням зазначених умов.

Висновки

1. Отримано метод врахування поступової зміни модуля пружності підрейкової основи – формули (12) і (17) – засобом корегувального коефіцієнта (табл. 1) в межах інженерного розрахунку колії на міцність.

2. Встановлено, що наявність локального зменшення пружності підрейкової основи (наприклад, у місці просадки) може збільшувати згинаючи напруження в рейках до 1,25 разу.

3. Розроблено розширення інженерного розрахунку колії на міцність – формули (15) і (16) – для врахування різкої зміни модуля пружності підрейкової основи (наприклад, при переході з баластної конструкції колії на міст).

4. Отримано характеристику зміни сил (рис. 10), діючих від рейки на основу, залежно від відстані до моста на ділянці підходу з баластної конструкції колії, що дає інструмент для оцінювання та прогнозування розвитку нерівностей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Бондаренко, І. О. Визначення методики розрахунку модуля пружності підрейкової основи за результатами експериментальних вимірювань показників взаємодії колії і рухомого складу / І. О. Бондаренко, Д. М. Курган, В. Є. Савлук // 36. наук. пр. ДонІЗТ. – 2012. – Вип. 31. – С. 225–230.
- 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 заліз. трансп. – 2013. – № 1 (43). – С. 139–148.
- Гавриленко, А. К. Учет жесткости железнодорожного пути / А. К. Гавриленко // Путь и путевое хоз-во. – 2007. – № 4. – С. 37–39.
- Даніленко, Е. І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом : підруч. для вищ. навч. закл. : у 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 : Транспорт України, 2004. – 64 с.
- Климов, В. И. Статический расчет пути как балки на опорах с нелинейной жесткостью / В. И. Климов, В. В. Рыбкин // Исслед. взаимодействия пути и подвижного состава : межвуз. сб. науч. тр. – Днепропетровск. – 1984. – Вып. 235/26. – С. 3–8.
- Лихтбергер, Б. Железнодорожный путь : справ. / Б. Лихтбергер. – Гамбург : DVV Media Group GmbH, 2010. – 434 с.
- Савин, А. Переход от балластного пути к безбалластному / А. Савин // Укр. залізниц. – 2014. – № 3 (9). – С. 56–59.
- Сисин, М. Дослідження динамічних коливань балки на пружній дисипативній основі під дією рухомого навантаження при проходженні силової нерівності колії / М. Сисин, В. Рибкін, О. Патласов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2004. – Вип. 5. – С. 188–193.
- Талавіра, Г. М. Осідання основної площадки земляного полотна від рухомого складу на перехідних ділянках перед штучними спорудами / Г. М. Талавіра // 36. наук. пр. Київ. ун-ту екон. і технол. трансп. Сер. : «Трансп. системи і технології». – Київ, 2003. – Вип. 4. – С. 80–84.
- Чернышов, М. А. Практические методы расчета пути / М. А. Чернышов. – Москва : Транспорт, 1967. – 236 с.
- Behandlung des Schotters als Vielkörper System mit wechselnden Bindungen / H. Kruse, K. Popp, H.-G. Matuttis, A. Schinner // Eisenbahningenieur. – 2001. – № 2. – P. 30–34.
- Gerstberger, U. Modellierung des Schotters in der Gleisdynamik / U. Gerstberger, K. Knothe, R. Sie-laff-Opoku // Eisenbahningenieur. – 2003. – № 9 (54). – P. 24–30.
- Koch, E. A mélykeveréses technológia vasútépítési alkalmazásának lehetőségei / E. Koch, S. Róbert // SÍNEK VILÁGA. – 2013. – № 2. – P. 9–14.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

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) 37 31 542, эл. почта kurgan@brailsys.com, ORCID 0000–0002–9448–5269

К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ РАСЧЕТА ПУТИ НА ПРОЧНОСТЬ С УЧЕТОМ НЕРАВНОУПРУГОСТИ ПОДРЕЛЬСОВОГО ОСНОВАНИЯ

Цель. Модуль упругости подрельсового основания является одной из основных характеристик для оценки напряженно-деформированного состояния железнодорожного пути. Необходимость в разных случаях учитывать неравноупругость подрельсового основания неоднократно рассматривалась, однако результаты содержали достаточно сложные математические подходы, а полученные решения не укладывались в границы стандартного инженерного расчета пути на прочность. Поэтому целью данной работы является получение решения в рамках допущений и наработок обозначенного документа. **Методика.** Предлагается в качестве модели рассматривать рельс как балку, которая имеет распределенную нагрузку такого очертания, соответствующего значению модуля упругости, что дает эквивалентный прогиб при свободном размещении на опорах. **Результаты.** Получен метод учета постепенного изменения модуля упругости подрельсового основания введением корректирующего коэффициента в инженерный расчет пути на прочность. Разработано расширение существующего расчета пути на прочность для учета резкого изменения модуля упругости подрельсового основания (например, при переходе с балластной конструкции пути на мост). Получена характеристика изменения сил, действующих от рельса на основу, в зависимости от расстояния до моста на участке подхода с балластной конструкции пути. Полученные результаты перераспределения действия сил при резком изменении модуля упругости подрельсового основания объясняют образование вертикальных неровностей перед мостом. **Научная новизна.** Усовершенствована методика инженерного расчета пути на прочность для выполнения расчетов с учетом неравноупругости подрельсового основания. **Практическая значимость.** Полученные результаты позволяют выполнять инженерные расчеты для оценки прочности пути в местах неравноупругости, обусловленной состоянием пути или особенностями конструкции. Также возможно решение обратной задачи – определение модуля упругости подрельсового основания по результатам натурных измерений напряжений в рельсах (с учетом приведенных условий).

Ключевые слова: расчет пути на прочность; модуль упругости подрельсового основания; неравноупругость подрельсового основания; напряжения в пути

D. M. KURHAN^{1*}

^{1*}Dep. «Railway and Railway's Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 37 31 542, e-mail kurgan@brailsys.com, ORCID 0000–0002–9448–5269

TO THE SOLUTION OF PROBLEMS ABOUT THE RAILWAYS CALCULATION FOR STRENGTH TAKING INTO ACCOUNT UNEQUAL ELASTICITY OF THE SUBRAIL BASE

Purpose. The module of elasticity of the subrail base is one of the main characteristics for an assessment intense the deformed condition of a track. Need for different cases to consider unequal elasticity of the subrail base repeatedly was considered, however, results contained rather difficult mathematical approaches and the obtained decisions didn't keep within borders of standard engineering calculation of a railway on strength. Therefore the purpose of this work is obtaining the decision within this document. **Methodology.** It is offered to consider a rail model as a beam which has the distributed loading of such outline corresponding to value of the module of elasticity that gives an equivalent deflection at free seating on bearing parts. **Findings.** The method of the accounting of gradual change of the module of elasticity of the subrail base by means of the correcting coefficient in engineering calculation of a way on strength was received. Expansion of existing calculation of railways strength was developed for the accounting of sharp change of the module of elasticity of the subrail base (for example, upon transition from a ballast design of a way on the bridge). The characteristic of change of forces operating from a rail on a basis, depending on distance to

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

the bridge on an approach site from a ballast design of a way was received. The results of the redistribution of forces after a sudden change in the elastic modulus of the base under the rail explain the formation of vertical irregularities before the bridge. **Originality.** The technique of engineering calculation of railways strength for performance of calculations taking into account unequal elasticity of the subrail base was improved. **Practical value.** The obtained results allow carrying out engineering calculations for an assessment of strength of a railway in places of unequal elasticity caused by a condition of a way or features of a design. The solution of the return task on definition of the module of elasticity of the subrail base by results of natural measurements of tension in rails taking into account the given conditions is also possible.

Keywords: railways calculation for strength; module of elasticity of the subrail base; unequal elasticity of the subrail base; tension in a railway

REFERENCES

1. Bondarenko I.O., Kurgan D.M., Savluk V.E. Vyznachennia metodyky rozrakhunku modulua pruzhnosti pidreikovoї osnovy za rezultatamy eksperymentalnykh vymiriuvan pokaznykiv vzaiemodii kolii i rukhomoho skladu [Definition of a design procedure for the module of elasticity of the rails basis for experimental measurements of indicators of a way and a rolling stock interaction]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu* [Proc. of Donetsk Institute of Railway Transport], 2012, issue 31, pp. 225-230.
2. Bondarenko I.O., Kurgan D.M. Vyrishennia zadach nadiinosti systemy na osnovi modeliuvannia napruzhenodeformatsiynoho stanu zaliznychnoi kolii zasobamy teorii rozpozsiudzhennia pruzhnykh khvyly [The solution of problems of reliability of system on the basis of modeirovany intense the deformed condition of the railway way means of the theory of distribution of elastic waves]. *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.
3. Gavrilenko A.K. Uchet zhestkosti zheleznodorozhnogo puti [Accounting of rigidity of a railway]. *Put i putevoye khozyaystvo – Track and Track Facilities*, 2007, no. 4, pp. 37-39.
4. Danilenko E.I. *Zaliznychna koliia. Ulashtuvannia, proektuvannia i rozrakhunky, vzaiemodiia z rukhomym skladom* [Railway track. Structure, planning and calculations, interaction with rolling stock]. Kyiv, Inpres Publ., 2010, vol. 2. 456 p.
5. Danilenko E.I., Rybkin V.V. *Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist i stiikist. TsP-0117* [TsP-0117. The computations rules of the railway track for strength and stability]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2004. 64 p.
6. Klimov V.I., Rybkin V.V. Sticheskiy raschet puti kak balki na oporakh s nelineynoy zhestkostyu [Static calculation of a way as a beam on support with nonlinear rigidity]. *Issledovaniya vzaimodeystviya puti i podvizhnogo sostva. Mezhevuzovskiy sbornik nauchnykh trudov* [Studies of the way and rolling stock interaction. Interuniversity Proc.], 1984, issue 235/26, pp. 3-8.
7. Likhtberger B. *Spravochnik «Zheleznodorozhnyy put»* [Reference textbook «Railway track»]. Gamburg, DVV Media Group GmbH Publ., 2010. 434 p.
8. Savin A. Perekhod ot ballastnogo puti k bezballastnomu [Transition from a ballast way to the ballastless]. *Ukrainski zaliznytsi – Ukrainian Railways*, 2014, no. 3 (9), pp. 56-59.
9. Sysyn M., Rybkin V., Patlasov O. Doslidzhennia dynamichnykh kolyvan balky na pruzhnii dysypatyvni osnovi pid diieiu rukhomoho navantazhennia pry prokhodzhenni sylovoi nerivnosti kolii [Researches of dynamic fluctuations of a beam on an elastic basis from action of moving loading when passing power roughness of a way]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2004, no. 5. pp. 188-193.
10. Talavira H.M. Osidannia osnovnoi ploshchadky zemlianoho polotna vid rukhomoho skladu na perekhidnykh diliankakh pered shtuchnyimi sporudami [Deposit of the main platform of a road bed from a rolling stock on transitional sites before artificial constructions] *Zbirnyk naukovykh prats Kyivskoho universytetu ekonomiky i tekhnolohii transportu: Seriya «Transportni systemy i tekhnolohii»* [Proc. of Kiev University of Economics and technology transport: Series «Transport systems and technologies»], 2003, issue 4, pp. 80-84.
11. Chernyshov M.A. *Prakticheskiye metody rascheta puti* [Practical method of the track computation]. Moscow, Transport Publ., 1967. 236 p.
12. Kruse H., Popp K., Matuttis H.-G., Schinner A. Behandlung des Schotters als Vielkörper System mit wechselnden Bindungen. *Eisenbahningenieur*, 2001, no. 2., pp. 30-34.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

13. Gerstberger U., Knothe K., Sielaff-Opoku R. Modellierung des Schotters in der Gleisdynamik. *Eisenbahningenieur*, 2003, no. 9 (54), pp. 24-30.
14. Koch E. dr. Szepesházi R. A mélykeverés technológia vasútépítési alkalmazásának lehetőségei. *SÍNEK VILÁGA*, 2013, issue 2, pp. 9-14.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. В. Рибкіним (Україна); д.т.н., проф. Е. І. Даниленком (Україна)

Надійшла до редколегії 25.09.2014

Прийнята до друку 20.11.2014

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

UDC 629.4.027.43:669.14-044.342

N. A. GRISCHENKO^{1*}

^{1*}Dep. «Technology of Materials», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryana, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 56, e-mail grischenko@live.ru, ORCID 0000-0002-0091-1387

THE PROCESS OF FORMATION OF RAILWAY WHEEL DAMAGES AND TIRES IN OPERATION

Purpose. The dependence analysis of structural changes in the metal of railway wheels and tires from indicated influences in operation, for the further development of strategy of service reliability growth. **Methodology.** Test materials are the details selected from railway wheels which were taken out of operation beforehand because of various damages. Micro-structural researches were made with the use of light microscope Epiquant and electron microscope. The sizing of structural elements was done by using the methods of quantitative metallography. **Findings.** Over the past few decades the rapid development of industry was supported by the steady growth of intensity of using railway transport. In this case simultaneous increase of load at wheel set axle, with the increase of speed was accompanied by natural increase of the amount of cases of premature wheels and tires' withdrawing out of operation. Railway wheel, except the formation of metal layer at rolling surface with the high defects concentration of crystal structure and first of all dislocations, falls under thermal influence from interaction with break blocks. The nature of joint influence (cold deformation and heating) on the metal rim of a wheel is conditioned by the appearance of sufficiently high gradients of structural changes that can be considered as the influence on the level of internal residual stresses. In case of the rise of volume part of carbide phase at a constant ferrite grain size, it is achieved only by the increasing of dislocation nucleation sources without changing the number of annihilation positions. In this case the accumulation of dislocations at the initial stages of plastic deformation (in metal volume in front of delta arm crack) will lead to the formation of cementite globes around certain interlocked dislocation density. In contrast the sharp increase of deformation hardening carbon steel parameters is observed. **Originality.** During the braking of locomotive the speed rise of metal heating at rolling surface is provided with the increase of temperatures that is enough for the beginning of phase transformations. Under the further cooling there is the formation of a number of structures formed from sliding to diffusive mechanisms. As a result the chosen areas become the centers of future metal deformations on wheels' rolling surface and tires. **Practical value.** Based on the study of patterns of damages' formation in railway wheels and tires from the peculiarities of internal metal structure and the working conditions «Classifier of defects» was developed and «Technical tips for determination of causes of cracks in solid-rolled railway wheels and destruction in general», which have been implemented on Ukrzaliznytsia.

Keywords: railway wheels; tires; microstructure; damage; destruction

Introduction

In contact with the rail a wheel is under significant static and dynamic loads. As a result in the areas of wheels' touching with the rails large contact stresses are appeared. During the breaking between wheels and blocks large frictional forces are

formed which help to create a variety of defects [2, 6, 14, 18]. Wheel impacts on splice joints can cause the appearance of cracks on the rim.

Represented factors of operation with the metal disadvantages on the requirements of technical standard documentation on products can lead to untimely operation elimination of railway wheels.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Over the past few decades the rapid development of industry was supported by steady growth of operation rate of railway transport. In this case simultaneous increase of loads on the wheel set axis together with speed increase was accompanied by natural increase of the number of cases of premature wheels and tires' withdrawing out of operation [11]. For reasons given just to adjust wheels' withdrawal it is necessary to increase their production about 5...10% per year [13]. Taking this into account the problem of increasing service reliability of railway transport is the urgent one. The problem is quite difficult and depends on the solution of a number of questions that have defined the impacts on the level of operation reliability of wheels and tires.

Purpose

The analysis of structural changes in metal of railway wheels and tires from defined impacts during operation for the further development of increasing concept their operation reliability.

Methodology

Test materials are the details selected from railway wheels which in turn prematurely due to various damages were taken out of operation. Micro structural researches were made with the use of light microscope Epiquant and electron microscope. The sizing valuation of structural elements of steel in a wheel was done by using the methods of quantitative metallography [7].

Findings

Railway wheel without reference to the technology of its production must conform such requirement as accumulation on its rim the necessary level of tangential residual compressive stresses. These stresses break the process of appearing and increasing cracks of different origin [19].

Wheels that are produced under the technology of hot deformation at thermal strengthening (after the last shape-generating operation) are subjected to constrain differential cooling. Roll surface and the part of flank rim surface are cooled by heavy water flow, wheel disc and wheel hubs are cooled in the air. Then the wheel is subjected to dropping-out in the mode: about 500 °C, 3 hours.

For producing the railway wheel the casting technology under pressure is used. The wheel that

is produced with the help of such technology is different with chemical composition of steel and its structure.

Through this the wheels that are produced with the help of various technologies have their design peculiarities.

During thermal rim strengthening (the technology of thermal deformation) the temperature of rolling surface reduces quickly and comes up about 250 °C, when the disc and the hub of a wheel are cooling much more slowly. That's why in the wheel rim (at rolling surface) tangential tensile stresses are appeared, that considerably exceed the mark of metal fluidity. The relaxation of these stresses is done due to plastic deformation. At that time a wheel disc is under the action of compressive stresses. The process of temperature equalization during cooling in the air after thermo strengthening and tempering of steel is accompanied by the change of sign before formed stress field. Thus in the rim the residual stresses become the compressive stresses and in the disc they are tensile. Above-mentioned conclusions as to the level and the sign of residual stresses that appear in different elements of a wheel are proved by known facts [19]. The measurement of residual stresses showed that in the wheel which was produced by technology of hot deformation and the further thermo strengthening mentioned stresses approximately in twice, exceed the value of similar characteristics in the wheel made by casting technology. Mentioned differences are due to various structural metal conditions according to the production technology and the difference in division of thermal fields in the elements of a wheel during cooling. It should be noted that the level of residual stresses in the wheels which are manufactured by the technology of hot deformation meets the requirements of ISO and State Standard Specification 10 791 [9].

Comparative analysis of internal structure of the investigated wheels showed the existence of differences and also a significant similarity. Indeed if the rim of a wheel which is under accelerated cooling has in general more fine-grained structure and for these reasons higher strength properties than in the condition of hot deformation for a cast wheel the situation is different. Low cooling rates lead to the formation of such primary structure in different elements of a wheel (Fig. 1, *a*) which with slight differences in dispersion is similar to that which is observed after hot deformation.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

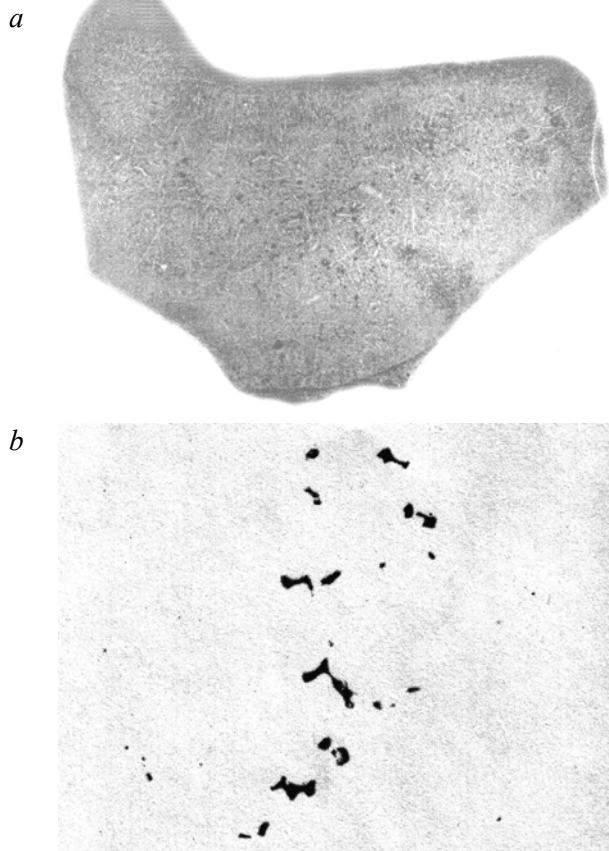


Fig. 1. The structure of spray wheel
(*a* – macrostructure, *b* – no solid).
Magnification: *b* – 100 times

Taking into consideration that the layer of metal thermo hardening with high strengthening properties on the average is to 8% of rim volume, mentioned differences may be compensated for the account of dispersion increase of pearlite component or the increase of its volume part. Indeed the increase of the pearlite quantity in cast wheel for account of steel using with a high content of carbon allowed exceeding the requirements as to the strengthening properties of a wheel (State Standard Specification 10 791) on average at 3% from higher and at 25% from lower interval boundary as to hardness on average at 18%. However plastic properties were lower due to the presence of coarse-dispersion on pearlite structure and excessively high carbon content of steel as a result an excessive quantity of pearlite component is formed. Besides, as addition researches of internal structure of metal showed that the steel of cast wheel especially near the surfaces has the slight adhesion (Fig. 1, *b*) and a number of non-metallic inclusions in the form of sulfides (total number below 0,5).

Recently the developments as to the proposals in the direction of increasing the load on the rolling stock elements are not left without attention the wheel pair. On the basis of this the estimation of the current level of stresses in the most loaded places of wheels was conducted depending on their structural features (Fig. 2) and the diagrams of operational forces. It is established that the highest stress concentration that occurs and operates in the places of transition from the hub to the disc (application area 1) and from the disc to the rim (application area 2), as it is shown in Fig. 2.

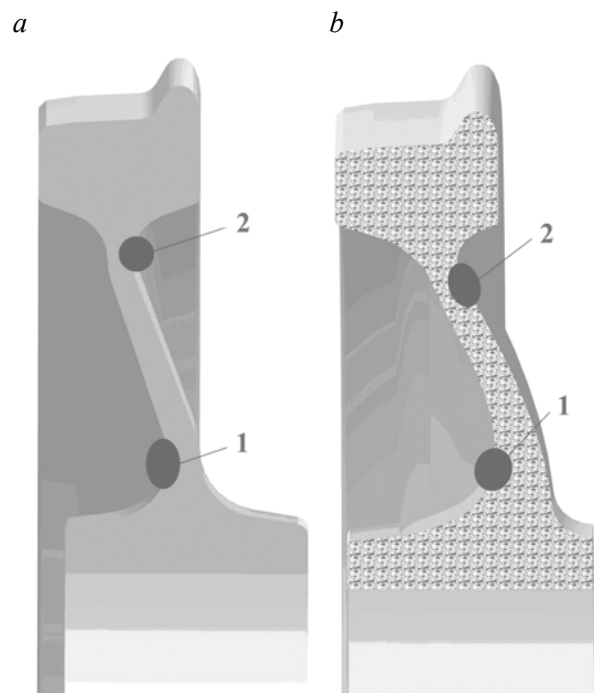


Fig. 2. The places of stress determination on the wheels produced according to the technology of hot deformation (*a*) and casting (*b*)

The level of stresses was defined by the methods described in the work [15], adapted to the form of cast wheel which differs from the wheel shape which was made according to the technology of hot deformation. To determine the stress level the form of a wheel was modeled by separate elements of tetrahedral form, the total number of which rose from 55 to 85 thousand. For the solution of the cubic polynomials their coefficients were determined by using parametric functions as given in [12]. On the basis of this it is considered that the stress of arbitrary point moving $\bar{U}(P)$ is the line of combination of tetrahedron moving:

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

$$\bar{U}(P) = \sum_{j=1}^4 l_j(P) \bar{U}(V_j)$$

Where $l_j(P)$ – linear function of coordinates, which is equals to 1 at the top of (V_j) and 0 in another places of element; $\bar{U}(V_j)$ – elastic moving of the top V_j of the element.

With the help of given methods the values of stresses were identified that appear in the transition areas between the elements of the wheel (application areas 1 and 2) in Fig. 2. So for the wheel that has the form shown in Fig. 2, and equivalent stresses in application area 1 added the meaning 120 H/mm^2 , and in application area 2 – 110 H/mm^2 . The increase of radius of curvature in two times for application area 1 resulted into reduction of the level of working stresses approximately at 20% (100 H/mm^2), and in application area 2 they went down to 38 H/mm^2 . Thus taking into consideration the given facts it is possible to suppose that the increase of curvature in transition areas between the elements of the wheel reduces the equivalent stresses that occur in it during the operation.

The magnitude of railway wheel skidding from interaction in the places of contact with the rail connected with durable properties significantly, as metal on the rolling surface and on the working surface of the rail [20]. On the basis of a sufficiently large number of studies on modeling the process of wear, as well as field testing it is determined that the minimal values of the railway wheels' wear and rails are achieved by the conditions of approximately the same values of their hardness [11, 20]. On the other hand it is known the same level of durable properties in steels can be achieved by various structural condition – after thermal hardening treatment – improvement, when the carbide phase has globular form or after accelerated cooling (at speeds below the critical value) lamellar form [19].

The analysis of normative and technical documentation [1, 9] shows that in the conditions of Ukraine the railway wheels mainly made of carbon steel at 0,55...0,65% carbon while for the rail higher carbon steel is used at 0,7...0,8% C. In hot-rolled condition or after annealing the steel struc-

ture for railway wheels with stoichiometry can have about 25% of structurally free ferrite. It is in the form of layers separating the pearlite colonies or at a sufficiently low cooling speeds in the form of separate volumes – grains (Fig. 3, a).

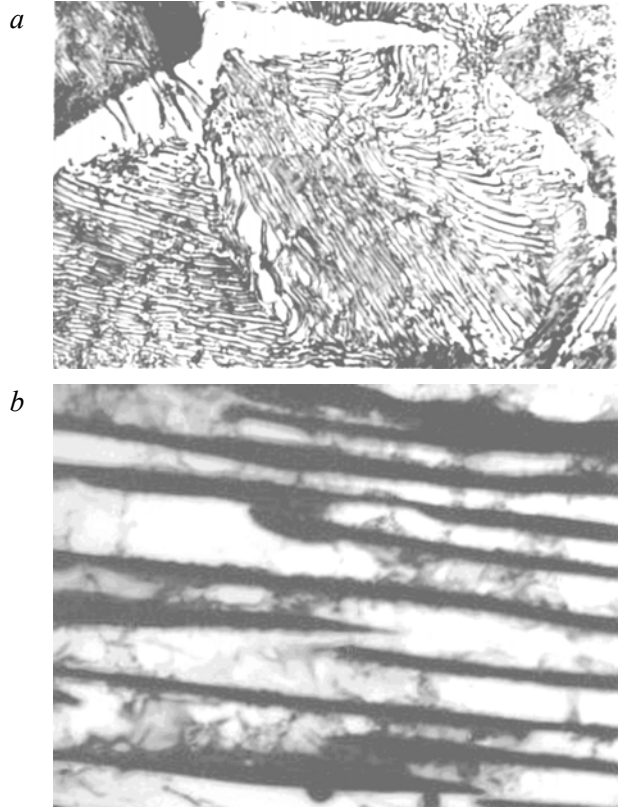


Fig. 3. The structure of metal rim of railway wheel after thermal hardening (a), pearlite colony after 30% of plastic deformation (b), (magnification 1 000 – a, 16 500 – b)

The increase in the rate of cooling such as during thermal strengthening of wheels' rim is accompanied by a simultaneous dispersion of pearlite and partial reduction of the volume fraction of structural free ferrite due to the formation of pseudo-eutectoid. However even the usage of highest possible cooling rates (limitation by the geometrical sizes of wheels' rim) does not eliminate the presence of structurally free ferrite completely. According to normative and technical documentation [19] it is allowed the presence of structurally free ferrite in the form of irregular grid on the limits of austenitic grains. At the same time the cooling rate is sufficient to austenitic grains after the removal of structurally free ferrite turned into a finally differentiated sorbitol for pearlites mechanism (Fig. 3, b).

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Thus the metal structure of railway wheels in the volumes near the surface of the rolling surface is the sorbitol pearlite with layers of structurally free ferrite which provides the required level of resistance to the processes of fatigue and wear during operation.

In comparison with the laminar form of carbide phase which is as a part of pearlite colonies is capable to plastic deformation, globular carbides for example after the improvement on the contrary even after deformation which leads to the complete destruction of the product practically remain unchanged [4]. In this case on the processes of deformation strengthening at metal loading it is very important the location of carbide globules in the matrix [17]. In case when globular particles are mainly located along the boundaries of ferrite grains (Fig. 4, *a*) the increasing of plastic properties is observed and particularly the resistance of metal nucleation and propagation of cracks at low temperatures.

The explanation of given example is based on the fact that interfacial ferrite-carbide surface performs the function of both source and the place of annihilation of dislocations [1]. Based on this it becomes clear that the increase of volume fraction without changing the dispersion of carbides, is accompanied not only by the increase of durable properties and that is the most important that the resistance to nucleation and growth of cracks at low temperatures of loading is increased.

In cases when the grain size of ferrite significantly exceed inter carbide distance (Fig. 4, *b*) the picture changes significantly. Taking into consideration that interfacial surface of the ferrite globule carbide has the ability to absorb the dislocations only in the case when the fraction is located in the slide area of dislocations; it becomes clear the role of multiannual boundaries of ferrite in the development of annihilation processes of dislocations during plastic deformation. The result will be that the increase of volume fraction of the carbide phase at a constant grain size of ferrite will be accompanied by the increase of the number of sources of dislocations while the number of places of their annihilation remains unchanged. In this case the excessive balance of dislocations will be on the initial stages of plastic flow of the metal and facilitate the formation of globular carbide layer particles from mutually blocked dislocations. In turn the formation of given volumes around the

carbides can be considered as future centers with high probability of nucleation of submicrocracks.

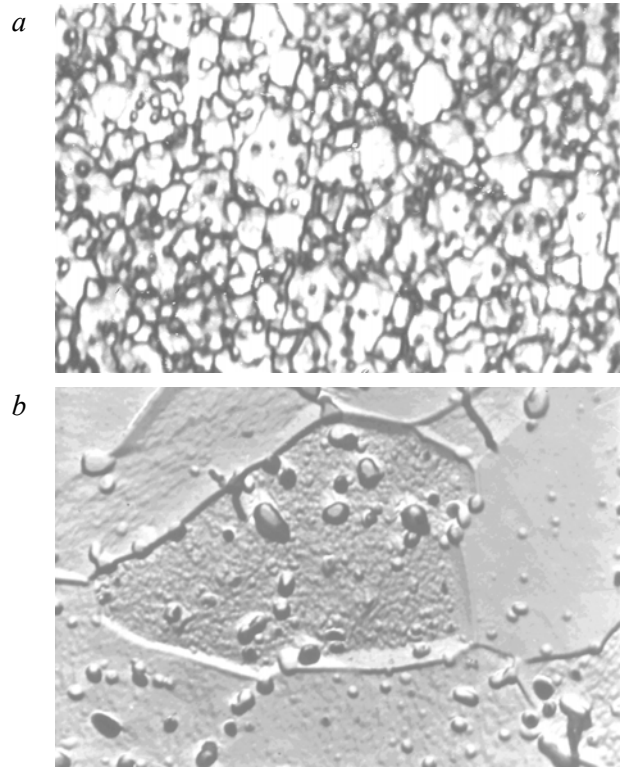


Fig. 4. The structure of carbon steel after cold plastic deformation and heating up to 700 °C, when the grain size of ferrite (d) is equal to the distance between carbides (λ) (*a*), and at $d > \lambda$ (*b*), (magnification 2 000 – *a*, 4 000 – *b*)

On the basis of the analysis of the development of the processes of deformation strengthening in carbon steels with different morphology of carbide component it becomes possible to determine the optimal structural state of metal, taking into account the operating conditions of the product.

Thus the railway wheel except the formation of metal layer on the surface of the rolling element with a high concentration of crystalline defects and first of all dislocations is open to thermal influence from the interaction with brake blocks. The nature of joint influence (cold deformation and heating) on the metal rim of the wheel specified the appearance of sufficiently high gradients of structural changes which in turn can be considered as the influence on the final level of internal residual stresses. But the effect largely depends on numerous factors the main of which are the degree of metal work hardening of the wheel rolling surface and the intensity of heating (energy density brak-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

ing, frequency and duration of interaction with braking blocks). Taking into consideration the existence of temperature gradient from the surface of the rolling element the intensity of the heating will be accompanied by the development of the processes of structural transformations in metal.

In this case the character of given structural changes will largely be connected with the distance of the layers of metal from the surface of heating. Thus in the surface metal layers due to the very high temperatures up to 700...800 °C, the fine-grained ferrite structure with cementite particles of different morphology is formed. Moreover the metal volumes with a high degree of accumulated deformation (higher libel) will correspond more fine-grained ferrite structure with a high number of globular cementite with different ratios of mid-axles. In the metal layer, through the development of the processes of coalescence and dynamic recrystallization, the residual stresses from libel will be reduced significantly and as a result there will be the increase of the metal ability to deformation strengthening and resistance to crack nucleation [10].

For more in-depth from the surface of the rolling of metal layers for which the temperature does not exceed 500...550 °C, the picture is different. It is known that at temperatures of metal heating until the beginning of recrystallization in curing cycle polygonizational processes begin their development. Their development is accompanied by the redistribution of dislocations which are accumulated during libel and eventually the configurations in the form of polygonal sub structural distribution surfaces. It should be taken into consideration that the more complete the processes of polygonization the less integrity of the development of recrystallization. Thus at a certain depth from the rolling surface, a metal layer with fully or partially completed processes of forming structures of polygonization occurs. According to the different estimates [1] it can be up to 70% of the accumulated density of dislocations which almost all are in the bound state. Numerous successive stages of braking except heating will be accompanied by metal wear from the rolling surface. The metal layer with polygonal structure will be closer to the rolling surface and in succession (in proportion to the deformation gradient) will be opened to libel. New dislocations interacting with a polygonal structure will be blocked which in turn will lead to the complication of the development of the process of re-

crystallization and the required level of libel reduction will not be achieved. In this case the slow-down of the development of relaxation of internal stresses must reduce the metal ability to the deformation hardening and as a result of such position to reduce the resistance of wheel steel and emergence of submicrocracks.

Thus at a certain depth from the rolling surface of the railway wheel the metal layers with a high level of fragility are formed. Experimentally observing the lack of appearing in the given metal layer (except the examples of locations outside the normative oxides restrictions, slag inclusions and etc.) cracks can be obliged to the existence of the broken grid of structurally free ferrite. The availability of such component in the structure of wheel steel additionally promotes the development of relaxation processes at achieving the maximum possible concentration of crystalline defects in the ferrite pearlite. One explanation is the very rapid development of recrystallization of structurally free ferrite in comparison with paralytic colony at heating during the braking of rolling stock.

In modern conditions the increase of the mass of rolling stock, with a simultaneous increase of the intensity of movement, accompanied by the increase of loading on railway wheels and rails. Taking into consideration that under the conditions of high traction and breaking powers the motion process is on the verge of clutch, the question of optimal structural condition of railway wheel, tires and rails becomes relevant. Apart from this for higher speed movement the temperature influence is significantly increased especially in the area of contact of the wheel (tire) -rail. The given impact significantly connected not only with the structural state of the metal, but also with the peculiarities of the braking process. The comparative analysis of the influence on metal on the rolling surface, using disc brakes and block scheme, showed the existence of having much in common and also their features. Taking into account the specific character of loading, operating conditions, there is a certain different and optimal structural state of the metal of railway wheels and rails. Thus for the railway wheels the thermal strengthening processes are used especially for the amounts of metal rim which help to form small differential laminar structures of sorbitol with intermittent grid of structurally free ferrite, which is located on the former multi angular austenitic boundaries. The rails, on the contrary

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

are strengthening by thermal treatments, which lead to the structures of improvement – the structural transformations by sliding mechanism with the further steel tempering [16]. In this case the structural metal state is the finely divided globules of carbide phase evenly located in ferrite matrix.

Based on the analyses of the internal structure of metal rim of railway wheel it is determined that after thermal hardening treatment the structure is a ferrite-pearlite mixture of various degrees of dispersion and morphology, depending on the distance from the surface of forced cooling [5]. During operation the railway wheel is open to a variety of influences. Thus, the emerging metal libel on the rolling surface having a certain gradient of values in the depth of the rim at the same time with the temperature gradient on the rim thickness from the interaction with a rail is determined the nature of structural changes in metal. However the nature of structural changes in metal of railway wheel during operation may vary depending on the used braking scheme.

For braking schemes with the use of braking pads it is determined that the compression of railway wheels on the rolling surface helps with sufficiently high speed to increase the temperature in subsurface metal layers. In this case the temperature of heating according to various estimates [1] in the metal layer up to 1 mm may be sufficient for the beginning of phase transformations (up to 800 °C). Thus, for the metal volumes which are being heated up to 600...650 °C with the previous cold hardening, adequate 40–50% of plastic deformation, in the places of pearlites colonies partially formation is observed (depending on the degree of plastic deformation and the heating temperature) spheroidized carbide particles (Fig. 5).

The layers of structurally free ferrite after given influence can turn into chains which consist of small grains of different morphology. The reduction of the distance from the rolling surface at the same time increases the cold hardening degree of metal rim and the temperature of heating. As it was determined by the research, the heating of carbon steel from 0,6% C up to the temperatures of 700...720 °C after the previous plastic deformation 60...70% is accompanied by the development of the processes of recrystallization, the grain size of ferrite is inversely proportional to the heating rate and the cold hardening amount.

Taking into consideration that the contact spot of the railway wheel-rail has sufficiently small size

for one rotation of the wheel on the rolling surface, a narrow strip with sufficient slander degree is formed, while adjacent areas on the rolling surface remain unchanged. So, only due to the interaction of a wheel and a rail during free rolling, quite heterogeneous metal cold hardening on the working surface of the rim occurs.

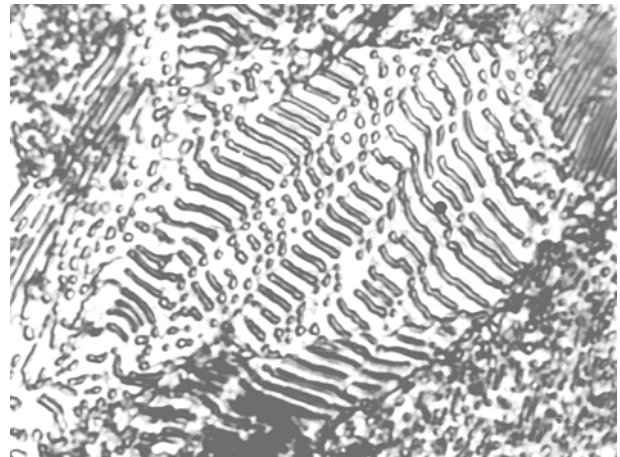


Fig. 5. The structure of pearlite colony of carbon steel after deformation 30% of heating up to 65 °C. (Magnification 2 000)

In the process of braking, during the interaction of braking pads with the wheel, relatively equable metal heating over the total contact surface is accompanied by the development of the processes of structural changes with simultaneous volume alignment and the reduction of accumulated defects in the crystal metal structure. Except this, the braking pads function as a kind of tool that removes the surface metal layer including the areas with little surface damages.

Thus, in the process of braking the equable cutting of heterogeneous cold-worked with possible surface damages in metal layer takes place, which can be considered as a kind of improving quality process of the rolling surface. The surface heating contributes to the relaxation of internal stresses from the remains of work-hardened metal.

Further, during the railway wheel operation the structural changes on the rolling surface will have their development. After the end of braking stage, without train stopping, the heated wheel with partially removed damaged metal layer further is accessible to the plastic deformation with high temperature heat. When the heating degree is enough, the processes of relaxation of internal stresses on the places are taken place. With the gradual reduction of temperature, the consistent development of the processes of recombination of defects in the

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

crystal structure up to about 400 °C, dynamic aging strain up to 350...200 °C can lead to the increase of durable properties at constant stock of plasticity and in some cases to increase the plasticity and brittle destruction resistance [4].

The nature of structural changes, during the railway wheel operation, when using the disc braking system, is different from the observed ones when using the pads. At first, it should be noted the lack of equable metal heating on the rolling surface. The emerging of metal cold hardening from the interaction with a rail as it is above mentioned has a very high heterogeneity in the rolling surface. The energy transmission at braking from the braking discs through the axis of wheels' pair on the place of contact with a rail is limited by sufficiently little area. Based on this it can be assumed that sufficiently large voltages from a high energy density are appeared. This is due to the relatively low heating temperatures of subsurface metal layers of a wheel. In this case the lack of development of relaxation processes (insufficiently high temperature), the accumulation of defects in the crystal structure to the maximum possible boundary and at diverse beginning of brake elements operation to a failure of conditions of in adhesion, all this will help to appearing of defects on the rolling surface and the wheels removal out of service. Taking into account the experimental data [8], which showed that lately on the train, the cases of using the disc braking system become more frequent, premature wheels' withdrawal at a failure of the geometry conditions. The rolling surface of railway wheel from the form of like circle, relatively quickly turns into a polygon. Given information can be considered as one of the evidences of probability of structural changes in the metal of wheel rim when using the different braking systems.

Steels that are used for the manufacture of wheels and tires, after hot plastic deformation as it is showed above, have the structure that consists of pearlite colonies and the areas of structurally free ferrite. The increasing of cooling rate, for example as at thermal strengthening treatments of railway wheels simultaneously with the dispersion of pearlite colonies it is observed the decrease of volume fraction of structurally free ferrite due to the formation of pseudo eutectoid [7]. However even in the case of achieving the highest cooling rates, it is impossible to eliminate the allocation of layers of unbound ferrite on multiangular boundaries of austenite grains (Fig. 6, a).

So, the optimal structure that can be formed in the process of accelerated cooling of the rim of railway wheel is laminar sorbitol with intermittent grid of structurally free ferrite. Taking into consideration sufficiently complex form of railway wheel and the size variation of its elements, fully train wheel and its individual elements can be under strengthening thermal treatment. Such approach for the solving the problem of increasing the reliability of railway wheel service are depending on the loading conditions. One of the possible characteristics can be the occurring stresses that appear in wheel's elements from interferences. Taking into account the structural peculiarities of the wheel disc, the form of the diagram stresses gave the opportunity to develop the process of thermal strengthening treatment which allows through the formation of structural state of a wheel disc influences on the level of internal stresses of the rim. So, during the using of forced accelerated disc cooling, especially in the places of transition to the rim and hub, due to the formation of bainitic structures at a certain depth from the cooling surface and further self-tempering (adequate individual heating up to temperatures of 600...650 °C) globular structures of carbide phase are achieved.

In comparison of the laminar form of cementite, which is a part of pearlite colony is able to bear large plastic deformation [7], globular carbides on the contrary even after the degrees of deformation when the metal is destroyed, remain practically unchanged. In this case, the development of the processes of dispersive hardening largely determines the metal behavior under loading. So in the case when cementite globulars are located on the multiangular boundaries of ferrite grains (Fig. 6, b), it is experimentally observed the increase of metal resistance nucleation and the growth of cracks, especially for the relatively low temperatures [4].

The shown position by the ratio between the number of nucleation sites and annihilation of dislocations during the metal slander is conditioned. In the case of location of cementations globulars on the multiangular ferrite boundaries, interfacial surface of ferrite- cementite performs the functions of both the source and the places of annihilation of dislocations after they perform the deformation act [4, 7]. Based on this it becomes evident that the increase of volume fraction of cementite, even without taking into consideration the dispersion, increases the resistance to nucleation of cracks due to the low level of deformational strengthening [4].

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

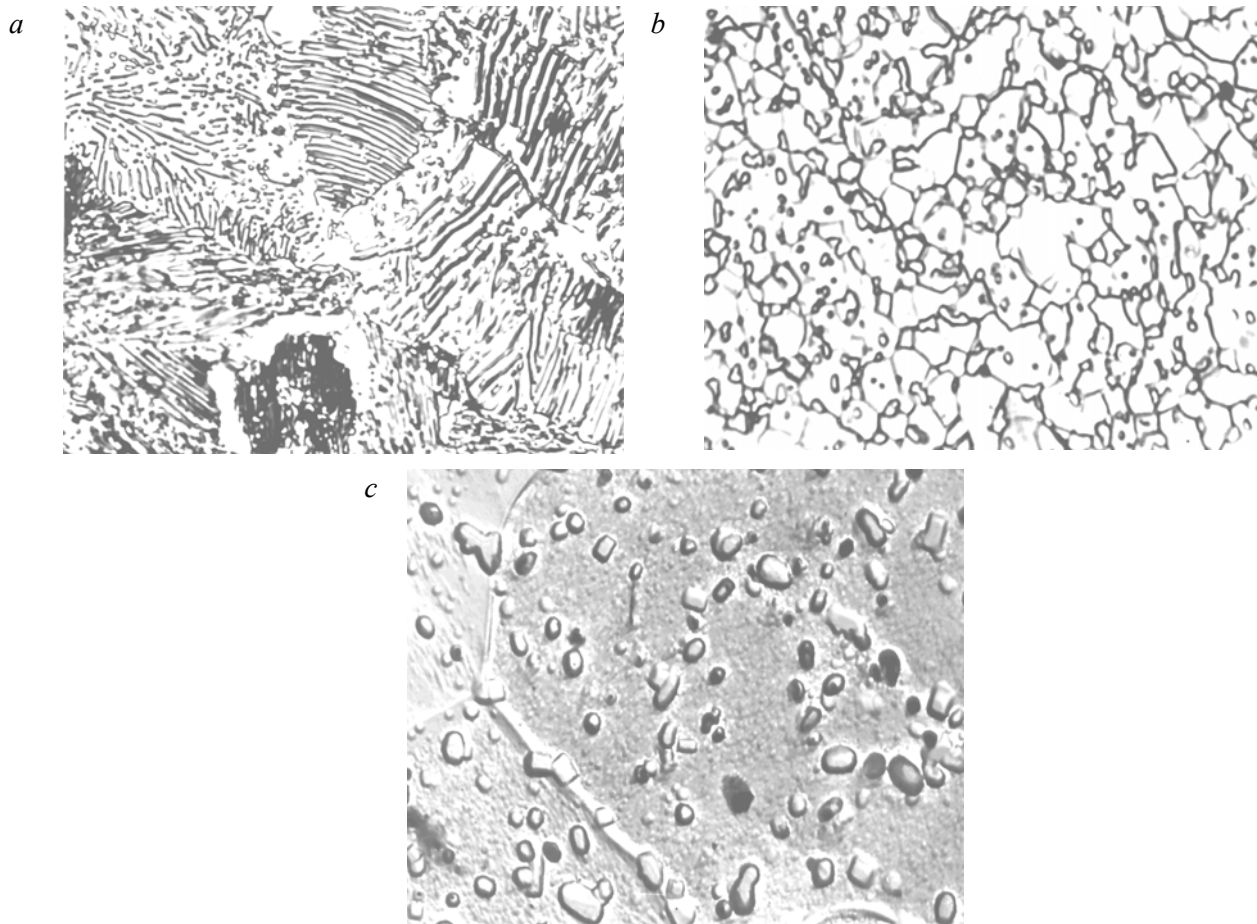


Fig. 6. The structure of wheel steel from 0,6% C after hot plastic deformation (*a*), after quenching from the normal temperature tempering at 650 °C, deformations 50...60%, annealing at 650 °C (*b*), after quenching from the normal temperature tempering at 650 °C, deformations of 15%, annealing at 650 °C (*c*). Magnification 800 (*a*), 2 000 (*b*), 4 000 (*c*)

In a case when the grain size of ferrite greatly exaggerates inter carbide distance (Fig. 6, *c*), the picture is largely changed.

The given position of different absorption capability of dislocations after the elementary act of the plastic deformation of metal is conditioned. In comparison with multiangular ferrite boundaries, interphase ferrite-cementite can be the place of annihilation of dislocations only in the case when cementite globular is located in crystallographic glide area of dislocations. Then with the increase of volume fraction of carbide phase, at a constant grain size of ferrite only the increasing of sources of dislocations' nucleation is achieved, without the changing the number of annihilation places. In this case the accumulation of dislocations at the early stages of plastic deformation (in metal volumes in front of the delta arm of a crack) will form around the cementite globulars certain density of inter

blocked dislocations. Based on this there is a sharp increase of parameters of deformation hardening of carbon steel [3]. Taking into consideration, that for medium and high carbon steels the increase of deformation strengthening is accompanied by the decrease of plastic properties, it can be considered that in this case the metal volumes near inter phase surfaces allocation will be the most likely places of submicrocracks' origin.

Thus, when using carbon steel with the number of carbon when there is no possibility of eliminating the structurally free ferrite, optimal structural condition should be considered as laminar structures. Pearlite colonies together with structurally free ferrite take part in the plastic metal deformation, which makes possible the development of annihilation processes, which help to break the processes of nucleation and the growth of microcracks in metal of railway wheels during operation.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

On the other hand, taking into account the emergence of quite complex stress state of metal in the wheel disc during operation it can be considered that the use of strengthening of thermal treatment of disc will contribute to the change of the stress field in the other elements.

Originality and practical value

In the process of breaking the rolling stock the increase of heating speed of metal on the rolling surface is accompanied by the temperatures' growth, which is sufficient to the beginning of phase transformations. There are the formation of several structures from the formed of sliding to diffusion mechanisms at further cooling. As a result, the indicated areas become the centers of future metal destructions on the rolling surface of wheels and tires.

Based on the study of regularities of damages' formation in railway wheels and tires from the peculiarities of internal metal structure and the operating conditions "The classifier of defects" was developed and «Technical tips for determination of causes of cracks in solid-rolled railway wheels and destruction in general» should be introduced on Ukrzaliznytsia.

Conclusions

Based on the analysis of occurring stresses in the transition areas between the elements of a wheel, the direction of the change of geometrical sizes of the elements is defined, that will reduce the equivalent stresses.

The analysis of changes in the internal structure of carbon steel due to the heating degree from the rolling surface shows that the proportional to the temperature gradient the internal stresses are appeared, which lead to the formation of destruction origination in the places with low metal resistance.

The use of materials with a low coefficient of heat transmission for the manufacture of braking pads in the comparative conditions of braking increase the temperatures' gradient in metal near the rolling surface.

LIST OF REFERENCE LINKS

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. Зависимость усталостной прочности от структурного состояния стали для железнодорожных колес / И. А. Вакуленко, Н. А. Грищенко, О. Н. Перков // Соврем. проблемы подготовки пр-ва заготов. пр-ва, обработки, сборки и ремонта в пром-сти и на трансп. – Киев, 2007. – С. 242–244.
3. Вакуленко, И. А. О факторах, вызывающих пластически нестабильное течение углеродистой стали / И. А. Вакуленко // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 1994. – № 9. – С. 27–29.
4. Вакуленко, И. А. Структура и свойства углеродистой стали при знакопеременном деформировании / И. А. Вакуленко. – Днепропетровск : Guadeamus, 2003. – 94 с.
5. Вакуленко, И. А. Технологические особенности производства упрочненных железнодорожных колес / И. А. Вакуленко, О. Н. Перков // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 20. – С. 216–218.
6. Вакуленко, И. А. Факторы, влияющие на надёжность и долговечность железнодорожных колёс / И. А. Вакуленко, Г. В. Рейдемейстер, О. Н. Перков // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2005. – Вип. 9. – С. 129–132.
7. Вакуленко, І. О. Структурний аналіз в матеріалознавстві : навч. посіб. / І. О. Вакуленко. – Дніпропетровськ : Маковецький, 2010. – 124 с.
8. Выбор стали для колес – альтернативы и возможности. Обзор сталей // Ж.-д. мира. – 2007. – № 12. – С. 38–43.
9. ГОСТ 10791-2004. Колеса цельнокатаные. Технические условия. – Взамен ГОСТ 10791-89 ; введ. 2005-01-07. – Москва : Изд-во стандартов, 2005. – 27 с.
10. Грищенко, М. А. Дослідження причин виникнення вищербин металу на поверхні кочення залізничних коліс / М. А. Грищенко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 23. – С. 178–182.
11. Дефекти залізничних коліс : монографія / І. О. Вакуленко, В. Г. Анофрієв, М. А. Грищенко, О. М. Перков. – Дніпропетровськ : Маковецький, 2009. – 112 с.
12. Завьялов, Ю. С. Методы сплайн функций / Ю. С. Завьялов, Б. И. Квасов, В. Л. Мирошников. – Москва : Наука, 1980. – 352 с.
13. К вопросу надежности и долговечности железнодорожных колес / О. Н. Перков, И. А. Вакуленко, В. Г. Раздобреев, В. Н. Куваев // Теория и практика металлургии. – 2008. – № 3. – С. 43–46.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

14. Класифікація несправностей вагонних колісних пар та їх елементів. – Київ : Держ. адм. залізн. трансп. України, 2006. – 79 с.
15. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм. – Москва : ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
16. Bhadeshia, H. K. D. H. Bainite in steels / H. K. D. H. Bhadeshia. – Cambridge : The University Press, 2001. – 454 p.
17. Coarsening kinetics of TiN particle in a low alloyed steel in weld HAZ: Considering critical particle size / J. Moon, C. Lee, S. Uhm, J. Lee // Acta Materialia. – 2006. – Vol. 54 (4). – P. 1053–1061. doi: 10.1016/j.actamat.2005.10.037
18. ESR 0330. Wheel Defect Manual / Engineering Standard Rolling Stock. – Australia : RailCorp. – 2013. – 57 p.
19. Gubenko, S. Investigation of Wear Mechanism of Tread During Operation of Railway Wheels / S. Gubenko, Y. Proidak // Transport Problems. – 2012. – Vol. 7, № 3. – P. 119–125.
20. Influence of Nonmetallic Inclusions on Microbreaks Formation in Wheel Steel and Railway Wheels / S. Gubenko, Yu. Proidak, A. Kozlovsky [et al.] // Transport Problems. – 2008. – Vol. 3, № 3. – P. 77–81.

М. А. ГРИЩЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Технологія матеріалів», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта grischenko@live.ru, ORCID 0000-0002-0091-1387

ПРОЦЕС ФОРМУВАННЯ УШКОДЖЕНЬ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС ТА БАНДАЖІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Мета. У роботі необхідно провести аналіз залежності структурних перетворень у металі залізничних коліс та бандажів від визначених впливів при експлуатації, для подальшої розробки концепції підвищення їх експлуатаційної надійності. **Методика.** Матеріал для досліджень – фрагменти, відібрані від залізничних коліс, які, в свою чергу, попередчасно, за рахунок різноманітних ушкоджень, були вилучені з експлуатації. Мікроструктурні дослідження проводили з використанням світлового мікроскопа Eriquant та електронного мікроскопа. Оцінку розміру структурних елементів проводили, використовуючи методики кількісної металграфії. **Результати.** В останні десятиріччя прискорений розвиток промисловості супроводжувався неухильним зростанням інтенсивності експлуатації залізничного транспорту. При цьому одночасне підвищення навантаження на вісь колісної пари, разом із зростанням швидкості руху, супроводжувалося закономірним збільшенням кількості випадків передчасного вилучення коліс і бандажів із експлуатації. Залізничне колесо, окрім формування прошарку металу по поверхні кочення з високою концентрацією дефектів кристалічної будови і, в першу чергу, дислокацій, піддається температурному впливу від взаємодії з гальмівними колодками. Характер сумісного впливу (холодне деформування й розігрів) на метал ободу колеса обумовлює виникнення достатньо високих градієнтів структурних змін, що, в свою чергу, може розглядатися, як вплив на рівень внутрішніх остаточних напружень. При підвищенні об'ємної частки карбідної фази, при незмінному розмірі зерна фериту, досягається лише збільшення джерел зародження дислокацій, без зміни кількості місць анігіляції. В цьому випадку накопичення дислокацій вже на початкових етапах пластичної деформації (в об'ємах металу попереду гирла тріщини) призведе до формування навколо глобулів цементиту визначеної щільності взаємозаблокованих дислокацій. На підставі цього спостерігається різке підвищення параметрів деформаційного зміцнення вуглецевої сталі. **Наукова новизна.** В процесі гальмування рухомого складу підвищення швидкості розігріву металу на поверхні кочення супроводжується зростанням температур, достатніх до початку фазових перетворень. При подальшому охолодженні відбувається поява низки структур, сформованих від зсувного до дифузійного механізмів. Внаслідок цього, вказані ділянки стають осередками майбутніх руйнувань металу на поверхні кочення коліс і бандажів. **Практична значимість.** На основі вивчення закономірностей формування ушкоджень у залізничних колесах та бандажах від особливостей внутрішньої будови металу та умов експлуатації розроблено «Класифікатор дефектів» та «Методичні вказівки з порядку визначення причин виникнення тріщин в суцільнокатаних колесах та руйнування в цілому», котрі впроваджено на Укрзалізницю.

Ключові слова: залізничні колеса; бандажі; мікроструктура; пошкодження; руйнування

Н. А. ГРИЩЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Технология материалов», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, эл. почта grischenko@live.ru, ORCID 0000-0002-0091-1387

ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС И БАНДАЖЕЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Цель. В работе необходимо провести анализ зависимости структурных превращений в металле железнодорожных колес и бандажей от определенных воздействий при эксплуатации, для дальнейшей разработки концепции повышения их эксплуатационной надежности. **Материал и методика исследований.** Материал для исследований – фрагменты, отобранные из железнодорожных колес, которые, в свою очередь, преждевременно, за счет различных повреждений, были изъяты из эксплуатации. Микроструктурные исследования проводили с использованием светового микроскопа Epiquant. и электронного микроскопа. Оценку размера структурных элементов проводили, используя методики количественной металлографии. **Результаты.** В последние десятилетия ускоренное развитие промышленности сопровождалось неуклонным ростом интенсивности эксплуатации железнодорожного транспорта. При этом одновременное повышение нагрузки на ось колесной пары, вместе с ростом скорости движения, сопровождалось закономерным увеличением количества случаев преждевременного изъятия колес и бандажей из эксплуатации. Железнодорожное колесо, кроме формирования прослойки металла по поверхности катания с высокой концентрацией дефектов кристаллического строения и, в первую очередь, дислокаций, подвергается температурному воздействию от взаимодействия с тормозными колодками. Характер совместного влияния (холодное деформирование и разогрев) на металл обода колеса обуславливает возникновение достаточно высоких градиентов структурных изменений, что, в свою очередь, может рассматриваться как влияние на уровень внутренних окончательных напряжений. При повышении объемной доли карбидной фазы, при неизменном размере зерна феррита достигается только увеличение источников зарождения дислокаций, без изменения количества мест аннигиляции. В этом случае накопления дислокаций уже на начальных этапах пластической деформации (в объемах металла впереди устья трещины) приведет к формированию вокруг глобулы цементита определенной плотности заблокированных дислокаций. На основании этого наблюдается резкое повышение параметров деформационного упрочнения углеродистой стали. **Научная новизна.** В процессе торможения подвижного состава повышение скорости разогрева металла на поверхности катания сопровождается ростом температур, достаточных для начала фазовых превращений. При дальнейшем охлаждении происходит появление ряда структур, сформированных от сдвигового к диффузионному механизмам. Вследствие этого, указанные участки становятся очагами будущих разрушений металла на поверхности катания колес и бандажей. **Практическая значимость.** На основе изучения закономерностей формирования повреждений в железнодорожных колесах и бандажах от особенностей внутреннего строения металла и условий эксплуатации разработаны «Классификатор дефектов» и «Методические указания по порядку определения причин возникновения трещин в цельнокатаных колесах и разрушения в целом», внедренные на Укрзализныце.

Ключевые слова: железнодорожные колеса; бандажи; микроструктура; повреждение; разрушение

REFERENCES

1. Babich V.K., Gul Yu.P., Dolzhenkov I.Ye. *Deformatsionnoye starenie stali* [Strain aging of steel]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1972. 320 p.
2. Vakulenko I.A., Grishchenko N.A., Perkov O.N. *Zavisimost ustalostnoy prochnosti ot strukturnogo sostoyaniya stali dlya zheleznodorozhnykh kolos* [The dependence of fatigue strength on the structural condition of the steel railway wheels]. Kyiv, 2007. pp. 242-244.
3. Vakulenko I.A. O faktorakh, vyzyvayushchikh plasticheski nestabilnoye techeniye uglerodistoy stali [The factors that cause plastically unstable flow for carbon steel]. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya – News of Universities. Ferrous Metallurgy*, 1994, no. 9, pp. 27-29.
4. Vakulenko I.A. *Struktura i svoystva uglerodistoy stali pri znakoperemennom deformirovanii* [Structure and properties of carbon steel with alternating deformation]. Dnipropetrovsk, Guadeamus Publ., 2003. 94 p.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

5. Vakulenko I.A., Perkov O.N. Tekhnologicheskiye osobennosti proizvodstva uprochnennykh zheleznodorozhnykh koles [Technological features of manufacture hardened rail wheel]. *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 20, pp. 216-218.
6. Vakulenko I.A., Reydemeyster G.V., Perkov O.N. Faktory, vliyayushchiye na nadezhnost i dolgovechnost zheleznodorozhnykh koles [Factors affecting the reliability and durability of railway wheels]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2005, issue 9, pp. 129-132.
7. Vakulenko I.A. *Strukturnyi analiz v materialoznavstvi* [Structural analysis in materials science]. Dnipropetrovsk, Makovetskyi Publ., 2010. 124 p.
8. Vybory stali dlya koles – alternativy i vozmozhnosti. Obzor staley [The choice of steel for the wheel – alternatives and opportunities. Review steels]. *Zheleznyye dorogi mira – Railways of the World*, 2007, no. 12, pp. 38-43.
9. GOST 10791-2004. *Kolesa tselnokatanye. Tekhnicheskiye usloviya* [GOST 10791-2004. Solid-rolled wheels. Technical conditions]. Moscow, Standartinform Publ., 2005. 27 p.
10. Hryshchenko M.A. Doslidzhennia prychyn vynyknennia vyshcherbyn metalu na poverkhni kochennia zaliznychnykh kolis [Research the causes of fisherman metal on the surface of the railway wheels rolling]. *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 23, pp. 178-182.
11. Vakulenko I.O., Anofriiev V.H., Hryshchenko M.A., Perkov O.M. *Defekty zaliznychnykh kolis* [Defects of railway wheels]. Dnipropetrovsk, Makovetskyi Publ., 2009. 112 p.
12. Zavialov Yu.S., Kvasov, B.Y., Myroshnychenko V.L. *Metody splain funktsii* [Methods of Spline Functions]. Moscow, Nauka Publ., 1980. 352 p.
13. Perkov O.N., Vakulenko I.A., Razdobreyev V.G., Kuvayev V.N. K voprosu nadezhnosti i dolgovechnosti zheleznodorozhnykh koles [To the question the the reliability and durability of railway wheels]. *Teoriya i praktika metallurgii – Theory and Practice of Metallurgy*, 2008, no. 3, pp. 43-46.
14. *Klasyfikatsiia nespravnostei vahonnykh kolisnykh par ta yikh elementiv* [Classification of faults wagon wheelsets and their components]. Kyiv, Derzhavna administratsiia zaliznychnoho transportu Publ., 2006. 79 p.
15. *Normy dlya rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm* [Rules for calculation and design of railways cars, Ministry of Railways of 1520 mm]. Moscow, GosNIIV-VNIIZhT Publ., 1996. 319 p.
16. Bhadeshia H.K.D.H. Bainite in steels. The University Press, Cambridge Publ., 2001. 454 p.
17. Moon J., Lee C., Uhm S., Lee J. Coarsening kinetics of TiN particle in a low alloyed steel in weld HAZ: Considering critical particle size. *Acta Materialia*, 2006, vol. 54 (4), pp. 1053-1061. doi: 10.1016/j.actamat.2005.10.037
18. ESR 0330. Wheel Defect Manual. Engineering Standard Rolling Stock. RailCorp: Australia, 2013. 57p.
19. Gubenko S., Proidak Y. Investigation of Wear Mechanism of Tread During Operation of Railway Wheels. *Transport Problems*, 2012, vol.7, no. 3, pp. 119-125.
20. 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.

Associate Professor S. V.Proydak, Ph.D. (Tech.); Associate Professor O. A. Chaykovskiy, Ph.D. (Tech.) recommended this article to be published

Received: Dec.05.2014

Accepted: Jan. 22.2015

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 669.15'26'292–196

Т. В. ПАСТУХОВА¹, В. Г. ЕФРЕМЕНКО^{2*}, А. П. ЧЕЙЛЯХ³, К. ШИМИДЗУ⁴,
Ю. Г. ЧАБАК⁵¹Каф. «Металловедение и термическая обработка металлов», Приазовский государственный технический университет, ул. Университетская, 7, Мариуполь, Украина, 87500, тел. +38 (0629) 44 65 20, эл. почта kozarevskaya89@mail.ru, ORCID 0000-0002-0352-9220^{2*}Каф. «Физика», Приазовский государственный технический университет, ул. Университетская, 7, Мариуполь, Украина, 87500, тел. +38 (0629) 44 61 31, эл. почта vgefremenko@rambler.ru, ORCID 0000-0002-4537-6939³Каф. «Металловедение и термическая обработка металлов», Приазовский государственный технический университет, ул. Университетская, 7, Мариуполь, Украина, 87500, тел. +38 (0629) 44 61 31, эл. почта cheylyakh_o_p@pstu.edu, ORCID 0000-0003-0805-0443⁴Муроранский технологический институт, ул. Мизумото-чо, 27, Муроран, Хоккайдо, Япония, 050-8585, тел. +81-143465651, эл. почта shimizu@murogan-ac.jp⁵Каф. «Физика», Приазовский государственный технический университет, ул. Университетская, 7, Мариуполь, Украина, 87500, тел. +38 (0629) 44 65 20, эл. почта julia.chabak@yandex.ua, ORCID 0000-0003-4913-2680

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПРЕВРАЩЕНИЯ «ПЕРЛИТ → АУСТЕНИТ» В КОМПЛЕКСНО-ЛЕГИРОВАННЫХ БЕЛЫХ ЧУГУНАХ

Цель. В структуре износостойких сталей и чугунов не допускается присутствия перлита. Устранение перлита путем грамотного выбора режима закалки предполагает знание температур критических точек A_{c1} и A_{c3} для конкретных сталей и чугунов. Целью работы является определение влияния V (от 5 до 10 %) и Cr (от 0 до 9 %) на температурный интервал фазово-структурного перехода «перлит → аустенит» (точки A_{c1}) в комплексно-легируемых белых V-Cr-Mn-Ni чугунах со сфероидизированными карбидами ванадия. **Методика.** Использованы чугуны девяти различных составов, выплавленные в лабораторных условиях и подвергнутые модифицирующей обработке Mg-содержащей лигатурой. В работе применены металлографический метод анализа, оптическая дилатометрия, энергодисперсионная спектроскопия. **Результаты.** Показано, что в исследованных чугунах критическая точка A_{c1} находится в температурном интервале от 710–780 °C (нижняя граница) до 730–850 °C (верхняя граница). Представлены данные по концентрации хрома и ванадия в матрице чугунов, получены регрессионные выражения, описывающие влияние содержания ванадия и хрома на температурные границы превращения «перлит → аустенит». **Научная новизна.** Показано, что в исследованных чугунах рост содержания хрома приводит к повышению нижней и верхней границ температурного интервала превращения «перлит → аустенит»; ванадий повышает лишь верхнюю границу интервала. Установлено, что влияние хрома на критическую точку A_{c1} реализуется благодаря его частично-му растворению в металлической матрице (концентрация Cr в аустените достигает 7,0 %). Ванадий, ввиду его незначительного растворения в матрице (содержание ванадия в твердом растворе не превышает 1,75 %), влияет на критическую точку опосредованно, за счет увеличения концентрации хрома в матрице вследствие более активного связывания углерода в карбиды VC. **Практическая значимость.** Предложены температурные интервалы нагрева под закалку белых V-Cr-Mn-Ni чугунов со сфероидизированными карбидами ванадия, обеспечивающие получение в структуре чугунов аустенитно-мартенситной матрицы при полном отсутствии перлита в структуре.

Ключевые слова: комплексно-легируемые чугуны; критическая точка; хром; ванадий; карбиды ванадия; перлит; аустенит; фазовый переход

Введение

Белые легированные чугуны нашли широкое применение в промышленности благодаря своей высокой износостойкости [2–6]. Известно, что с целью обеспечения максимального сопротивления абразивному изнашиванию в структуре чугуна не допускается присутствия перлита;

металлическая матрица должна состоять из мартенсита и остаточного аустенита в различном соотношении в зависимости от условий изнашивания [5, 8]. Перлит в структуре чугунов устраняется закалкой из аустенитной области [1, 4]. Для правильного выбора температуры нагрева под закалку необходимо знать положение

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

ние точки A_{c1} . Известно, что на температурный интервал обратного превращения «перлит \rightarrow аустенит» (т.е. на критическую точку A_{c1}) определяющее воздействие оказывает скорость нагрева и, главным образом, – химический состав сплава. Информация по критическим точкам высокохромистых чугунов приведена в работах [3, 5, 7, 10]. В то же время в литературе отсутствуют данные о критических точках сплавов нового класса – чугунов со сфероидизированными карбидами ванадия. Эти чугуны в последнее время привлекают повышенный интерес исследователей в связи с их высоким уровнем триботехнических свойств [11–13, 16]. Сфероидизированное состояние карбидов ванадия обеспечивают обработкой расплава лигатурами, содержащими Mg или РЗМ [9, 15]. Оптимизация химического состава и технологии термической обработки таких чугунов требует знания температурного интервала превращения «перлит \rightarrow аустенит». В то же время, особенности фазово-структурных превращений в указанных чугунах, включая и данные об интервалах фазовых переходов, остаются практически неизученными, что требует проведения дополнительных исследований.

Цель

Целью данной работы является определение температурного интервала фазового превращения «перлит \rightarrow аустенит» в V-Cr-Mn-Ni чугунах со сфероидизированными карбидами ванадия, а также оценка характера влияния содержания ванадия и хрома на температурные границы этого интервала.

Методика

В работе исследовали белые V-Cr-Mn-Ni чугуны со сфероидизированными карбидами ванадия девяти вариантов химического состава. Чугуны выплавляли в лабораторной двадцатикилограммовой индукционной печи и разливали в песчаные формы. Все сплавы содержали 3,0–3,3 % C, ~ 1,0 % Si, 1,5–1,7 % Ni, 4,0–4,4 % Mn. Варьировали содержание ванадия – от 5 до 10 % и хрома – от 0 до 9 % (табл. 1). В процессе выплавки чугуны обрабатывали лигатурой, содержащей 5,68 % Mg, остальное – Ni, для сфероидизации карбидов ванадия. После выбивки из формы из слитков вырезали с помощью электроискровой обработки образцы, которые шлифовали в нужный размер.

Таблица 1

Химический состав опытных сплавов

Table 1

The chemical composition of experimental alloys

| Номер сплава | C | Si | Mn | Ni | V | Cr |
|--------------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 3,23 | 0,99 | 4,02 | 1,56 | 9,87 | 0,01 |
| 2 | 3,00 | 1,07 | 3,92 | 1,60 | 9,14 | 4,37 |
| 3 | 3,10 | 1,05 | 3,99 | 1,71 | 9,49 | 9,10 |
| 4 | 3,33 | 1,02 | 4,41 | 1,51 | 7,42 | 0,01 |
| 5 | 3,11 | 1,05 | 4,12 | 1,59 | 7,34 | 4,32 |
| 6 | 3,11 | 0,98 | 4,11 | 1,59 | 7,50 | 9,08 |
| 7 | 3,39 | 1,04 | 4,24 | 1,71 | 5,22 | 0,03 |
| 8 | 3,31 | 1,08 | 4,14 | 1,53 | 5,28 | 4,60 |
| 9 | 3,26 | 1,09 | 3,97 | 1,59 | 5,27 | 9,10 |

Температурный интервал превращения «перлит \rightarrow аустенит» находили с помощью оптического dilatометра на образцах диаметром 2 мм и длиной 20 мм. Скорость нагрева составляла 0,5 °C/с. Использовали литые образцы чугунов, содержащих не более 4,5 % Cr, в их структуре присутствовала α -фаза в виде мартенсита и перлита. Чугуны с 9 % Cr имели в литом состоянии аустенитную матрицу, поэтому их предварительно подвергали выдержке при 650 °C в течение 6 ч для превращения аустенита в перлит.

Микроструктуру изучали с помощью оптического микроскопа «Nikon Eclipse L150». Фазовый химический состав исследовали с помощью энергодисперсионного спектрометра фирмы «Oxford Instruments», встроенного в электронный микроскоп JEOL JSM-6510.

Результаты

Металлографический анализ показал, что все исследованные чугуны имели в своей структуре сфероидизированные включения карбидов ванадия, относительно равномерно распределенных в объеме сплавов (рис. 1, а). Эвтектика на базе карбида VC не была выявлена ни в одном из сплавов. Помимо карбидов ванадия в хромсодержащих чугунах присутствовала эвтектика на базе карбидов хрома Me_7C_3 (рис. 1, б).

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

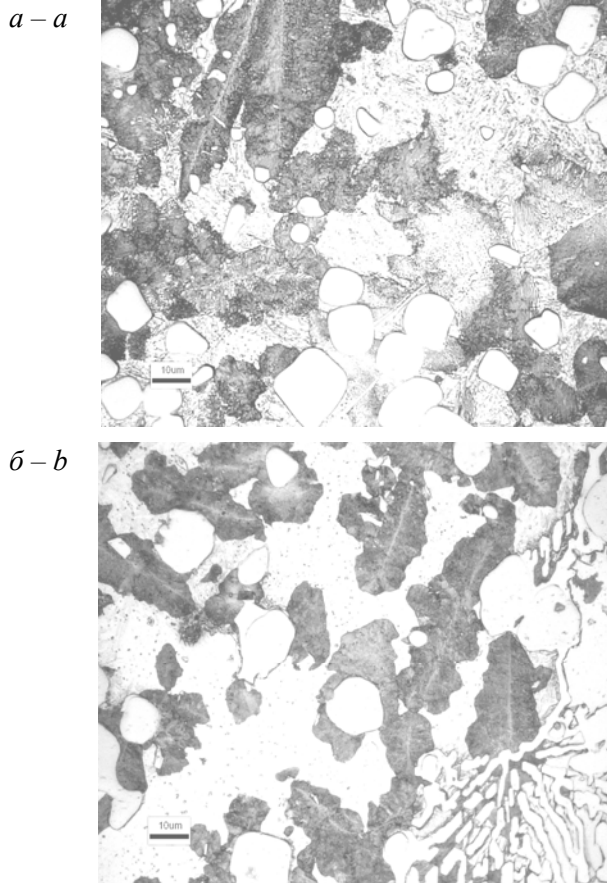


Рис. 1. Микроструктура чугунов № 1 (а), № 5 (б)

Fig. 1. Microstructure of cast irons № 1 (a), № 5 (b)

Результаты дилатометрических исследований представлены на рис. 2.

Как следует из этого рисунка, в процессе нагрева до $\sim 700^\circ\text{C}$ фиксировали монотонное увеличение длины образцов, связанное с их термическим расширением. При более высоких температурах на дилатометрических кривых нагрева всех чугунов был выявлен участок, на котором происходило либо замедление удлинения образцов, либо их укорачивание, что указывало на протекание $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения, идущего с уменьшением объема. Таким образом, выявленный участок фактически указывал на положение критической точки Ac_1 . По перегибам на кривых были определены температурные интервалы критической точки, т.е. ее нижняя ($Ac_{1н}$) и верхняя ($Ac_{1в}$) границы.

Анализ кривых показал, что в зависимости от легирования интервал превращения изменяется от $710\text{--}780^\circ\text{C}$ ($Ac_{1н}$) до $730\text{--}850^\circ\text{C}$ ($Ac_{1в}$) (табл. 2).

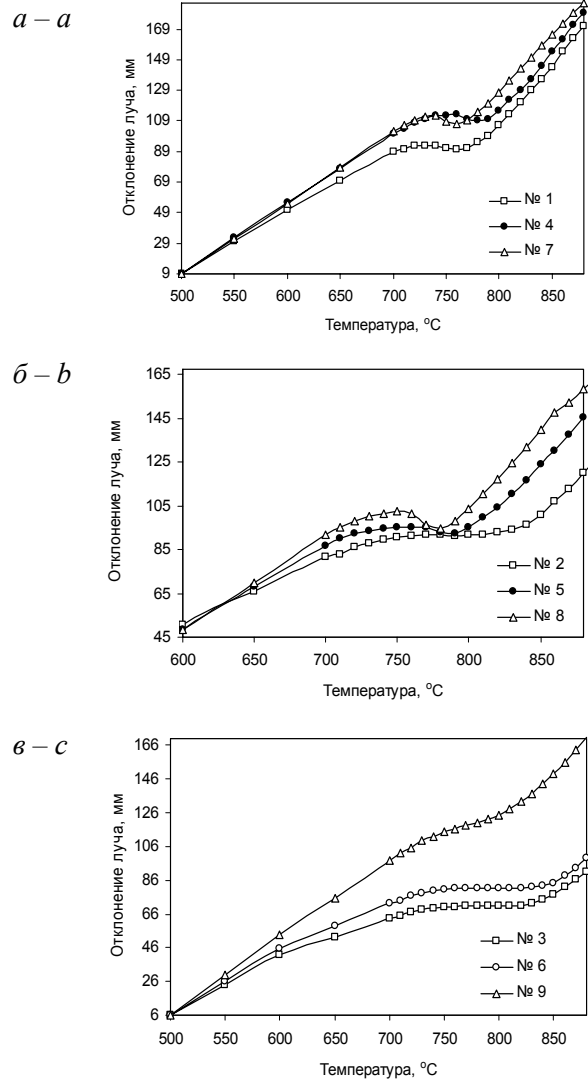


Рис. 2. Дилатометрические кривые нагрева исследованных чугунов:

a – без хрома; *б* – содержащих 4,5 % Cr; *в* – 9 % Cr

Fig. 2. Dilatometric heating curves of studied cast irons:

a – Cr-free, *b* – bearing 4.5 % Cr, *c* – bearing 9 % Cr

Таблица 2

Температуры $Ac_{1н}$ и $Ac_{1в}$ в исследованных чугунах

Table 2

Temperature $Ac_{1н}$ and $Ac_{1в}$ in the studied cast irons

| $t, ^\circ\text{C}$ | Номер сплава | | | | | | | | |
|---------------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| $Ac_{1н}$ | 710 | 710 | 720 | 720 | 720 | 730 | 710 | 710 | 720 |
| $Ac_{1в}$ | 780 | 840 | 840 | 780 | 810 | 850 | 780 | 790 | 820 |

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

С целью построения математической модели влияния ванадия и хрома на температурный интервал превращения экспериментальные данные были подвергнуты регрессионной обработке с помощью табличного процессора MS Excel. Полученные регрессионные уравнения имеют следующий вид:

$$Ac_{1H} = 711,5 + 0,93 [\% Cr] + 0,02 [\% V] + 0,023 [\% Cr] [\% V], \quad (1)$$

$$Ac_{1B} = 667,8 + 4,86 [\% Cr] + 29,08 [\% V] + 0,50 [\% Cr] [\% V] - 0,27 [\% Cr]^2 - 1,75 [\% V]^2, \quad (2)$$

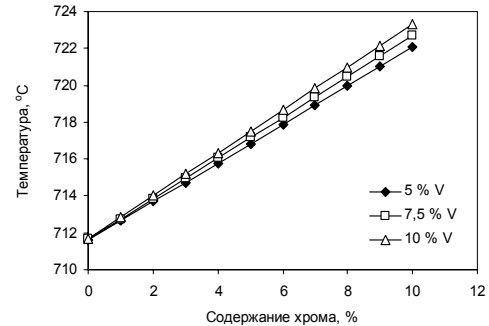
где $[\% Cr]$, $[\% V]$ – содержание хрома и ванадия, масс. %, соответственно.

Уравнения включают статистически значимые коэффициенты регрессии. Достоверность уравнений подтверждается высокими значениями коэффициента детерминации: $R^2 = 0,88$ – для уравнения (1) и $R^2 = 0,97$ – для уравнения (2). Графическое изображение уравнения (1) представлено на рис. 3. Из этого рисунка следует, что хром повышает как Ac_{1H} , так и Ac_{1B} , причем в большей степени – температуру окончания $P \rightarrow A$ превращения. Влияние хрома на температурный интервал превращения возрастает с увеличением содержания ванадия в сплаве. Особенно заметен рост Ac_{1B} в чугунах с 7,5–10 % V: температура окончания превращения под влиянием хрома повышается от 780–790 °C до 845–855 °C. Такое влияние хрома связано с его ферритообразующей способностью, проявляющейся в сужении области существования аустенита (в том числе – и за счет повышения нижней температурной границы существования γ -фазы) [1, 3]. Ванадий активнее хрома связывает углерод в специальные карбиды, поэтому повышение содержания ванадия снижает количество углерода, которое может быть связано хромом в карбиды Me_7C_3 , следовательно, больше хрома остается в металлической матрице, влияя на положение критической точки.

Подтверждением этому являются результаты фазового химического анализа металлической матрицы (аустенита) чугунов, показанные на рис. 4. Видно, что концентрация хрома в аустените монотонно возрастает по мере увеличения общего содержания ванадия в сплаве: с 3,14 до 4,64 % – в сплавах с 4,5 % Cr и с 5,21 до 7,01 % – в спла-

вах с 9 % Cr. Таким образом, ванадий усиливает влияние хрома на повышение точки Ac_1 .

a – a



б – б

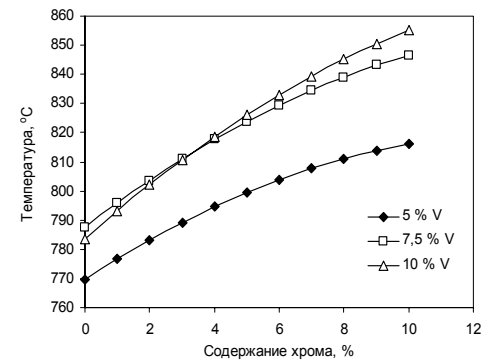


Рис. 3. Влияние хрома на температуру нижней (а) и верхней (б) границы интервала $P \rightarrow A$ превращения в исследованных чугунах с различной концентрацией ванадия

Fig. 3. Influence of chromium on the temperature of lower (a) and higher (b) limits of interval of $P \rightarrow A$ transformation in cast irons with different concentration of V

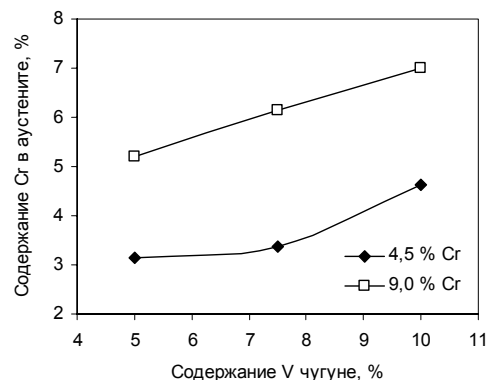


Рис. 4. Влияние общего содержания ванадия в чугунах, легированных 4,5 и 9,0 % Cr, на содержание хрома в аустените (данные EDS-анализа)

Fig. 4. Influence of V content in cast irons, alloyed by 4.5 and 9.0 % Cr, on concentration of chromium in austenite (data of EDS-analyze)

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Графическое изображение выражения (2) показано на рис. 5. Его анализ показывает, что в отличие от хрома, ванадий практически не влияет на температуру начала превращения (рис. 5, а), однако повышает температуру окончания превращения (рис. 5, б) по мере увеличения его концентрации от 5 до 7,5 %; при дальнейшем повышении содержания ванадия рост Ac_{1b} замедляется (при 9 % Cr), либо сменяется стабилизацией (при 0–4,5 % Cr).

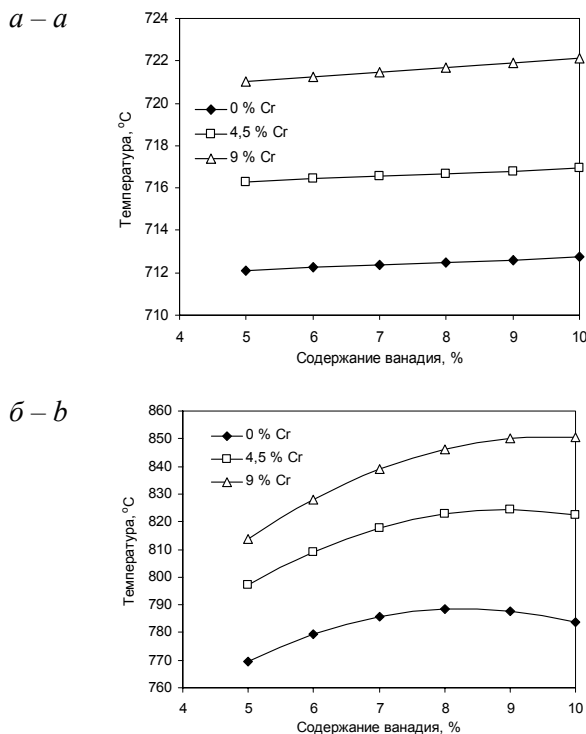


Рис. 5. Влияние ванадия на температуру нижней (а) и верхней (б) границы интервала П→А превращения в исследованных чугунах различной концентрации хрома

Fig. 5. Influence of on the temperature of lower (a) and higher (b) limits of interval of P→A transformation in cast irons with different concentration of Cr

Ванадий, как и хром, относится к феррито-образующим элементам, расширяющим область существования α -фазы и сужающим аустенитную область. Отсутствие влияния ванадия на Ac_{1b} объясняется его малой концентрацией в матрице: как следует из рис. 6, даже в чугуне с 10 % V содержание данного элемента в аустените достигает лишь 1,75 %. Несмотря на это, ванадий повышает Ac_{1b} (рис. 5, б). Такое влияние ванадия предположительно свя-

зано с ростом содержания хрома в матрице (перлите), приводящем к легированию эвтектоидных карбидов хромом, что затрудняет их растворение при П→А превращении, сдвигая Ac_{1b} вверх по температурной шкале. Таким образом, ванадий влияет на точку Ac_1 опосредованно через изменение концентрации хрома в металлической матрице.

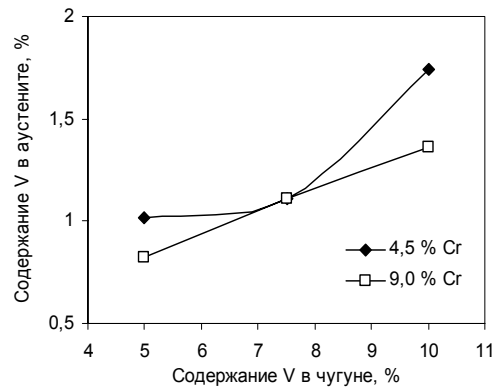


Рис. 6. Влияние общего содержания ванадия в чугунах, легированных 4,5 и 9,0 % Cr, на концентрацию ванадия в аустените (данные EDS-анализа)

Fig. 6. Influence of V content in cast irons, alloyed by 4.5 and 9.0 % Cr, on concentration of V in austenite (data of EDS-analyze)

Представленные данные показали, что для завершения П→А превращения и для получения аустенитной структуры температура нагрева исследованных чугунов под закалку должна превышать 815 °C при 5 % V, 845 °C – при 7,5 % V и 855 °C – при 10 % V. Это было подтверждено поведением закалки с нагревом до названных температурных областей. Во всех случаях в структуре сплавов отсутствовала перлитная составляющая, матрица была представлена смесью мартенсита и остаточного аустенита.

Научная новизна и практическая значимость

Показано, что в белых комплексно-легированных V-Cr-Mn-Ni чугунах со сфероидизированными карбидами ванадия, содержащими 5–10 % V и до 9 % Cr, рост содержания хрома приводит к повышению нижней и верхней границ температурного интервала превращения «перлит → аустенит»; при 9 % Cr верхняя граница достигает 845–855 °C. Влияние ванадия

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

проявляється лише в підвищенні верхньої границі інтервала.

Установлено, що вплив хрому на критическу точку A_{c1} реалізується завдяки його розчиненню в металічеській матриці (концентрація Cr в аустеніті досягає 7 %); ванадій, ввиду його незначительного розчинення в матриці, впливає на критическу точку опосередовано, за рахунок збільшення концентрації хрому в матриці внаслідок більш активної зв'язування вуглецю в карбіди VC, а не в карбіди хрому.

Получені регресійні вирази, описуючі вплив ванадію і хрому на температурні границі превращення «перліт → аустеніт» в досліджуваних чугунах.

Выводы

1. Показано, що в білих комплексно-легірованих V-Cr-Mn-Ni чугунах з сфероїдизованими карбідами ванадію, що містять 5–10 % V і до 9 % Cr, критическа точка A_{c1} , що відповідає фазово-структурному переходу «перліт → аустеніт», знаходиться в температурному інтервалі від 710–780 °C (нижня границя) до 730–850 °C (верхня границя).

2. Концентрація хрому в металічеській матриці чугунів складає 3,14–7,01 %, збільшуючись по мірі підвищення загального вмісту хрому і ванадію в сплавах. Концентрація ванадію в матриці не перевищує 1,75 %.

3. Установлено, що хром підвищує нижню і верхню границі превращення «перліт → аустеніт» в досліджуваних чугунах; ванадій підвищує лише верхню границю, практично не впливаючи на нижню границю.

4. Досліджені чугуни рекомендується нагрівати під закалку до температур, що перевищують 815 °C при 5 % V, 845 °C – при 7,5 % V і 855 °C – при 10 % V.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вакуленко, И. А. Морфология структуры и деформационное упрочнение стали / И. А. Вакуленко, В. И. Большаков. – Днепропетровск : Маковецкий, 2008. – 196 с.
2. Влияние структуры белых хромованадиевых чугунов на их износостойкость / Г. И. Сильман, Е. А. Памфилов, С. С. Грядунов [и др.] // Ме-

- талловедение и терм. обработка металлов. – 2007. – № 8. – С. 32–35.
3. Жуков, А. А. Износостойкие отливки из комплексно-легированных белых чугунов / А. А. Жуков, Г. И. Сильман, М. С. Фрольцов. – Москва : Машиностроение, 1984. – 104 с.
4. К выбору технологической схемы смягчающей термической обработки высокохромистого чугуна / В. Г. Ефременко, Ю. Г. Чабак, К. Шимидзу [и др.] // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 2 (50). – С. 103–110.
5. Цыпин, И. И. Белые износостойкие чугуны / И. И. Цыпин. – Москва : Металлургия, 1983. – 176 с.
6. Цыпин, И. И. Белые износостойкие чугуны – эволюция и перспективы / И. И. Цыпин // Литейное пр-во. – 2000. – № 9. – С. 15–16.
7. Чабак, Ю. Г. Структурные изменения в комплекснолегированном белом чугуне при дестабилизирующем нагреве / Ю. Г. Чабак, В. Г. Ефременко, Р. Р. Станишевский // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 38. – С. 229–232.
8. Чейлях, А. П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие технологии / А. П. Чейлях. – Харьков : ННЦ ХФТИ, 2003. – 212 с.
9. Chaochang, W. Formation of Spheroidal Carbide in Vanadium White Cast Iron by RE Modification / W. Chaochang, H. T. Hsu, M. Qian // Material Science Technology. – 1990. – Vol. 6. – P. 905–910. doi: 10.1179/mst.1990.6.9.905.
10. DeMello, J. D. B. Solidification and solid state transformations during cooling of chromium-molybdenum white cast irons / J. D. B. DeMello, M. Duran-Charre, S. Hamar-Thibault // Metallurgical Transactions A. – 1983. – Vol. 9, № 14. – P. 793–801. doi: 10.1007/bf02645549.
11. Erosive Wear Characteristics of Spheroidal Carbides Cast Iron / Y. Xinba, K. Shimizu, H. Matsumoto [et al.] // Wear. – 2008. – Vol. 264. – P. 247–257. doi: 10.1016/j.wear.2007.07.002.
12. Erosive Wear Properties of High V-Cr-Ni Stainless Spheroidal Carbides Cast Iron at High Temperature / K. Shimizu, T. Naruse, Y. Xinba [et al.] // Wear. – 2009. – Vol. 267. – P. 104–109. doi: 10.1016/j.wear.2008.12.086.
13. High Temperature Erosion Behavior of High V-Cr-Ni Spheroidal Carbides Cast Iron / K. Shimizu, T. Naruse, Y. Xinba [et al.] // Key Engineering Materials. – 2011. – Vol. 457. – P. 255–260. doi: 10.4028/www.scientific.net/kem.457.255.
14. Phase diagram calculation of high chromium cast irons and influence of its chemical composition / D. Li, L. Liu, Yu. Zhang [et al.] // Materials and

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

- Design. – 2009. – № 30. – P. 340–345. doi: 10.1016/j.matdes.2008.04.061.
15. Shigenori, N. Influence of Mg-Treatment Condition on Morphology of Vanadium-Carbide in Stainless Spheroidal Carbide Cast Iron / N. Shigenori, K. Tadasi, M. Hideto // J. of Japan Foundry Engineering Society. – 2008. – Vol. 80 (1). – P. 3–7.
16. Wear Characteristics of Spheroidal Carbides Cast Irons in Uniaxial Rotary Glass Shredder / N. Yoneta, K. Shimizu, H. Hara [et al.] // Key Engineering Materials. – 2011. – Vol. 457. – P. 249–254. doi: 10.4028/www.scientific.net/kem.457.249.

Т. В. ПАСТУХОВА¹, В. Г. ЄФРЕМЕНКО^{2*}, О. П. ЧЕЙЛЯХ³, К. ШИМІДЗУ⁴,
Ю. Г. ЧАБАК⁵

¹Каф. «Металознавство та термічна обробка металів», Приазовський державний технічний університет, вул. Університетська, 7, Маріуполь, Україна, 87500, тел. +38 (0629) 44 65 20, ел. пошта kozarevskaya89@mail.ru, ORCID 0000-0002-0352-9220

^{2*}Каф. «Фізика», Приазовський державний технічний університет, вул. Університетська, 7, Маріуполь, Україна, 87500, тел. +38 (0629) 44 61 31, ел. пошта vgefremenko@rambler.ru, ORCID 0000-0002-4537-6939

³Каф. «Металознавство та термічна обробка металів», Приазовський державний технічний університет, вул. Університетська, 7, Маріуполь, Україна, 87500, тел. +38 (0629) 44 61 31, ел. пошта cheylyakh_o_p@pstu.edu, ORCID 0000-0003-0805-0443

⁴Муроранський технологічний інститут, вул. Мізумото-чо, 27, Муроран, Хоккайдо, Японія, 050-8585, тел. +81-143465651, ел. пошта shimizu@murogan-ac.jp

⁵Каф. «Фізика», Приазовський державний технічний університет, вул. Університетська, 7, Маріуполь, Україна, 87500, тел. +38 (0629) 44 61 31, ел. пошта julia.chabak@yandex.ua ORCID 0000-0003-4913-2680

ВПЛИВ ЛЕГУВАННЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПЕРЕТВОРЕННЯ «ПЕРЛИТ → АУСТЕНИТ» У КОМПЛЕКСНО-ЛЕГОВАНИХ БІЛИХ ЧАВУНАХ

Мета. У структурі зносостійких сталей та чавунів не допускається присутності перліту. Запобігання виникненню перліту шляхом грамотного вибору режиму гартування передбачає знання температури критичних точок A_{c1} і A_{c3} для конкретних сталей і чавунів. Метою роботи є визначення впливу V (від 5 до 10 %) і Cr (від 0 до 9 %) на температурний інтервал фазово-структурного переходу «перліт → аустеніт» у комплексно-легованих білих V-Cr-Mn-Ni чавунах зі сфероїдизованими карбідами ванадію. **Методика.** Використано чавуни дев'яти різних складів, які було виплавлено в лабораторних умовах та піддано модифікуванню Mg-вміщуючою лігатурою. В роботі використано металографічний метод аналізу, оптична дилатометрія, енергодисперсійна спектроскопія. **Результати.** Показано, що в досліджених чавунах критична точка A_{c1} знаходиться в температурному інтервалі від 710–780 °C (нижня межа) до 730–850 °C (верхня межа). Представлено дані по концентрації хрому та ванадію в матриці чавунів, отримано регресійні вирази, що описують вплив ванадію та хрому на температурні межі перетворення «перліт → аустеніт». **Наукова новизна.** Показано, що в досліджених чавунах зростання вмісту хрому призводить до підвищення нижньої та верхньої меж температурного інтервалу перетворення «перліт → аустеніт»; ванадій підвищує лише верхню межу інтервалу. Встановлено, що вплив хрому на критичну точку A_{c1} реалізується завдяки його розчиненню в металевій матриці (концентрація Cr в аустеніті досягає 7,0 %). Ванадій, зважаючи на його незначне розчинення в матриці (вміст ванадію в твердому розчині не перевищує 1,75 %), впливає на критичну точку опосередковано, за рахунок збільшення концентрації хрому в матриці внаслідок більш активного зв'язування вуглецю в карбіди VC. **Практична значимість.** Запропоновано температурні інтервали нагріву під загартування білих V-Cr-Mn-Ni чавунів зі сфероїдизованими карбідами ванадію, щоб забезпечити отримання аустенітно-мартенситної матриці за повної відсутності перліту в структурі.

Ключові слова: комплексно-леговані чавуни; критична точка; хром; ванадій; карбіди ванадію; перліт; аустеніт; фазовий перехід

T. V. PASTUKHOVA¹, V. G. EFREMENKO^{2*}, A. P. CHEILIAKH³, K. SHIMIZU⁴,
YU. G. CHABAK⁵

¹Dep. «Metal Science and Heat Treatment of Metals», Pryazovsk State Technical University, Universytetska St., 7, Mariupol, Ukraine, 87500, tel. +38 (0629) 44 65 20, e-mail kozarevskaya89@mail.ru, ORCID 0000-0002-0352-9220

^{2*}Dep. «Physics», Pryazovsk State Technical University, Universytetska St., 7, Mariupol, Ukraine, 87500, tel. +38 (0629) 44 61 31, e-mail vgefremenko@rambler.ru, ORCID 0000-0002-4537-6939

³Dep. «Metal Science and Heat Treatment of Metals», Pryazovsk State Technical University», Universytetska St., 7, Mariupol, Ukraine, 87500, tel. +38 (0629) 44 61 31, e-mail cheilyakh_o_p@pstu.edu, ORCID 0000-0003-0805-0443

⁴Muroran Institute of Technology, Mizumoto-cho, 27, Muroran, Hokkaido, Japan 050-8585, tel. +81-143465651, e-mail shimizu@muroran-ac.jp

⁵Dep. «Physics», Pryazovsk State Technical University, Universytetska St., 7, Mariupol, Ukraine, 87500, tel. +38 (0629) 44 61 31, e-mail julia.chabak@yandex.ua, ORCID 0000-0003-4913-2680

EFFECT OF ALLOYING ON TEMPERATURE OF TRANSFORMATION «PEARLITE→AUSTENITE» IN COMPLEX-ALLOYED WHITE CAST IRONS

Purpose. Pearlite is not accepted in the microstructure of wear resistant steels and cast irons. To prevent the pearlite by means of appropriate selection of mode of quenching requires the knowledge of the temperature of the critical points Ac_1 and Ac_3 for various steels and cast irons. Purpose of work is determine the effect of V (5-10%) and Cr (up to 9%) on the temperature range of the phase-structural transformation "pearlite→austenite in the complex-alloyed V-Cr-Mn-Ni white cast irons with spheroidal vanadium carbides. **Methodology.** Nine Mg-treated cast irons smelted in laboratory furnace were used for investigation. The metallographic and optical dilatometric analysis methods as well as energy-dispersive spectroscopy were used. **Findings.** It is shown that in irons studied the critical point Ac_1 is in a temperature range from 710-780 °C (lower limit) up to 730-850 °C (upper limit). The data on the concentrations of chromium and vanadium in a matrix of iron are presented, the regression equation describing the effect of vanadium and chromium on the temperature limits of the transformation «pearlite → austenite» are obtained. **Originality.** It is shown that increase the chromium content leads to growth of lower and upper limits of the temperature interval of transformation "pearlite → austenite"; vanadium increases only the upper limit of the range. It was found that the effect of chromium on the critical point Ac_1 is attributed to its solubility in the metallic matrix (concentration of Cr in the austenite reaches 7%); vanadium, due to its slight dissolution in the matrix (vanadium content does not exceed 1.75%), affects the critical point indirectly by increasing of chromium concentration in the matrix due to enhanced carbon sequestration in VC carbides. **Practical value.** The temperature ranges of heating for quenching of V-Cr-Mn-Ni cast irons with spheroidal vanadium carbides, which provides the formation of austenitic-martensitic matrix without pearlite, is transformation proposed.

Keywords: complex-alloyed cast iron; the critical point; chromium; vanadium; vanadium carbides; pearlite; austenite; phase transformation

REFERENCES

1. Vakulenko I.A., Bolshakov V.I. *Morfologiya struktury i deformatsionnoye uprochneniye stali* [The morphology and structure of work hardening steel]. Dnipropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2008. 196 p.
2. Silman G.I., Pamfilov Ya.A., Gryadunov S.S. Vliyaniye struktury belykh khromovanadiyevykh chugunov na ikh iznosostoykost [The effect of structure of white chromium-vanadium cast irons on their wear resistance]. *Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov – Metal Science and Heat Treatment of Metals*, 2007, no. 8, pp. 32-35.
3. Zhukov A.A., Silman G.I., Frolov M.S. *Iznosostoykiye otlivki iz kompleksno-legirovannykh belykh chugunov* [Wear resistant foundry out of complex-alloyed white cast irons]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1984. 104 p.
4. Efremenko V.G., Chabak Yu. G., K. Shimizu. K vyboru tekhnologicheskoy skhemy smyagchayushchey termicheskoy obrabotki vysokokhromistogo chuguna [About the choice of technological mode of softening heat treatment of high chromium cast iron]. *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. 103-110.
5. Tsylin I.I. *Belyye iznosostoykiye chuguny* [Wear resistant white cast irons]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1983. 176 p.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

6. Tsypin I.I. *Belyye iznosostoykiye chuguny – evolyutsiya i perspektivy* [Wear resistant white cast irons – Evolution and Prospects]. *Liteynoye proizvodstvo – Foundry*, 2000, no. 9, pp. 15-16.
7. Chabak Yu.G., Efremenko V.G., Stanishevskiy R.R. *Strukturnyye izmeneniya v kompleksnolegirovannom belom chugune pri destabiliziruyushchem nagreve* [Structural changes in the complex-doped white iron at destabilizing heating]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 38, pp. 229-232.
8. Cheylyakh A.P. *Ekonomnolegirovannyye metastabilnyye splavy i uprochnyayushchiye tekhnologii* [Economic metastable alloys and hardening technology]. Kharkov, NNTs KhFTI Publ., 2003. 212 p.
9. Chaochang W., Hsu H.T., Qian M. Formation of Spheroidal Carbide in Vanadium White Cast Iron by RE Modification. *Material Science Technology*, 1990, vol. 6, pp. 905-910. doi: 10.1179/mst.1990.6.9.905.
10. De Mello J.D.B., Duran-Charre M., Hamar-Thibault S. Solidification and solid state transformations during cooling of chromium-molybdenum white cast irons. *Metallurgical Transactions A*, 1983, vol. 9, no. 14, pp. 793-801. doi: 10.1007/bf02645549.
11. Xinba Y., Shimizu K., Matsumoto H., Kitsudo T., Momono T. Erosive Wear Characteristics of Spheroidal Carbides Cast Iron. *Wear*, 2008, vol. 264, pp. 247-257. doi: 10.1016/j.wear.2007.07.002.
12. Shimizu K., Naruse T., Xinba Y., Kimura K., Minami K., Matsumoto H. Erosive wear Properties of High V-Cr-Ni Stainless Spheroidal Carbides Cast Iron at High Temperature. *Wear*, 2009, vol. 267, pp. 104-109. doi: 10.1016/j.wear.2008.12.086.
13. Shimizu K., Naruse T., Xinba Y., Teramachi H., Araya S. Ishida M. High Temperature Erosion Behaviors of High V-Cr-Ni Spheroidal Carbides Cast Iron. *Key Engineering Materials*, 2011, vol. 457, pp. 255-260.
14. Li D., Liu L., Zhang Yu. Phase diagram calculation of high chromium cast irons and influence of its chemical composition. *Materials and Design*, 2009, vol. 30, pp. 340-345. doi: 10.1016/j.matdes.2008.04.061.
15. Shigenori N., Tadasi K., Hideto M. Influence of Mg-Treatment Condition on Morphology of Vanadium-Carbide in Stainless Spheroidal Carbide Cast Iron. *Journal of Japan Foundry Engineering Society*, 2008, vol. 80 (1), pp. 3-7.
16. Yoneta N., Shimizu K., Hara H., Tanaka M., Nawa Y. Wear Characteristics of Spheroidal Carbides Cast Irons in Uniaxial Rotary Glass Shredder. *Key Engineering Materials*, 2011, vol. 457, pp. 249-254. doi: 10.4028/www.scientific.net/kem.457.249.

Статья рекомендована к публикации д.т.н, проф. В. А. Масловым (Украина); д.т.н., проф. И. А. Вакуленко (Україна)

Поступила в редколлегию 03.10.2014

Принята к печати 23.11.2014

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

UDC 519.71:330.322.54

Z. M. GASANOV^{1*}

^{1*}Dep. «Applied Mathematics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 36, e-mail zakariya@ukr.net, ORCID 0000-0002-2312-8053

ABOUT OPTIMIZING OF INVESTMENTS VOLUME TO IMPROVE THE BASIC INDICATORS OF THE ENTERPRISE EFFECTIVENESS

Purpose. Profit and profitability of any, including transport enterprises are the main economic indicators of the enterprise effectiveness. These indicators reflect the results and successful performance of the enterprise. On the other hand the enterprise effectiveness in the long term, assurance of rapid development and competitiveness is largely determined by the level of investment activity and the range of investment activity. The purpose of this study is the feasibility of the method to determine optimal investments volume for improving these or others (selectable by the management) principal economic indicators of the enterprise effectiveness. **Methodology.** The basis of the proposed methodology for determining the optimal investments volume is the theory of optimal control, in particular, the procedure of dynamic programming since a managed development process of the enterprise is a multiple stage. This procedure, using a phased plan, allows not only simplifying the solution of optimization problems, but also solving those, which are impossible to apply the methods of mathematical analysis. **Findings.** The expediency of performing the calculations to determine the optimal investments volume to ensure high rates of enterprise development was proved, it is a key to the effectiveness of the enterprise in the long term and it improves its competitiveness. **Originality.** It is shown that using methods of the optimum control theory one can calculate the minimum volume of capital investments for the improvement of economic indicators, which determine the enterprise effectiveness. The proposed method of calculation does not depend on the specific content of economic indicators. The effectiveness of this calculation method is demonstrated on a model example. **Practical value.** The proposed method of calculating the minimum volume of capital investments to improve the economic effectiveness of enterprises is quite simple, but at the same time enables, on the one hand, to determine priority directions of investment activity of the enterprise. On the other hand it improves the manageability and transparency of business enterprises, increases the head's confidence in the correctness of decisions.

Keywords: income; profitability; economic indicators; efficiency; optimal volume of investments; optimization; competitiveness; controllability; dynamic programming

Introduction

Income and profitability of any, including transport [5–7] enterprise are the main economic indicators of enterprise effectiveness. These indicators reflect the results and successful performance of the enterprise. They will help determine the viability of the realizable business-project and to correlate values of benefits and costs [10]. On the

other hand the enterprises effectiveness in the long-term prospects, assurance a high rate of development and increasing competitiveness is largely determined by its level and range of investment activity.

The volume of investments depends on many factors. For example, volume of investments depends on the distribution of the earned incomes on

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

consumption and savings. With low per capita incomes most of them are spent on consumption. Revenue growth causes an increase in their share allocated to savings, which are a source of investment resources. Consequently, the share increase of savings causes corresponding increase in the volume of investment and vice versa. Also the expected net profit margin has significant influence on the volume of investments. This is due to the fact that profit is the main motive of investments. The higher expected net profit margin the higher volume of investments will be and vice versa [4, 6, 11].

As it is known [1–3], before the investment one should perform a range of activities to substantiate the effectiveness of investments at the enterprise, called the investment project. Preparation of an investment project is a long and sometimes very expensive process consisting of series of acts and stages.

The main purpose of the investment project, as a rule, is increase the net income and profitability, therefore increasing the efficiency of the enterprise performance to the desired level. Consequently, one of the stages of its preparation may be determining the optimal (minimum) volume of investments. This object can be effectively solved by the methods of optimal management theory. Examples of these methods application in economics are presented in papers [13, 14].

Purpose

In this paper we present a method for calculating the minimum volume of investments to achieve the desired values P_k – net income and R_k – profitability of the enterprise. It is assumed that the costs are known $a_{i \rightarrow i+1, j}$, $b_{i, j \rightarrow j+1}$, $c_{i \rightarrow i+1, j \rightarrow j+1}$ at the change-over from the level (P_i, R_j) magnitudes of income and profitability up to levels (P_{i+1}, R_j) , (P_i, R_{j+1}) and (P_{i+1}, R_{j+1}) correspondingly, where $P_i < P_{i+1}$, $R_j < R_{j+1}$, $i = 0, 1, \dots, N_k$, $j = 0, 1, \dots, M_k$ – numbers of steps calculations, and a step of calculation are month, quarter or a year. These costs may be calculated by using the discounting method, i.e. reduction of nonsimultaneous incomes and expenses, carried out within the framework of investment project to the single (base) moment in time [6, 10]. All calculations are carried out in basis, anticipated and in the setting prices.

Methodology

The proposed methodology is a dynamic programming procedure [8, 9]. This procedure, using a phased plan, not only let simplify the solution of optimization problems, but also solve those of them to which it is impossible to apply the methods of mathematical analysis.

Accordingly to this procedure, the process of decision-making concerning investments begins from the last k -step. On this step one choose the solution that allows obtaining the greatest effect (reaching the final level (P_k, R_k) for a minimum volume of investment). Having planned this step, it can be attached to the penultimate $(k-1)$ step, which in turn, $(k-2)$ and so on.

In order to plan k -step, one should know the level (P, R) of the enterprise on $(k-1)$ -step. If the level (P, R) of the enterprise on $(k-1)$ -step is unknown, then one consider the various levels at this step. For each possible level is selected so-called conditionally optimal solution on the last, k -step.

Let us plan k -step-by-step investment process and $(P_{k-1,1}, R_{k-1,1})$, $(P_{k-1,2}, R_{k-1,2})$, ..., $(P_{k-1,r}, R_{k-1,r})$ – possible levels on $(k-1)$ -step. On the last step we will find conditionally optimal solution for each of them. Thus, k -step has been planned. Really, whatever level (P, R) on the penultimate step was, we already know what solution should be applied on the last step. We proceed similarly to $(k-1)$ -step, only conditionally optimal solutions should be chosen, taking into account already selected suboptimal solutions on k -step and so on. As a result, we are on the original level (P_0, R_0) of net income and profitability.

For the first step of assumptions about the possible level (P, R) we do not do, as the level (P_0, R_0) is known, but we find the optimal solution, taking into account all conditionally optimal solutions, which have been found for the second step. When passing from (P_0, R_0) to (P_k, R_k) , we obtain the desired optimal solution that provides minimum volume of investments and their best distribution on the steps of calculating.

Findings

As we have defined the performance level of the enterprise with two parameters (P, R) , then

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

the optimal solution is convenient to search with the geometric method on the plane POR , or rather on bounded with lines $P = P_0$, $P = P_k$, $R = R_0$, $R = R_k$ of rectangle, which is the domain of acceptable levels. Initial (P_0, R_0) and final (P_k, R_k) levels are well defined as two points of the plane (Fig. 1).

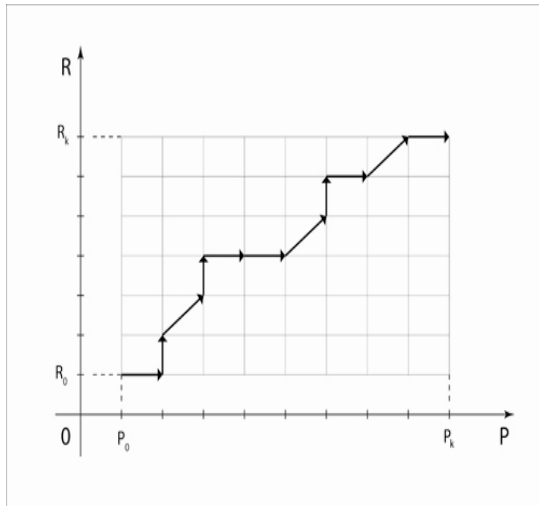


Fig. 1

On fig. 1 vertical segments show profitability increase at a constant value of income, horizontal segments show income increase at a constant value of profitability, and diagonal segments show simultaneously increase of income and profitability.

It is assumed that in one step one can increase either net income on the amount ΔP , or profitability on the amount ΔR or it is possible simultaneous increase both income and profitability. Here

$$\Delta P = \frac{P_k - P_0}{n_1}, \quad \Delta R = \frac{R_k - R_0}{n_2},$$

where n_1, n_2 – numbers of steps, accordingly, horizontally and vertically. Obviously, there are many trajectories (solutions) that are represented as broken lines (P, R) on which the point can be moved around from (P_0, R_0) to (P_k, R_k) . Thus, from solution set we have to choose the single one that will minimize funds expenses equal to the amount of funds expenses for each stage corresponding to the broken line.

To demonstrate the efficiency of the above mentioned algorithm one should construct an optimal solution for the investment process, shown in Fig. 2.

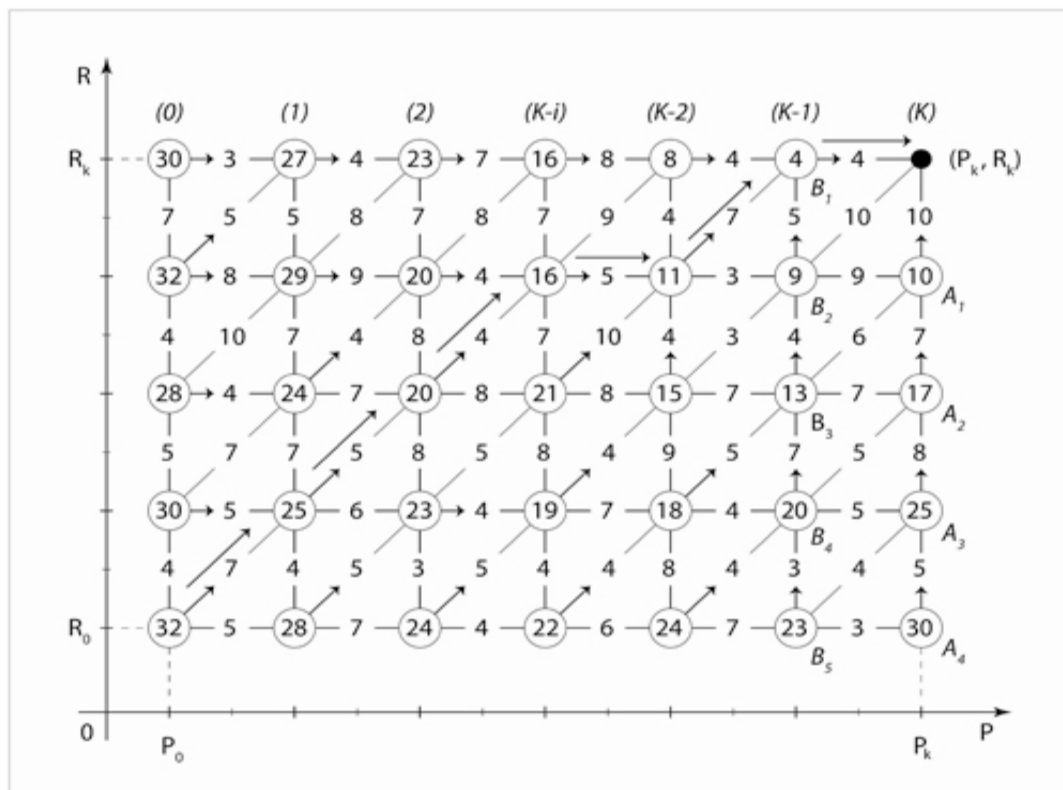


Fig. 2

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Fig. 2. On the horizontal, vertical and diagonal lines are given the model parameters $a_{i \rightarrow i+1, j}$, $b_{i, j \rightarrow j+1}$, $c_{i \rightarrow i+1, j \rightarrow j+1}$.

Suboptimal solutions will be represented by the arrows coming out of circles, and the minimum expenditure of funds will be recorded in circles. If the point (P, R) is on the line k , that pass through the (P_k, R_k) , then one can be moving around only vertically to this point. This is the only solution possible and optimal.

In our case there are four points on the straight line k (A_1, A_2, A_3, A_4), for which a path of motion in (P_k, R_k) vertically is the only thing, and funds expenditure are 10, 17, 25 and 30 units accordingly. On the straight line k point (P, R) may be from points $(B_1, B_2, B_3, B_4, B_5)$ of straight line $k-1$. Considering these points, we choose the conditionally optimal solution for each of them, taking into account conditionally optimal solutions that have been found for points. If the point (P, R) is in the point B_1 as a result of previous step, then single (horizontally) funds expenditure is 4 units.

Three ways are possible from the point B_2 in to the point (P_k, R_k) : through point B_1 and funds expenditure is 9 units; through point A_1 , and funds expenditure is 19 units; diagonally (and funds expenditure is 10 units.). In this case the conditional optimal solution is jump in vertical direction (through the point B_1).

Similarly, we find suboptimal solutions for points B_3, B_4, B_5 . Then subsequently find suboptimal solutions for points on other lines, until we are at a point (P_0, R_0) , for which we establish the optimal solution, therefore, the optimal solution for the entire process. The final optimal solution is shown in Fig. 2 with two parallel arrows. Number 32, standing next to the point (P_0, R_0) , mean minimum funds expenditure for jump from this point in to the point (P_k, R_k) .

Originality and practical value

It is shown that using the theory methods of optimal control one can calculate the minimum volume calculation of capital investments for improving the economic indicators which are determine

the enterprise effectiveness. The proposed method of calculation does not depend on the specific content of economic indicators. The effectiveness of this calculation method is demonstrated on the model example.

Suggested calculation method of minimum volume of capital investments in order to improve the economic indicators of the enterprise effectiveness is quite simple, but at the same time it allows, on the one hand, determining major priorities for investment activity of the enterprise. On the other hand it increases the manageability and transparency of economic activity at the enterprise, enhances the confidence of the head concerning the correctness of decisions.

Conclusions

If for some node point there are several (two or three) conditionally optimal solutions, then they are all marked by arrows, and after that any of them is selected. In these cases, the problem has several solutions, if such nodal points belong to the optimal trajectory.

We should note that the above mentioned calculation algorithm can be applied for any pair of the economic indicators operating efficiency at any enterprise.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Беляков, Г. С. Как оценить экономическую эффективность инвестиционных проектов / Г. С. Беляков // ЭКО. – 2010. – № 6. – С. 121–129.
2. Берлин, А. Механизм инвестиционных решений на промышленном предприятии / А. Берлин, А. Арзамов // Пробл. теории и практики упр. – 2001. – № 1. – С. 80–85.
3. Бирман, Г. Экономический анализ инвестиционных проектов / Г. Бирман, С. Шмидт. – Москва : Банки и биржи : ЮНИТИ, 1997. – 631 с.
4. Вечканов, Г. Инвестиции: объемы, динамика, структура / Г. Вечканов // Экономист. – 2012. – № 3. – С. 16–28.
5. Гайдук, Н. О. Оновлення рухомого складу як пріоритетний напрямок інвестиційної діяльності «Укрзалізниці». / Н. О. Гайдук, О. М. Пшінько // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 35. – С. 219–222.
6. Гитман, Л. Дж. Основы инвестирования / Л. Дж. Гитман, М. Д. Джонк. – Москва : Дело, 1997. – 1008 с.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

7. Кірдіна, О. Г. Інвестиційно-інноваційний розвиток як фактор відтворення економічного потенціалу залізничного транспорту / О. Г. Кірдіна // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 35. – С. 234–240.
8. Кузнецов, Ю. Н. Математическое программирование / Ю. Н. Кузнецов, В. И. Кузубов, А. Б. Волощенко. – Москва : Высш. шк., 1976. – 352 с.
9. Математическая теория оптимальных процессов / Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко. – Москва : Наука, 1976. – 392 с.
10. Скриптунова, Е. А. Основные показатели эффективности предприятия, которые необходимо знать руководителю, чтобы эффективно управлять и видеть истинное положение дел на своем предприятии. / Е. А. Скриптунова // Менеджмент сегодня. – 2003. – № 3. – С. 20–26.
11. Теплова, Т. В. Инвестиции / Т. В. Теплова. – Москва : Юрайт, 2011. – 724 с.
12. Guo, M.-W. Evaluation of profit variable weight of risk investment enterprises financial profit of risk investment projects based on set pair theory / M.-W. Guo // Wuhan Ligong Daxue Xuebao / J. of Wuhan University of Technology. – 2010. – Vol. 32. – Iss. 3. – P. 147–150.
13. Kuhn, D. Stochastic optimization of investment planning problems in the electric power industry / D. Kuhn, P. Pappas, B. Rustem // Process Systems Engineering. – 2011. – Vol. 5 – P. 215–230. doi: 10.1002/9783527631209.ch48
14. Svensson, E. A model for optimization of process integration investments under uncertainty / E. Svensson, A.-B. Strömberg, M. Patriksson // Energy. – 2011. – Vol. 36. – Iss. 5. – P. 2733–2746. doi: 10.1016/j.enpol.2008.10.023.

З. М. ГАСАНОВ^{1*}

^{1*}Каф. «Прикладная математика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 36, эл. почта zakariya@ukr.net, ORCID 0000-0002-2312-8053

ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ОБЪЕМА ИНВЕСТИЦИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

Цель. Прибыль и рентабельность любого, в том числе транспортного, предприятия – это основные экономические показатели эффективности работы предприятия. Эти показатели отражают результаты и успешность работы предприятия. С другой стороны, эффективная деятельность предприятия в долгосрочной перспективе, обеспечение высоких темпов его развития и повышения конкурентоспособности в значительной мере определяются уровнем его инвестиционной активности и диапазоном инвестиционной деятельности. Целью данного исследования является обоснование метода определения оптимального объема инвестиций для улучшения этих или других (выбираемых руководством) основных экономических показателей эффективности работы предприятия. **Методика.** В основе предлагаемой методики определения оптимального объема инвестиций лежит теория оптимального управления, в частности, процедура динамического программирования, так как управляемый процесс развития предприятия является многоэтапным. Данная процедура, используя поэтапное планирование, позволяет не только упростить решение задач оптимизации, но и решить те из них, к которым нельзя применить методы математического анализа. **Результаты.** Обоснована целесообразность проведения расчетов для определения оптимального объема инвестиций с целью обеспечения высоких темпов развития предприятия. Это является залогом эффективности деятельности предприятия в долгосрочной перспективе и повышения его конкурентоспособности. **Научная новизна.** Показано, что с помощью методов теории оптимального управления можно произвести расчет минимального объема капитальных вложений для улучшения экономических показателей, которые определяют эффективность работы предприятия. Предложенная методика расчета не зависит от конкретного содержания экономических показателей. Эффективность данной методики расчета продемонстрирована на модельном примере. **Практическая значимость.** Предлагаемая в статье методика расчета минимального объема капитальных вложений для улучшения экономических показателей эффективности предприятия довольно проста, но в то же время позволяет, с одной стороны, определить приоритетные направления инвестиционной деятельности предприятия. С другой стороны, она повышает управляемость и прозрачность хозяйственной деятельности предприятия, повышает уверенность руководителя в правильности принимаемых решений.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Ключевые слова: прибыль; рентабельность; экономические показатели; эффективность работы; оптимальный объем инвестиций; оптимизация; конкурентоспособность; управляемость; динамическое программирование

З. М. ГАСАНОВ^{1*}

^{1*}Каф. «Прикладна математика», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 36, ел. пошта zakariya@ukr.net, ORCID 0000-0002-2312-8053

ПРО ОПТИМІЗАЦІЮ ОБСЯГУ ІНВЕСТИЦІЙ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПІДПРИЄМСТВА

Мета. Прибуток і рентабельність будь-якого, в тому числі транспортного, підприємства — це основні економічні показники ефективності роботи підприємства. Ці показники відображають результати та успішність роботи підприємства. З іншого боку, ефективна діяльність підприємства в довгостроковій перспективі, забезпечення високих темпів його розвитку й підвищення конкурентоспроможності значною мірою визначаються рівнем його інвестиційної активності та діапазоном інвестиційної діяльності. Метою даного дослідження є обґрунтування методу визначення оптимального обсягу інвестицій для поліпшення цих або інших (обраних керівництвом) основних економічних показників ефективності роботи підприємства. **Методика.** В основі запропонованої методики визначення оптимального обсягу інвестицій лежить теорія оптимального управління, зокрема, процедура динамічного програмування, так як керований процес розвитку підприємства є багатоетапним. Дана процедура, використовуючи поетапне планування, дозволяє не тільки спростити рішення задач оптимізації, але й вирішити ті з них, до яких не можна застосувати методи математичного аналізу. **Результати.** Обґрунтовано доцільність проведення розрахунків для визначення оптимального обсягу інвестицій з метою забезпечення високих темпів розвитку підприємства. Це є запорукою ефективності діяльності підприємства в довгостроковій перспективі та підвищення його конкурентоспроможності. **Наукова новизна.** Показано, що за допомогою методів теорії оптимального управління можна зробити розрахунок мінімального обсягу капітальних вкладень для покращення економічних показників, які визначають ефективність роботи підприємства. Запропонована методика розрахунку не залежить від конкретного змісту економічних показників. Ефективність даної методики розрахунку продемонстрована на модельному прикладі. **Практична значимість.** Пропонована в статті методика розрахунку мінімального обсягу капітальних вкладень для поліпшення економічних показників ефективності підприємства досить проста, але в той же час дозволяє, з одного боку, визначити пріоритетні напрямки інвестиційної діяльності підприємства. З іншого боку, вона підвищує керованість і прозорість господарської діяльності підприємства, підвищує впевненість керівника у правильності прийнятих рішень.

Ключові слова: прибуток; рентабельність; економічні показники; ефективність роботи; оптимальний обсяг інвестицій; оптимізація; конкурентоспроможність; керованість; динамічне програмування

REFERENCES

1. Belyakov G.C. Kak otsenit ekonomicheskuyu effektivnost investitsionnykh projektov [How to evaluate the economic efficiency of investment projects]. *EKO – ECO*, 2010, issue 6, pp.121-129.
2. Berlin A. Mekhanizm investitsionnykh resheniy na promyshlennom predpriyatii [The mechanism of investment decisions in an industrial plant]. *Problemy teorii i praktiki upravleniya. – Problems of the Theory and Practice of Management*, 2001, issue 1, pp. 80-85.
3. Birman G., Shmidt C. *Ekonomicheskii analiz investitsionnykh projektov* [Economic analysis of investment projects], Moscow, Banki i birzhi, YuNITI Publ., 1997. 631 p.
4. Vechkanov G. Investitsii: obemy, dinamika, struktura. [Investments: the volume, dynamics and structure]. *Ekonomist – Economist*, 2012, issue 3, pp. 16-28.
5. Haiuduk N.O., Pshinko O.M. Onovlennia rukhomoho skladu yak priorytetnyi napriamok investytsiinoi diialnosti «Ukrzaliznytsi». [The renewal of the rolling stock as a priority of «Ukrzaliznytsia's» investment activity]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 35, pp.219-222.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

6. Gitman L.J., Jonk M.D. *Osnovy investirovaniya*. [Fundamentals of investments]. Moscow, Delo Publ., 1997. 1008 p.
7. Kirdina O.H. Investytsiino-innovatsiynnyi rozvytok yak faktor vidtvorennia ekonomichnoho potentsialu zaliznychnoho transportu [Investment and innovation development as reproduction factor of the economic potential of railway transport]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 35, pp. 234-240.
8. Kuznetsov Yu.N., Kuzubov V.I., Voloschenko A.B. *Matematichskoye programmirovaniye* [Mathematical programming]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1976. 352 p.
9. Pontryagin L.S., Boltyanskiy V.G., Gamkrelidze R.V., Mischenko Ye.F. *Matematicheskaya teoriya optimalnykh protsessov* [The mathematical theory of optimal processes]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 392 p.
10. Skriptunova Ye.A. Osnovnyye pokazateli effektivnosti predpriyatiya, kotoryye neobkhodimo znat rukovoditelyu, chtoby effektivno upravlyat i videt istinnoye polozheniye del na svoym predpriyatii [Key performance indicators of the enterprise that the director should know to manage effectively and see the true state of affairs in the company]. *Menedzhment segodnya – Management Today*, 2003, issue 3, pp. 20-26.
11. Teplova T.V. *Investitsii*. [Investments]. Moscow, Yuraut Publ., 2011. 724p.
12. Guo M.-W. Evaluation of profit variable weight of risk investment enterprises financial profit of risk investment projects based on set pair theory. Wuhan Ligong Daxue Xuebao. *Journal of Wuhan University of Technology*, 2010, vol. 32, issue 3, pp. 147-150.
13. Kuhn D., Parpas P., Rustem B. Stochastic optimization of Investment planning problems in the electric power industry. *Process Systems Engineering*, 2011, vol. 5, pp. 215-230. doi: 10.1002/9783527631209.ch48
14. Svensson E., Strömberg A.-B., Patriksson M. A model for optimization of process integration investments under uncertainty. *Energy*, 2011, vol. 36, issue 5., pp. 2733-2746. doi: 10.1016/j.enpol.2008.10.023.

Prof. A. A. Bosov, D. Sci. (Tech.); Prof. V. Ye. Bilozorov, D. Sci. (Phys.– Math.) recommended this article to be published

Received: Nov. 04, 2014

Accepted: Dec. 23, 2014

UDC 656.212.5:[004.434:004.94]

O. V. GORBOVA^{1*}

^{1*}Research Department, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 776 90 59, e-mail alexandra.gorbova@gmail.com, ORCID -0000-0002-5612-2715

MODELING WORK OF SORTING STATION USING UML

Purpose. The purpose of this paper is the construction of methods and models for the graphical representation process of sorting station, using the unified modeling language (UML). **Methodology.** Methods of graph theory, finite automata and the representation theory of queuing systems were used as the methods of investigation. A graphical representation of the process was implemented with using the Unified Modeling Language UML. The sorting station process representation is implemented as a state diagram and actions through a set of IBM Rational Rose. Graphs can show parallel operation of sorting station, the parallel existence and influence of objects process and the transition from one state to another. The IBM Rational Rose complex allows developing a diagram of work sequence of varying degrees of detailing. **Findings.** The study has developed a graphical representation method of the process of sorting station of different kind of complexity. All graphical representations are made using the UML. They are represented as a directed graph with the states. It is clear enough in the study of the subject area. Applying the methodology of the representation process, it allows becoming friendly with the work of any automation object very fast, and exploring the process during algorithms construction of sorting stations and other railway facilities. This model is implemented with using the Unified Modeling Language (UML) using a combination of IBM Rational Rose. **Originality.** The representation process of sorting station was developed by means of the Unified Modeling Language (UML) use. Methodology of representation process allows creating the directed graphs based on the order of execution of the works chain, objects and performers of these works. The UML allows visualizing, specifying, constructing and documenting, formalizing the representation process of sorting station and developing sequence diagrams of works of varying degrees of detail. **Practical value.** The usage of the Unified Modeling Language (UML) based on software package IBM Rational Rose and allows to create processes of varying degrees of detail, reduce the time expenditure for the process research of sorting station and get a clear graphical representation, as well as to reduce the human costs at the construction and improvement of existing technological processes.

Keywords: directed graph; sorting station; technological process; schedule of the station; parallel processes, UML

Introduction

Modern information technologies are one of the priority directions of the development and improvement of transportation process management, operation of infrastructure, and other processes on railway transport.

The main goal of informatization of railway transport is to provide all technological processes and activities of railway transport with the information and creation the information base for maximum efficiency of industry. The main element of information systems of operational control in the train stations operation and the assessment of their technical and technological characteristics is the mathematical model of the technological process. Methods that represent these mathematical models should provide a high level of detail that creates possibility of automatic information processing and decision making on the one hand, and to

be simple and intelligible for engineers who execute their development and modification on the other hand. In this regard, the formalization of technological processes of railway transport is an important task for the railway transport.

The railway stations are multi-channel, multi-phase, stochastic, dynamic, and ergatic queuing systems. Technical equipment and technology of their work are described with the technical and administrative act, technological process and various instructions and regulations. The total volume of these documents at major stations can be up to several thousand pages. Therefore, the formal representation of technological processes in the available form for their automatic and automated analysis is complicated enough.

The efficient way of representing the automation objects that provides highly informative and intuitive presentation of information is a visual

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

modeling. During the visual modeling each element of the production process is represented in the form of graphic symbols.

Graphical models have been already used for the formal image of technological processes of railway stations functioning since the initial stages of railway transport operation.

One of the first methods of formal representation of the technological processes used up to the present time is the linear Gantt chart [11], reflecting the duration of technological operations with the object, their relationship between themselves and the executors that take part in the operation. The line charts are the primary method of technological processes image with a separate objects in the development of technological documents [14]. The network graphs are widely used as models of technological processes of maintenance facilities at stations [14]. They allow applying the newly developed mathematical tools to determine the total duration of processing objects. The general shortcomings of linear Gantt charts and network diagrams are that they include a hard list of works and their execution order. In fact, the trains' technology service at the stations can differ and vary in operational conditions. Thus during the processing of transit trains there are various technology options depending on the need to change locomotives, cars availability, requiring cuts repair, health devices of railway automatics during the reception and departure and other. Considering that each particular combination of local conditions requires a different display in the form of a linear chart or network, such a description becomes quite cumbersome.

For fixation and subsequent analysis of work stations, as well as to establish their technical and operational indicators graphical model in the form of a daily schedule is used [6, 13, 12]. The separate operations are represented as an icon on the time grid in it. The daily schedule has high informativeness and it is a convenient tool for analysis of the technological process by the man, but it is actually a separate replica of the station work and it is impossible to set the rules of its functioning.

State machines [4] and Petri nets [13]. Give formal representation of the work stations technology with the possibility of considering various options for its execution. These models represent the processes in the form of discrete transitions from one state to another. However, these models are exclusively determined the procedure, and rules

execution of certain operations, the directions choice of transition necessitates the additional complexity of the model and development of specialized software [12].

Undoubtedly the technology of rail stations can be presented as an algorithm [15], but due to the complexity of the stations work these algorithms are very inconvenient and cumbersome to analyze.

Since the early 90-ies visual programming languages began to develop rapidly, providing the writing computer programs by manipulation of graphical objects instead of writing their text, and visual development tools that support them.

Today one of the most widely-distributed visual programming languages, which are used for formal description of business processes, is the unified modeling language (UML) [12]. The modeling language UML is an open standard that uses graphic symbols to create an abstract model of the system, the so-called UML models. UML was created for definition, visualization, design and documentation of software systems mainly. UML is used for software modeling, business processes, system design and display of organizational structures. IBM Company has developed the Rational Rose environment as visual development tools products in UML. It is a powerful tool for analysis and design of object-oriented software systems. The Rational Rose environment allows you to build a model of the technological process of the sorting station quickly and easily. It provides both an automatic data processing of computers and hand modeling. This environment contains all the components of the UML.

In this regard, the use of UML to formalize technological processes of train stations potentially creates conditions for improving the efficiency of the process and reduces the costs for developing the visual design tools.

Purpose

The aim of the article is to develop methods and models of graphical representation of technological processes of railway stations by means of the visual UML.

Methodology

In order to achieve the clear view of the technological process one should distinguish principal groups from which it consists of:

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

- the objects requiring action of the contractor (executor);
- the set of operations;
- the persons who perform the work.

Locomotives and trains are objects for the sorting stations. Every object on the station runs a certain number of jobs (operations), foreseeable by the process and the implementation of technological operations at the station provides the executors (shunting locomotives, sorting stations and other). Every technological operation should be made by the executors of a certain specialization (for example, inspection of cars carries out by a team of service point, train sorting – shunting locomotive and sorting station and other). At the same time the executor of a separate specialization can perform several different operations (for example, signal operator performs the fixing of rolling stock and cleaning brake shoes) [14, 16].

Two diagrams of states and actions can be used for the modeling the process of sorting station at the logical level in the UML system of IBM Rational Rose [10].

The state diagram describes the process of state changing (fulfilled work of technological process) only of one object. At this the changing of an object state (rolling stock, trains) can be caused by both internal processes and external agents. The main purpose of this diagram at formalization of the processes of train stations to describe all possible sequences and actions that collectively characterize an object's behavior during its dwell time on the station. The state diagram is essentially a graph of a special type, which represents a specific machine. The top of this graph are the works that are carried out at the railway station and some other types of machine elements that are shown with the corresponding graphical symbols for the environment. Arcs of the graph are used to indicate the transitions from state to state that characterizes the end of the execution of the work and the transition of corresponding signal to the following diagram performers. The state diagrams can be nested into each other [2].

The action diagram in UML has more features during the displaying of technological processes of railway stations. Diagram also is a graph that represents a specific machine, but it has differences, that includes:

- on the actions diagram it can be distinguished both states and actions, and actions, in turn, can be

represented in the form of a new diagram of state or actions, receiving the nesting of diagrams;

- action diagram has a set of tools for presentation of operator's «choice»;
- on the actions diagram the parallelism of the processes can be shown;
- on the action diagram is the ability to represent the synchronization of processes (operations).

Let's present a graph of technological operations of processing trains delivered in to processing, in the presence of telegrams-consignor list (Fig. 1). Using the environment Rational Rose a graphical sequence of relevant works was constructed. They are executed during the train sorting, that had arrived at the sorting station. (Fig. 2).

For an actions diagram (Fig. 2) during its developing such designators were used:

- – the initial diagram state, waiting for the signal to work. The diagram state that does not contain any internal action;

- ↷ – the idle state of the transition signal to work;

- – a simple transition is a relationship between two sequential operations, that indicates on the change of one another;

- the transition state;

- – the final state of the diagram, waiting for the end of the work execution;

- the state of choice between two or more works.

For the transition in diagram, it is possible to fix the terms of transition and executants (group of executants), who carries out the work. With this purpose it is proposed a transitions signature in the following form [2]: «The condition for the transition (completed work)» («list of executors of the following works»)/ «Action for transition».

For the works of transition execution there is a list of fixed labels [1]

- entry – label that indicates on the operation or the incoming document required for the work execution that is performed at the time of entry;
- exit – label, pointing to the work, that is performed at the time of exit;
- do – label indicating the operation that is performed during the whole time while the relevant work is performed;

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

– event – label – «event» that indicates a single action and can be performed during the stay of the system in appropriate state.

Such «events» must be ordered in time action diagram is characterized by the reflection of the parallel actions of the objects involved in the process. For the process in parallel, there is a station duty officer, who receives and sends messages; there is a train going to the railway station and the railway station waiting for the arrival of the train for the

dissolution. A graphical representation is quite intelligible to understand the process, execution of works and objects at the railway station. On the action diagram it is also shown the status of the process and action separately. As in the state diagram, each state or activity can build its process separately. For the diagram (Fig. 2) executors of work – the station duty officer, the team of service point and other objects requiring action of the executor – station, train, set of work are operations of the technological process.

| Operations name | Before the arrival of the train | After the arrival of the train | | | | | Executor |
|--|---------------------------------|--------------------------------|----|----|----|----|---|
| | | Time in min. | | | | | |
| | | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | |
| Receiving, marking and transferring the telegrams-consignor list to the shunting station operator, to the station and technology center, service point | | | | | | | Operator of station and technology center |
| The sorting list composition | | | | | | | Operator of station and technology center |
| Receiving the message about the number of a train and the time of its arrival from a neighboring | | | | | | | Station duty officer |
| Notification of station and technology center, service point and commercial inspection point workers about the time and route of the train's arrival | | | | | | | Station duty officer |
| Control check of the rolling stock in the input yard neck | | | | | | | Operator of station and technology center, teletypist |
| Arrival of a train, fixing of rolling stock, uncoupling and departure of train locomotive, the fencing of rolling stock | | 3 | | | | | Signal operators, locomotive team, workers of service point |
| Delivery of shipping documents to the station and technology center | | 5 | | | | | Operator of station and technology center |
| Check of telegrams-consignor list, marking and verification of shipping documents | | | 10 | | | | Operator of station and technology center |
| Sorting list adjustment | | | | 3 | | | Operator of station and technology center |
| Maintenance of the rolling stock, release the brakes | | | 17 | | | | Workers of service point |
| Commercial inspection of rolling stock | | | 17 | | | | Workers of commercial inspection point |

Fig. 1. The schedule of operations of the trains processing, delivered to processing, in the presence of telegrams – consignor list

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

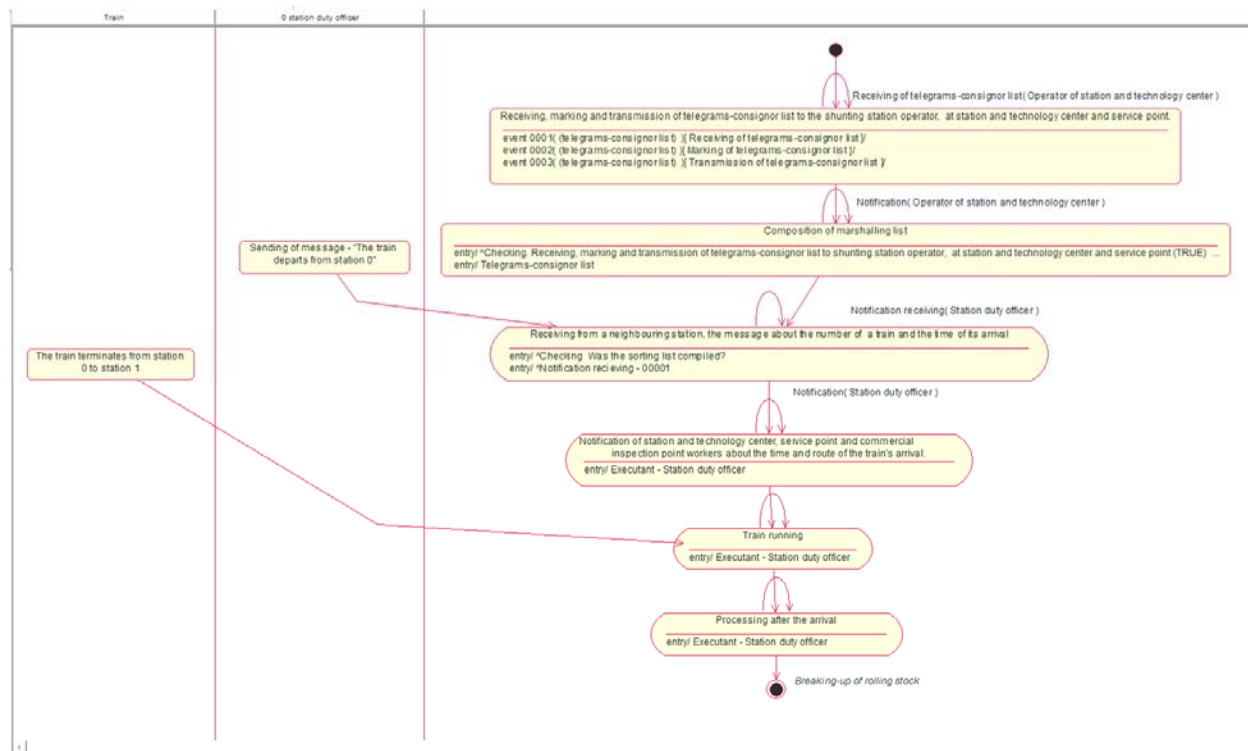


Fig. 2. The action diagram for the technological process of trains processing that does not contain any internal action

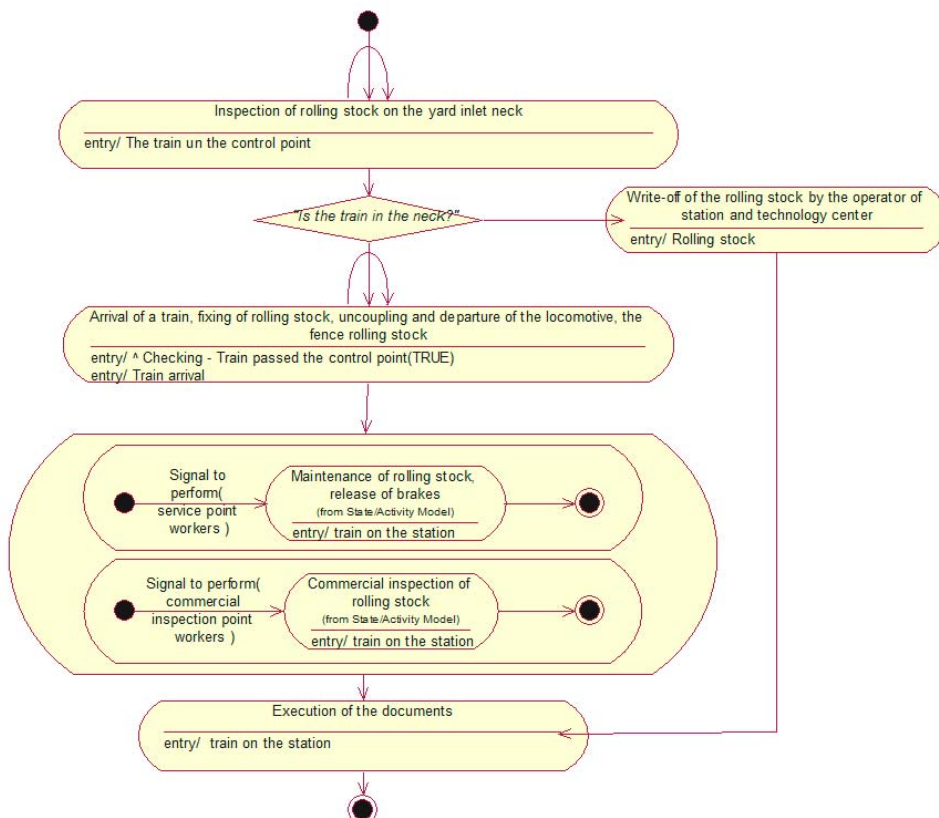


Fig. 3. The technological process view of arrival and inspection of trains on station

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Therefore, the following diagram shows the train and in parallel its departure station and the process of repetition and arrival of the train to the next station. Arrival of a train at the station runs «The arrival and working of the train» process (Fig. 3).

Fig. 1. shows that for a given graph there are two parallel operations:

- the maintenance of rolling stock, release of brakes;
- commercial inspection of rolling stock.

Therefore, for such operations in view of the process in UML is provided the parallel displaying (Fig. 3). Each step is characterized by the executors and the condition of work completeness in state. For work that is in the parallel actions separate chart can be constructed. Their own works chart on the designation of their parallel processes or operations can be constructed too for each executor (duty officer of station and technology center, shunting locomotive, and team of service point). All parallel works should be completed. It is necessary for the diagram, the completion of train stay in state of parallel operations. It is the main condition for transition to the next operation in the diagram.

As it was described earlier, transition between states can contain the mark – «label». If the transition label does not contain any event, it means that the transition occurs as soon as any activities associated with this condition would be completed. For example, from the «arrival of a train, fixing of rolling stock, uncoupling and departure of train locomotive, the fencing of rolling stock» there are two possible transitions. The label of one of them includes the condition that «The train has passed the control point». A conditional transition is executed only if the condition evaluates to «true», i.e. if the duty officer has reported on the received information and willingness to handle it, then the transition to the next state occurs. Otherwise the station duty officer waits for a notification.

At the given moment from the particular state only one transition can be made; thus, conditions help to avoid the dual result for any event. There are two special states: input and output. Any action related to the input event occurs when the object enters the state. The output event occurs when the object goes out of this state.

In the mode of train behavior in the system one can identify actions that are reflected by transitions, and actions that reflected by states. Although both

processes that are implemented, as a rule, by some «executors» of technical process, they are treated in different ways. Operations are associated with transitions and treated as an instantaneous and continual one. Works are related with conditions and can last long enough. The work can be interrupted as a result of occurrence of some external event.

The representation of the process is quite easier to understand and reduces the time needed to study the process of the sorting station, because it has the opportunity to present the process from general to detailed. After the receiving the schematic display of the technological process in the environment of IBM Rational Rose user receives a text file with a description of the constructed process. The file can be applied in the analysis process and receiving calculations of indicators of processes stations formalization.

Findings

The methodology for the presentation of technological processes of sorting stations in the form of a sequential execution of the operations and the transitions between them, as well as representation the parallel operations and parallel action of object sorting station in these diagrams were proposed for the model development. All graphical representations are performed using standardized UML and they are represented as a directed graph with the states that is enough to understand the subject area. Applying the method of technological processes presentation, it is possible to learn the operation of any automation object very quickly. It is also possible to study their work during the construction of general work algorithms in detail with regard of sorting stations and other objects of railway transport.

The proposed model representation of the process of the sorting stations using standardized UML and the editor IBM Rational Rose allows saving graphic information in a text file. Using other software tools one can automate the file parsing of the process and calculate the efficient indicators of the process formation.

Originality and practical value

In result of the research the method of mathematical models constructing of technological process of the sorting station was proposed.

This technique involves the use of unified design language UML that essentially allows reduc-

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

ing the time to construct the model and to present the process of sorting station; to specify, construct, document, formalize the process, to develop a sequence diagram for different levels of detailing.

Conclusions

1. The use of the methods of graph theory and method of object-oriented analysis during the development allows realizing the graphical representation of the technological process by the proposed method. With the help of actions diagram, the work process, contractors of work, as well as conditions and transitions between the operations in the process can be reflected. It is a quite convenient representation of the graph of the work process execution at the sorting station.

2. The use of unified design language UML for plotting actions, for displaying the processes of formalization technology works of sorting stations allows reducing the cost of technological processes development and increasing the work efficiency of the automated systems designers for railway transport objects.

LIST OF REFERENCE LINKS

- Вернигора, Р. В. Подготовка ДСП станций дялнки з використанням тренажерного комплексу / Р. В. Вернигора, В. В. Малашкін // Транспорт. системи та технології перевезень. – 2010. – Вип. 1. – С. 34–37.
- Диаграмма состояний [Electronic resource]. – Available at: <http://itteach.ru/rational-rose/diagrammi-sostoyaniy>. – Title from the screen. – Accessed : 08.10.2014.
- История диаграммы Ганта [Electronic resource]. – Available at: http://gibtech.ru/blog/discus?entry_id=177. – Title from the screen. – Accessed : 08.10.2014.
- Карпов, Ю. Г. Теория автоматов / Ю. Г. Карпов. – Санкт-Петербург : Питер, 2003. – 208 с.
- Козаченко, Д. Н. Математическая модель для оценки технико-технологических показателей работы железнодорожных станций / Д. Н. Козаченко // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – № 3 (45). – С. 22–28.
- Козаченко, Д. Н. Объектно-ориентированная модель функционирования железнодорожных станций / Д. М. Козаченко // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – № 4 (46). – С. 47–55.
- Козаченко, Д. Н. Программный комплекс для імітаційного моделювання роботи залізничних станцій на основі добового плану - графіку / Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора, Р. Г. Коробойова // Заліз. трансп. України. – 2008. – № 4 (70). – С. 18–20.
- Конспект лекцій «Технологія і управління роботою станцій та вузлів» [Electronic resource]. – Available at: <http://ua-referat.com>. – Title from the screen. – Accessed : 08.10.2014.
- Котов, В. Е. Сети Петри / В. Е. Котов. – Москва : Наука, 1984. – 160 с.
- Леоненков, А. В. Самоучитель UML / А. В. Леоненков. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2002. – С. 183–196.
- Лустина, Е. Небольшой рассказ о Генри Ганте [Electronic resource] / Е. Лустина. – Available at: <http://www.mental-skills.ru/synopses/524.html>. – Title from the screen. – Accessed : 08.10.2014.
- Сетевые графики в планировании / И. М. Разумов, Л. Д. Белова, М. И. Ипатов, А. В. Прокураков. – Москва : Высш. шк., 1967. – 170 с.
- Сморodinцева, Е. Е. Организация работы сортировочной станции / Е. Е. Смородинова, Е. М. Тимухина. – Екатеринбург : УрГУПС, 2010. – 70 с.
- Технологічний процес роботи Одеської залізниці. Державна адміністрація залізничного транспорту України. – Одеса : Держ. адм. заліз. трансп. України, 2009. – 168 с.
- ЦД-0082. Практичні рекомендації щодо складання технологічного процесу роботи сортувальної станції. – Київ : ДЕТУТ, 2009. – 84 с.
- A graph grammar-based formal validation of object-process diagrams Software and Systems Modeling [Electronic resource]. – 2012. – № 11 (2). – P. 287–302. – Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84860480881&partnerID=40&md5=e5455760c5351950d7411631552e6daf>. – Title from the screen. – Accessed : 08.10.2014.
- Ma, L. Design of wagon-flow simulation system of railway marshalling yard based on J2EE Xitong Fangzhen Xuebao [Electronic resource] / L. Ma, J. Guo, G.-W. Chen // J. of System Simulation. – 2013. – № 25 (5). – P. 1083–1089. – Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84878478072&partnerID=40&md5=684049107fe03bc4af534334f33c03e4>. – Title from the screen. – Accessed : 08.10.2014.
- Yang, N.-H. Modeling UML state diagrams based on extended ITCPN Huadong Ligong Daxue Xuebao [Electronic resource] / N.-H. Yang, H.-Q. Yu, M. Lu / J. of East China University of Science and Technology. – 2011. – № 37 (6). – P. 765–769. – Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84856354155&partnerID=40&md5=87d8d9f4b6cab4498f04799eba638baf>. – Title from the screen. – Accessed : 08.10.2014.

О. В. ГОРБОВА^{1*}

^{1*}Науково-дослідна частина, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 776 90 59, ел. пошта alexandra.gorbova@gmail.com, ORCID -0000-0002-5612-2715

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ МОВИ UML

Мета. Дослідження спрямоване на побудову методів та моделей графічного представлення технологічного процесу сортувальної станції за допомогою уніфікованої мови моделювання (UML). **Методика.** В якості методів дослідження використовувались методи теорії графів, скінчених автоматів та теорії представлення систем масового обслуговування. Графічне представлення технологічного процесу реалізовано за допомогою уніфікованої мови моделювання UML. Представлення технологічного процесу сортувальної станції реалізовано у вигляді діаграми станів та дій за допомогою комплексу IBM Rational Rose. Діаграми мають можливість показати паралельність робіт сортувальної станції, паралельність існування та впливу об'єктів технологічного процесу та перехід від одного стану в інший. Комплекс IBM Rational Rose дозволяє розробляти діаграми послідовності робіт різного ступеня деталізації. **Результати.** У результаті дослідження розроблено метод графічного представлення технологічного процесу сортувальної станції різного виду складності. Всі графічні представлення виконуються за допомогою уніфікованої мови UML, представляються у вигляді орієнтованого графу зі станом, що є досить зрозумілим при вивченні предметної області. Застосовуючи методику представлення технологічних процесів, можна швидко ознайомитись із роботою будь-якого об'єкта автоматизації. Можливо також вивчити їх роботи при побудові алгоритмів від загальних робіт до детальних, що стосується, в тому числі, і сортувальних станцій та інших об'єктів залізничного транспорту. Дану модель реалізовано за допомогою уніфікованої мови моделювання (UML) з використанням комплексу IBM Rational Rose. **Наукова новизна.** За рахунок використання уніфікованої мови моделювання (UML) розроблено представлення технологічного процесу сортувальної станції. Розроблена методологія представлення технологічного процесу, що дозволяє створювати орієнтовані графи на основі виконання ланцюжка робіт, об'єктів та виконавців цих робіт. Мова UML дозволяє візуалізувати, специфікувати, конструювати та документувати, формалізувати представлення технологічного процесу сортувальної станції та розробляти діаграми послідовності робіт різного ступеня деталізації. **Практична значимість.** Використання уніфікованої мови моделювання (UML) на основі програмного комплексу IBM Rational Rose дозволяє: створювати технологічні процеси різного ступеня деталізації; скоротити витрати часу на вивчення технологічного процесу сортувальної станції та отримати наглядне графічне його представлення; зменшити людські витрати при побудові та удосконаленні, існуючих технологічних процесів.

Ключові слова: орієнтований граф; сортувальна станція; технологічний процес; план-графік роботи станції; паралельні процеси; UML

А. В. ГОРБОВА^{1*}

^{1*}Научно-исследовательская часть, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 776 90 59, эл. почта alexandra.gorbova@gmail.com, ORCID -0000-0002-5612-2715

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ С ПОМОЩЬЮ ГРАФИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

Цель. Исследование направлено на построение методов и моделей графического представления технологического процесса сортировочной станции с помощью унифицированного языка моделирования (UML). **Методика.** В качестве методов исследования использовались методы теории графов, конечных автоматов и теории представления систем массового обслуживания. Графическое представление технологического процесса реализовано с помощью унифицированного языка моделирования UML. Представление технологического процесса сортировочной станции реализовано в виде диаграммы состояний и действий с помощью комплекса IBM Rational Rose. Диаграммы могут показать параллельность работ сортировочной станции, парал-

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

тельность существования и влияния объектов технологического процесса и переход от одного состояния в другое. Комплекс IBM Rational Rose позволяет разрабатывать диаграммы последовательности работ различной степени детализации. **Результаты.** В результате исследования разработан метод графического представления технологического процесса сортировочных станций различного вида сложности. Все графические представления выполняются с помощью унифицированного языка UML, представляются в виде ориентированного графа с состоянием, достаточно понятным при изучении предметной области. Применяя методику представления технологических процессов, можно быстро ознакомиться с работой любого объекта автоматизации, а также изучить технологический процесс при построении алгоритмов сортировочных станций и других объектов железнодорожного транспорта. Данная модель реализована с помощью унифицированного языка моделирования (UML) с использованием комплекса IBM Rational Rose. **Научная новизна.** С учетом использования унифицированного языка моделирования (UML) разработано представление технологического процесса сортировочной станции. Методология представления технологического процесса позволяет создавать ориентированные графы на основе порядка выполнения цепочки работ, объектов и исполнителей этих работ. Язык UML позволяет визуализировать, специфицировать, конструировать и документировать, формализовать представление технологического процесса сортировочной станции и разрабатывать диаграммы последовательности работ различной степени детализации. **Практическая значимость.** Использование унифицированного языка моделирования (UML) на основе программного комплекса IBM Rational Rose позволяет: создавать технологические процессы различной степени детализации; сократить затраты времени на изучение технологического процесса сортировочной станции и получить наглядное графическое представление; уменьшить человеческие затраты при построении и совершенствовании существующих технологических процессов.

Ключевые слова: ориентированный граф; сортировочная станция; технологический процесс; план-график работы станции; параллельные процессы; UML

REFERENCES

1. Vernyhora R.V., Malashkin V.V. Pidhotovka DSP stantsii dilianky z vykorystanniam trenazhernoho kompleksu [The station duty officer preparation of a section with using the training complex]. *Transportni systemy ta tekhnologii perevezhen – The Transport System and Transport Technology*, 2010, issue 1, 34-37 p.
2. *Diagramma sostoyaniy* [State diagram]. Available at: <http://itteach.ru/rational-rose/diagrammi-sostoyaniy> (Accessed 8 October 2014).
3. *Istoriya diagrammy Ganta* [The history of the Gantt chart]. Available at: http://gibtech.ru/blog/discus?entry_id=177 (Accessed 8 October 2014).
4. Karpov Yu.H. *Teoriya avtomatov* [Theory of machines]. Saint-Petersburg, Piter Publ., 2003. 208 p.
5. Kozachenko D.N. Matematicheskaya model dlya otsenki tekhniko-tekhnologicheskikh pokazateley raboty zheleznodorozhnykh stantsiy [A mathematical model for assessing the technical performance of rail stations]. *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. 22-28.
6. Kozachenko D.N. Obektno-orientirovannaya model funktsionirovaniya zheleznodorozhnykh stantsiy [The object-oriented model of the functioning of railway stations]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 4 (46), pp. 47-55.
7. Kozachenko D.M., Vernyhora R.V., Korobiova R.H. Prohramnyi kompleks dlia imitatsiinoho modeliuвання roboty zaliznychnykh stantsii na osnovi dobovoho planu – hrafiku [Software package for simulation of rail stations on the basis of the daily schedule]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2008, no. 4 (70), pp. 18-20.
8. *Konspekt lektsii «Tekhnolohiia i upravlinnia robotoiu stantsii ta vuzliv»* [Lecture notes «Technology and management work of stations and sites»]. Available at: <http://ua-referat.com> (Accessed 8 October 2014).
9. Kotov V.Ye. *Seti Petri* [Petri nets]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 160 p.
10. Leonenkov A.V. *Samouchitel UML* [The UML tutorial]. Saint-Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2002, pp. 183-196.
11. Lustina Ye. *Nebolshoy rasskaz o Genri Gante* [A short story about Henry Gantt]. Available at: <http://www.mental-skills.ru/synopses/524.html> (Accessed 8 October 2014).
12. Razumov I.M., Belova L.D., Ipatov M.I., Proskuryakov A.V. *Setevyye grafiki v planirovanii* [Network graphs in planning]. Moscow, 1967. 170 p.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

13. Smorodintseva Ye.Ye. Timukhina Ye.M. *Organizatsiya raboty sortirovochnoy stantsii* [The organization works of sorting station]. Ekaterinburg, UrGUPS Publ., 2010. 70 p.
14. *Tekhnologichniy protses roboty odeskoi zaliznytsi. Derzhavna administratsiia zaliznychnoho transportu Ukrainy* [The technological process of the Odessa railway. State administration of railway transport of Ukraine]. Odessa, Derzhavna administratsiia zaliznychnoho transportu Ukrainy Publ., 2009. 168 p.
15. TsD-0082. *Praktychni rekomendatsii shchodo skladannia tekhnologichnogo protsesu roboty sortuvalnoi stantsii. Praktychni rekomendatsii* [CD-0082-Practical guidelines for the process of sorting station. Practical recommendations]. Kyiv, DETUT Publ., 2009. 84 p.
16. A graph grammar-based formal validation of object-process diagrams. *Software and Systems Modeling*, 2012, № 11 (2), 287–302 p. Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84860480881&partnerID=40&md5=e5455760c5351950d7411631552e6daf> (Accessed 8 October 2014). doi: 10.1007/s10270–011–0201–4.
17. Ma L., Guo J., Chen G.-W. Design of wagon-flow simulation system of railway marshalling yard based on J2EE Xitong Fangzhen Xuebao. *Journal of System Simulation*, 2013, no. 25 (5), pp. 1083–1089. Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84878478072&partnerID=40&md5=684049107fe03bc4af534334f33c03e4> (Accessed 8 October 2014).
18. Yang N.-H., Yu H.-Q., Lu M. Modeling UML state diagrams based on extended ITCPN Huadong Ligong Daxue Xuebao. *Journal of East China University of Science and Technology*, 2011, no. 37 (6), pp. 765–769. Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84856354155&partnerID=40&md5=87d8d9f4b6cab4498f04799eba638baf> (Accessed 8 October 2014).

Prof. D. N. Kozachenko, D. Sci. (Tech.); Prof. O. M. Ogar, D. Sci. (Tech.) recommended this article to be published

Received: Oct. 9, 2014

Accepted: Dec. 10, 2014

УДК 004.7–047.58:656.2

В. М. ПАХОМОВА^{1*}

^{1*}Каф. «Електронні обчислювальні машини», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 89, ел. пошта viknik.p1988@mail.ru, ORCID 0000-0001-8346-0405

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНЖИНІРИНГУ ТРАФІКА В КОМП'ЮТЕРНІЙ МЕРЕЖІ УКРЗАЛІЗНИЦІ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ MPLS TE

Мета. На залізничному транспорті України необхідним є використання комп'ютерних мереж різних технологій: Ethernet, Token Bus, Token Ring, FDDI та інших. В об'єднаннях комп'ютерних мереж на залізничному транспорті доцільним є використання технології швидкої комутації пакетів у багатопротокольних мережах MPLS (MultiProtocol Label Switching), що заснована на використанні міток. Мережі з комутацією пакетів повинні передавати різні види трафіку із заданою якістю обслуговування. Метою дослідження є розробка методики визначення послідовності призначення потоків для розглянутого фрагменту комп'ютерної мережі Укрзалізниці (УЗ). **Методика.** При оптимізації управління трафіком в мережах MPLS важливу роль відіграє технологія інжинірингу трафіка (Traffic Engineering, TE). Основний механізм TE в MPLS – використання односпрямованих тунелів (MPLS TE tunnel) для завдання шляху проходження певного трафіку. Складена математична модель задачі інжинірингу трафіка в комп'ютерній мережі УЗ за технологією MPLS TE. Комп'ютерна мережа УЗ представлена зваженим орієнтованим графом, вершинами якого є маршрутизатори комп'ютерної мережі, а кожна дуга моделює зв'язок між вузлами. В якості критерію оптимізації виступає мінімальне значення максимального коефіцієнту використання TE-тунелів. **Результати.** Знайдено шість варіантів призначення потоків, визначена раціональна послідовність потоків, при якій значення максимального коефіцієнту використання TE-тунелів розглянутого спрощеного фрагменту комп'ютерної мережі УЗ не перевищує 0,5. **Наукова новизна.** Запропоновано методику рішення задачі інжинірингу трафіка в багатопротокольній комп'ютерній мережі УЗ за технологією MPLS TE; для різних класів будується свій шлях у залежності від смуги пропускання та завантаження каналу. **Практична значимість.** Встановлена можливість визначення значення максимального коефіцієнту використання TE-тунелів у комп'ютерних мережах УЗ на основі розробленої програмної моделі «*TraffEng*». Вхідні параметри моделі: кількість маршрутизаторів, пропускна здатність каналів, кількість потоків, середня швидкість потоків. В якості результату роботи моделі «*TraffEng*» подаються варіанти вибору TE-тунелів із відповідними значеннями максимальних коефіцієнтів їх використання.

Ключові слова: технологія MPLS TE; інжиніринг трафіку; швидкість потоку; пропускна здатність; коефіцієнт використання; TE-тунель

Вступ

Сьогодні на залізничному транспорті України безперечно наявність комп'ютерних мереж різних технологій (Ethernet, Token Bus, Token Ring, FDDI та інші) [7–9], тому в складених мережах доцільним є використання технології швидкої комутації пакетів у багатопротокольних мережах MPLS (MultiProtocol Label Switching), яка базується на використанні міток. Крім того, мережі з комутацією пакетів повинні передавати різні види трафіка із заданою якістю обслуговування, максимально використовуючи можливості своїх ресурсів [1–5]. Однак, для цього їм потрібно змінити деякі підходи до вибору маршрутів, що стали вже традиційними. Основним принципом роботи протоколів маршрутиза-

ції в мережах з комутацією пакетів ось вже довгий час є вибір маршруту на основі топології мережі без урахування інформації про її поточне завантаження. Для кожної пари «адреса джерела – адреса призначення» такі протоколи вибирають єдиний маршрут [6], не беручи до уваги інформаційні потоки, що протікають через мережу. У результаті всі потоки між парами кінцевих вузлів мережі йдуть за найкоротшим маршрутом (відповідно до деякої метрики).

Мета

Розробити методику визначення послідовності призначення потоків для розглянутого фрагмента комп'ютерної мережі УЗ.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Методика

У технології MPLS будь-який переданий пакет асоціюється з тим чи іншим класом мережного рівня (Forwarding Equivalence Class, FEC) [10–13], кожен з яких ідентифікується певною міткою. Значення мітки унікально лише для ділянки шляху між сусідніми вузлами мережі MPLS, які називаються маршрутизаторами з комутацією по мітках (Label Switching Router, LSR) [6]. Розподіл міток між LSR призводить до встановлення всередині домену MPLS шляхів з комутацією по мітках (Label Switching Path, LSP). Усі функції класифікації пакетів за різними FEC, а також реалізацію таких додаткових сервісів, як фільтрація, явна маршрутизація, вирівнювання навантаження та керування трафіком беруть на себе граничні LSR [6]. Кожен з класів FEC обробляється окремо від інших. Оскільки для різних класів будується свій шлях залежно від смуги пропускання та завантаження каналу, то пакети, що приходять на один маршрутизатор, але мають різний клас обслуговування, підуть по різних шляхах [3].

При оптимізації управління трафіком в мережах MPLS важливу роль відіграє технологія інжинірингу трафіка (Traffic Engineering, TE) [6], ефективність якої підтверджується тим, що багато мережних засобів управління трафіком удосконалюються на її принципах, підтвердженням тому є протоколи резервування ресурсів RSVP-TE, LDP-TE, протоколи маршрутизації IS-IS-TE, OSPF-TE. Можливості управління трафіком в мережі MPLS реалізуються за допомогою технології TE за рахунок вибору оптимального маршруту проходження трафіка, використання процедур розподілу завантаження мережі та балансування трафіка [1–4]. Основний механізм TE в MPLS – використання односторонніх тунелів (MPLS TE tunnel) для завдання шляху проходження певного трафіка, оскільки тунелі односторонні, то зворотний шлях може бути зовсім іншим [2].

У технології MPLS TE шляхи LSP прийнято називати TE-тунелями, що прокладаються відповідно з технікою маршрутизації від джерела, коли централізовано задаються проміжні вузли маршруту. Ініціатором завдання маршруту для TE-тунелю виступає початковий вузол тунелю, а розраховуватися такий маршрут може як цим же початковим вузлом, так і зовнішньою, стосовно мережі, програмною системою або адмі-

ністратором. MPLS TE підтримує тунелі двох типів [6]: суворий TE-тунель (визначає всі проміжні вузли між двома граничними пристроями); вільний TE-тунель (визначає тільки частину проміжних вузлів від одного граничного пристрою до іншого, а інші проміжні вузли вибираються пристроєм LSR самостійно).

У цій роботі складена математична модель задачі інжинірингу трафіка в комп'ютерній мережі УЗ за технологією MPLS TE, як критерій оптимізації виступає мінімальне значення максимального коефіцієнту використання TE-тунелів.

Постановка задачі. Комп'ютерна мережа УЗ може бути подана зваженим орієнтованим графом $G = (R, L)$, де R – множина вершин графа, кількість яких дорівнює N , причому кожна вершина моделює собою вузол (маршрутизатор) комп'ютерної мережі; L – множина дуг графа, кожна дуга моделює зв'язок між вузлами, кількість дуг графа дорівнює M . Розглянутий спрощений фрагмент комп'ютерної мережі УЗ та наведений на рис. 1. Кожному ребру графа присвоюється певна вага, яка відповідає пропускній спроможності (максимальний обсяг даних, переданий мережею в одиницю часу):

$$C = \{c_{ij}\}, \quad (1)$$

де c_{ij} – пропускна спроможність каналу між i та j вузлами комп'ютерної мережі УЗ. Обмеженнями, що подані у вигляді рівнянь, виступають умови зберігання потоку в кожному вузлі мережі, які для структури комп'ютерної мережі УЗ, що зображена на рис. 1, мають такий вигляд:

$$\begin{cases} x_{1,2} + x_{1,4} = b^s; \\ -x_{1,2} + x_{2,3} + x_{2,6} = 0; \\ -x_{2,3} + x_{3,10} = 0; \\ -x_{1,4} + x_{4,5} = 0; \\ -x_{4,5} + x_{5,6} = 0; \\ -x_{5,6} - x_{2,6} + x_{6,7} = 0; \\ -x_{6,7} + x_{7,8} = 0; \\ -x_{7,8} + x_{8,9} = 0; \\ -x_{8,9} + x_{9,10} = 0; \\ -x_{3,10} - x_{9,10} = -b^s; \end{cases} \quad (2)$$

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

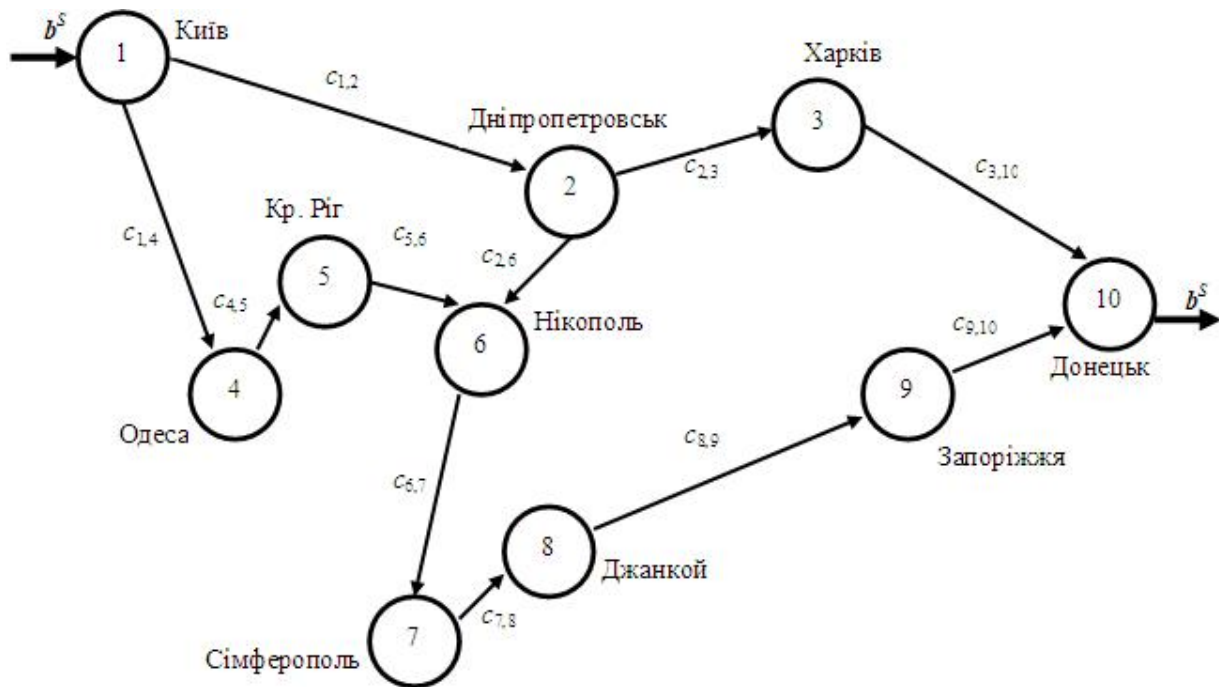


Рис. 1. Спрощений фрагмент комп'ютерної мережі УЗ

Fig. 1. A simplified fragment of a computer network of UZ

де x_{ij} – інтенсивність трафіка, що передається в мережі між i -м та j -м вузлами; b^s – середня швидкість s -потіку трафіка між вузлами 1 і 10 в комп'ютерній мережі УЗ (Київом і Донецьком). Повинно виповнюватися важливе обмеження – середня швидкість потоку трафіка не має перевищувати пропускну спроможність ТЕ-тунелю, через який проходить s -потік:

$$b^s < c^l, \quad (3)$$

де b^s – середня швидкість s -потіку трафіка; c^l – пропускна спроможність ТЕ-тунелю. Невиконання такого обмеження неприпустимо, бо інакше неможливо пропустити потік трафіка по тунелю.

Коефіцієнт використання ресурсів обчислюється за формулою

$$k_{ij}^s = \frac{b^s}{c_{ij}}, \quad (4)$$

де k_{ij}^s – коефіцієнт використання (i, j) -го каналу s -м потоком; b^s – середня швидкість s -го потоку трафіка; c_{ij} – пропускна спроможність (i, j) -го каналу зв'язку.

Вибір ТЕ-тунелю визначається як

$$K = \max_s \{K^s\}, \quad (5)$$

де $K^s = \sum k_{ij}^s$, крім того, $K^s \leq 0,65$; K – максимальний коефіцієнт використання ТЕ-тунелю.

Під час вирішення задачі інжинірингу трафіка необхідно знайти раціональне рішення – максимальний коефіцієнт використання ТЕ-тунелю (за всіма можливими варіантами послідовності призначення потоків) повинен бути мінімальний

$$\min_i \{K_i\}. \quad (6)$$

Програмна модель. В середовищі Borland Delphi розроблена модель «*TraffEng*», що відображає залежність якості рішення задачі інжинірингу трафіка від послідовності призначення потоків. Вхідні дані моделі: кількість маршрутизаторів; пропускна здатність каналів (Мбіт/с); кількість потоків; середня швидкість потоків (Мбіт/с). Після завдання кількості маршрутизаторів у вікні «Топологія мережі» з'явиться відповідне відображення. Коли всі параметри вказані, слід натиснути кнопку «Розрахувати коефіцієнти навантаження каналів».

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Traffic Engineering

Кількість маршрутизаторів: Вкажіть кількість потоків:

Вкажіть пропускну здатність каналів:

1: Мбіт/с
2: Мбіт/с
3: Мбіт/с
4: Мбіт/с
5: Мбіт/с

Швидкість потоку:

1 потік: Мбіт/с
2 потік: Мбіт/с
3 потік: Мбіт/с

Фрагмент топології MPLS-мережі

Р1, Р2, Р3, Р4, Р5

Коефіцієнти навантаження каналів

Потік 1 можливо передати за шляхом R1--(0,33)--R2--(0,33)--R3
Потік 2 можливо передати за шляхом R1--(0,60)--R2--(0,60)--R3
Потік 3 не можливо передати за шляхом R1--(0,80)--R2--(N/A)--R3
Потік 3 можливо передати за шляхом R1--(0,30)--R5--(0,30)--R4--(0,30)--R3
----- Варіант 2 -----
Потік 3 можливо передати за шляхом R1--(0,20)--R2--(0,20)--R3
Потік 2 можливо передати за шляхом R1--(0,47)--R2--(0,47)--R3
Потік 1 не можливо передати за шляхом R1--(0,80)--R2--(N/A)--R3
Потік 1 можливо передати за шляхом R1--(0,50)--R5--(0,50)--R4--(0,50)--R3
Очистка

Розрахувати коефіцієнти навантаження каналів

Рис. 2 Вихідна форма програмної моделі «TraffEng»

Fig. 2. The original form of software models «TraffEng»

Після чого у відповідному полі відображається інформація щодо потоків, коефіцієнтів використання кожного каналу зв'язку, задіяного потоком, та рекомендації («можливо»/«неможливо») до визначення маршруту потоків. Для демонстрації роботи моделі «TraffEng» нехай кількість маршрутизаторів складає 5, кількість потоків дорівнює 3; інші вхідні дані та результат роботи моделі наведено на рис. 2.

У вікні «Коефіцієнти навантаження каналів» надано варіанти завдання тунелів. Варіант 1 передбачає, що для потоків 1, 2 обрано маршрут R1-R2-R3 (верхня частина мережі), а для потоку 3 – маршрут R1-R5-R4-R3; коефіцієнт використання складає 0,6. Варіант 2 передбачає, що потік 1 пройде маршрутом R1-R5-R4-R3 (нижня частина мережі), а потоки 2, 3 маршрутом R1-R2-R3; коефіцієнт використання складає 0,5. Найкращим варіантом є варіант з найменшим значенням коефіцієнта використання, тобто варіант 2.

Результати

Ефективність використання ТЕ-тунелів визначається послідовністю призначення потоків, що підвищує ефективність самої комп'ютерної

мережі; це можливо показати на простому прикладі. Розглянемо ділянку MPLS-мережі, що зображено на рис. 3 (пропускні спроможності каналів представлені в Мбіт/с).

Результати дослідження залежності якості рішення задачі ТЕ від послідовності призначення трьох потоків: потік 1, середня швидкість якого $b^1 = 0,5$ Мбіт/с; потік 2, середня швидкість якого $b^2 = 0,4$ Мбіт/с; потік 3, середня швидкість якого $b^3 = 0,3$ Мбіт/с наведені в табл. 1.

Так, наприклад, у варіанті 1 рішення знайдено при такій послідовності призначення потоків: 1, 2, 3. Для першого потоку обраний шлях $2 \rightarrow 3 \rightarrow 10$, в цьому випадку коефіцієнт використання ТЕ-тунелю складає $0,5/1,5 = 0,33$. Для другого потоку також обраний шлях $2 \rightarrow 3 \rightarrow 10$, результуючий коефіцієнт використання ТЕ-тунелю виявляється рівним $0,33 + 0,4/1,5 = 0,6$. Третій потік прямує по шляху $2 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 10$ і завантажує ресурси каналів $2 \rightarrow 6$, $6 \rightarrow 7$, $7 \rightarrow 8$, $8 \rightarrow 9$ і $9 \rightarrow 10$ на $0,3/1$. Рішення 1 можна назвати задовільним, оскільки максимальний коефіцієнт використання досягає 0,6.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

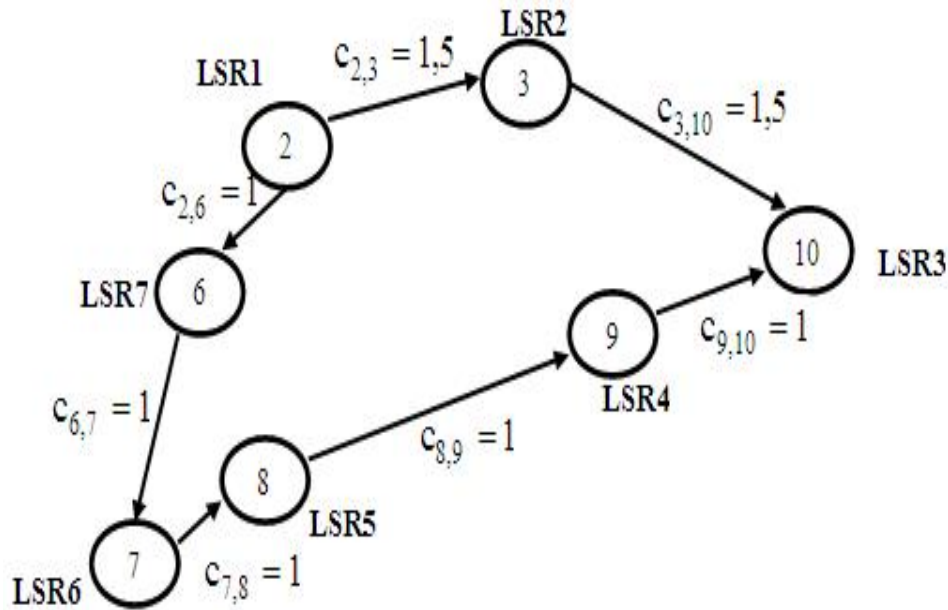


Рис. 3. Ділянка мережі LSR1-LSR7 для визначення тунелів

Fig. 3. Section of the network LSR1-LSR7 for the determination of tunnels

Таблиця 1

Якість рішення задачі TE від послідовності призначення потоків

Table 1

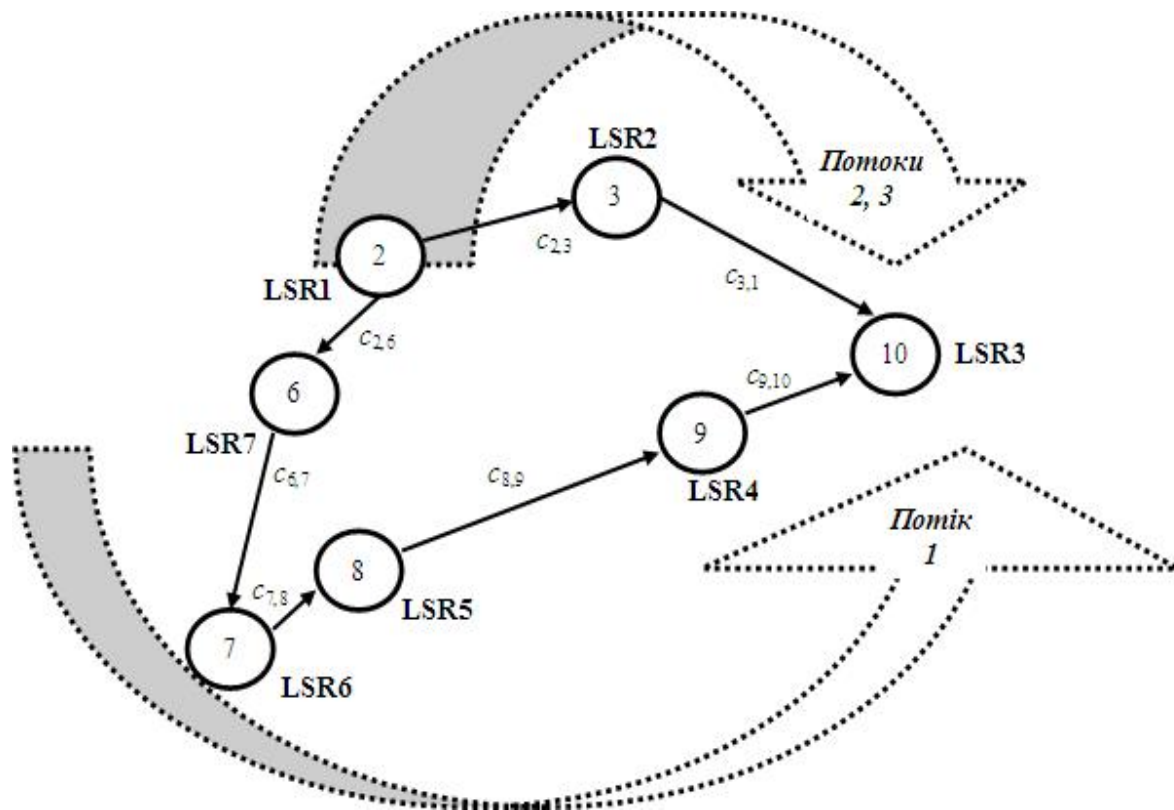
The quality of TE problem solutions from sequences of destination flows

| Варіант | Послідовність призначення потоків | Середня швидкість потоків, Мбіт/с | Коефіцієнт використання ТЕ-тунелів через вузли мережі: | | Максимальний коефіцієнт використання |
|---------|---|---|---|------------------------|--|
| | | | 2 → 3 → 10 | 2 → 6 → 7 → 8 → 9 → 10 | |
| 1 | 1 | 0,5 | 0,33 | | 0,6 |
| | 2 | 0,4 | 0,6 | | |
| | 3 | 0,3 | | 0,3 | |
| 2 | 1 | 0,5 | 0,33 | | 0,53 |
| | 3 | 0,3 | 0,53 | | |
| | 2 | 0,4 | | 0,4 | |
| 3 | 2 | 0,4 | 0,27 | | 0,6 |
| | 1 | 0,5 | 0,6 | | |
| | 3 | 0,3 | | 0,3 | |
| 4 | 2 | 0,4 | 0,27 | | 0,5 |
| | 3 | 0,3 | 0,47 | | |
| | 1 | 0,5 | | 0,5 | |

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Закінчення табл. 1

| Варіант | Послідовність призначення потоків | Середня швидкість потоку, Мбіт/с | Коефіцієнт використання ТЕ-тунелів через вузли мережі: | | Максимальний коефіцієнт використання |
|---------|-----------------------------------|----------------------------------|--|------------------------|--------------------------------------|
| | | | 2 → 3 → 10 | 2 → 6 → 7 → 8 → 9 → 10 | |
| 5 | 3 | 0,3 | 0,2 | | 0,53 |
| | 1 | 0,5 | 0,53 | | |
| | 2 | 0,4 | | 0,4 | |
| 6 | 3 | 0,3 | 0,2 | | 0,5 |
| | 2 | 0,4 | 0,47 | | |
| | 1 | 0,5 | | 0,5 | |



Мал. 4. Найкращий варіант визначення тунелів для ділянки MPLS-мережі на LSR1-LSR7

Fig. 4 The best option for the tunnels definitions for site MPLS of network on LSR1-LSR7

Однак існує кращий спосіб, наведений у варіанті 4. Тут потоки 2 і 3 спрямовані по верхньому шляху $2 \rightarrow 3 \rightarrow 10$, а потік 1 – по нижньому ($2 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 10$) шляху. Для другого потоку ресурси верхнього ТЕ-тунелю виявляються завантаженими на $0,4/1,5 = 0,27$, для третього потоку – $0,27 + 0,3/1,5 = 0,47$, а для першого потоку завантаження нижнього ТЕ-тунелю на $0,5/1 = 0,5$; тобто в наявності

більш рівномірне завантаження ресурсів, а максимальний коефіцієнт використання всіх ресурсів мережі не перевищує 0,5.

Цей варіант або варіант 6, що отримані при одночасному розгляді всіх трьох потоків та зображені на рис. 4, надають мінімальне значення максимального коефіцієнта використання.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Наукова новизна та практична значимість

Запропоновано методику вирішення задачі інжинірингу трафіка в комп'ютерній мережі УЗ за технологією MPLS TE. Як критерій оптимізації виступає мінімальне значення максимального коефіцієнта використання TE-тунелів. На основі розробленої програмної моделі можливе визначення значень максимальних коефіцієнтів використання TE-тунелів в комп'ютерних мережах УЗ.

Висновки

1. У складених комп'ютерних мережах на залізничному транспорті доцільним є використання технології MPLS, що базується на використанні міток. Можливості управління трафіком в мережі MPLS реалізуються за допомогою технології інжинірингу трафіка, основний механізм якого використання односпрямованих тунелів (MPLS TE tunnel). Складена математична модель задачі інжинірингу трафіка в комп'ютерній мережі УЗ.

2. Для відображення залежності якості вирішення задачі інжинірингу трафіка від послідовності призначення потоків в комп'ютерній мережі УЗ розроблено в Delphi програмну модель «*TraffEng*». Вхідні параметри моделі: кількість маршрутизаторів та пропускні спроможності каналів зв'язку, кількість та середня швидкість потоків; як результат роботи моделі подаються варіанти вибору TE-тунелів з відповідними значеннями максимальних коефіцієнтів використання.

3. Виконано дослідження залежності якості вирішення задачі інжинірингу трафіка MPLS TE від послідовності призначення потоків для спрощеного фрагмента комп'ютерної мережі УЗ; значення максимального коефіцієнта використання тунелів найкращого варіанта не перевищує 0,5.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Будылдина, Н. В. Телекоммуникационные сети с многопротокольной коммутацией по меткам. Построение и оптимизация : моногр. / Н. В. Будылдина, В. П. Шувалов. – Екатеринбург, – 2006. – 287 с.
- Гольдштейн, А. Б. Механизм эффективного тунелирования в сети MPLS / А. Б. Гольдштейн. – Вестн. связи. – 2004. – № 2. – С. 48–54.
- Зайченко, Ю. П. Задача распределения потоков различных классов в сети с технологией MPLS / Ю. П. Зайченко, А. А. М. Шарадка. – Вісн. НТУУ «КПІ». – Сер. Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – 2005. – № 43. – С. 113–123.
- Кучерявый, Е. А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет / Е. А. Кучерявый. – Санкт–Петербург : Наука и техника, – 2004. – 336 с.
- Олвейн, В. Структура и реализация современной технологии MPLS / В. Олвейн. – Санкт–Петербург : Питер, 2004. – 480 с.
- Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – Санкт–Петербург : Питер, 2010. – 944 с.
- Пахомова, В. М. Логічна структуризація інформаційних мереж залізничного транспорту на основі комутаторів Ethernet / В. М. Пахомова, В. В. Повод // 36. наук. пр. Дон. ін-ту заліз. трансп. – 2012. – Вип. 29. – С. 11–18.
- Пахомова, В. М. Возможность использования технологии 100VG-AnyLAN в информационных системах залізничного транспорту / В. М. Пахомова, Т. І. Скабалланович, Д. А. Ляхов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 2 (41). – С. 199–204.
- Пахомова, В. М. Модифікована імітаційна модель локальної мережі за маркерним методом доступу до шини / В. М. Пахомова, Л. В. Стрибулевич // Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – №. 4 (46). – С. 90–98.
- Столингс, В. Современные компьютерные сети / В. Столингс. – Санкт–Петербург : Питер, 2003. – 783 с.
- Хандецкий, В. С. Эффективность обмена маршрутной информацией в иерархических структурах OSPF-мереж / В. С. Хандецкий, В. М. Григор'єв, П. В. Хандецкий. // Сучасні проблеми і досягнення в галузі телекомунікацій та інформац. технологій (19.09-21.09. 2012) : тез. доп. VI міжн. наук.-практ. конф. – Запоріжжя. – 2012. – С. 280–281.
- Fiche, G. The Tunneling Technique and the Tandem Queue Effect / G. Fiche, Y. Veillard // In International Workshop on Future Service, Alcatel, France 2000.
- Le Gall, P. Single server queuing networks with varying service times and renewal input / P. Le Gall. // J. of Appl. Mathematics and Stochastic Analysis. – 2000. – № 13. – P. 429–450. doi: 10.1155/s1048953300000368.

В. Н. ПАХОМОВА^{1*}

^{1*}Каф. «Електронні висчислювальні машини», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 89, ел. пошта viknik.p1988@mail.ru, ORCID 0000-0001-8346-0405

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНЖИНИРИНГА ТРАФИКА В КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ УКРЗАЛИЗНЫЦИ ТЕХНОЛОГИИ MPLS TE

Цель. На железнодорожном транспорте Украины необходимым является применение компьютерных сетей различных технологий: Ethernet, Token Bus, Token Ring, FDDI и других. В объединенных компьютерных сетях на железнодорожном транспорте рациональным является использование технологии коммутации пакетов в многопротокольных сетях MPLS (MultiProtocol Label Switching), которая основана на использовании меток. Сети с коммутацией пакетов должны передавать различные виды трафика с заданным качеством обслуживания. Целью исследования является разработка методики определения последовательности назначения потоков для рассмотренного фрагмента компьютерной сети Укрзализныци (УЗ). **Методика.** При оптимизации управления трафиком в сетях MPLS важную роль оказывает технология инжиниринга трафика (Traffic Engineering, TE). Основным механизмом TE в MPLS – использование однонаправленных туннелей (MPLS TE tunnel) для задания пути прохождения определенного трафика. Составлена математическая модель задачи инжиниринга трафика в компьютерной сети УЗ технологии MPLS TE. Компьютерная сеть УЗ представлена ориентированным графом, вершинами которого являются маршрутизаторы компьютерной сети, а каждая дуга моделирует связь между узлами. В качестве критерия оптимизации выступает минимальное значение максимального коэффициента использования ТЕ-туннелей. **Результаты.** Определены шесть вариантов назначения потоков; найдена рациональная последовательность потоков, при которой значение максимального коэффициента использования ТЕ-туннелей рассмотренного упрощенного фрагмента компьютерной сети УЗ не превышает 0,5. **Научная новизна.** Предложена методика решения задачи инжиниринга трафика в многопротокольной компьютерной сети УЗ технологии MPLS TE; для разных классов прокладывается свой путь в зависимости от полосы пропускания и загрузки канала. **Практическая значимость.** Установлена возможность определения значений максимальных коэффициентов использования ТЕ-туннелей в компьютерных сетях УЗ на основе разработанной программной модели «TraffEng». Входные параметры модели: количество маршрутизаторов, пропускная способность каналов, количество потоков, средняя скорость потоков. В качестве результата работы модели «TraffEng» представляются варианты выбора ТЕ-туннелей с соответствующими значениями максимальных коэффициентов их использования.

Ключевые слова: технология MPLS TE; инжиниринг трафика; скорость потока; пропускная способность; коэффициент использования; ТЕ-туннель

V. N. PAKHOMOVA^{1*}

^{1*}Dep. «Electronic Computing Machines», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 89, e-mail viknik.p1988@mail.ru, ORCID 0000-0001-8346-0405

RESEARCH OF ENGINEERING TRAFFIC IN COMPUTER OF UKRZALIZNYTSIA NETWORK USING MPLS TE TECHNOLOGY

Purpose. In railway transport of Ukraine one requires the use of computer networks of different technologies: Ethernet, Token Bus, Token Ring, FDDI and others. In combined computer networks on the railway transport it is necessary to use packet switching technology in multiprotocol networks MPLS (MultiProtocol Label Switching) more effectively. They are based on the use of tags. Packet network must transmit different types of traffic with a given quality of service. The purpose of the research is development a methodology for determining the sequence of destination flows for the considered fragment of computer network of UZ. **Methodology.** When optimizing traffic management in MPLS networks has the important role of technology traffic engineering (Traffic Engineering, TE). The main mechanism of TE in MPLS is the use of unidirectional tunnels (MPLS TE tunnel) to specify the path of the specified traffic. The mathematical model of the problem of traffic engineering in computer network of UZ technology MPLS TE was made. Computer UZ network is represented with the directed graph, their vertices are routers of computer network, and

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

each arc simulates communication between nodes. As an optimization criterion serves the minimum value of the maximum utilization of the TE-tunnel. **Findings.** The six options destination flows were determined; rational sequence of flows was found, at which the maximum utilization of TE-tunnels considered a simplified fragment of a computer UZ network does not exceed 0.5. **Originality.** The method of solving the problem of traffic engineering in Multiprotocol network UZ technology MPLS TE was proposed; for different classes its own way is laid, depending on the bandwidth and channel loading. **Practical value.** Ability to determine the values of the maximum coefficient of use of TE-tunnels in computer UZ networks based on developed software model «TraffEng». The input parameters of the model: number of routers, channel capacity, the number of streams, the average flow velocity. As a result of the model «TraffEng» choices variants of TE-tunnels with the corresponding values of the maximum coefficient of their use are presented.

Keywords: MPLS TE technology; traffic engineering; flow rate; bandwidth utilization; TE-tunnel

REFERENCES

1. Budyldina N.V., Shuvalov V.P. *Telekommunikatsionnyye seti s mnogoprotokolnoy kommutatsiey po metkam. Postroyeniye i optimizatsiya* [Telecommunication network with multiprotocol switched labels. Design and optimization]. Ekaterinburg Publ., 2006. 287 p.
2. Goldshteyn A.B. Mekhanizm effektivnogo tunnelirovaniya v seti MPLS [The mechanism of effective tunneling in MPLS network]. *Vestnik svyazi – Bulletin of communication*, 2004, no. 2, 12 p.
3. Zaychenko Yu.P., Sharadka A.A.M. Zadacha raspredeleniya potokov razlichnykh klassov v seti s tekhnologiyey MPLS [The task of distribution of different classes in the network with MPLS technology]. *Visnyk NTUU «KPI» – Bulletin of NTUU «KPI»*, 2005, no. 43, pp. 113-23.
4. Kucheryavyye.A. *Upravleniye trafikom i kachestvo obsluzhivaniya v seti Internet* [Traffic management and quality of service in the Internet]. Sant-Petersburg, Nauka i Tekhnika Publ., 2004. 336 p.
5. Olvey V. *Struktura i realizatsiya sovremennoy tekhnologii MPLS* [The design and implementation of modern technologies MPLS]. Sant-Petersburg, Piter Publ., 2004. 480 p.
6. Olifer, V.G., Olifer N.A. *Kompyuternye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly* [Computer network. Principles, technologies and protocols]. Sant-Peterburg, Piter Publ., 2010. 944 p.
7. Pakhomova V.M., Povod V.V. Lohichna strukturyzatsiia informatsiinykh mrezezh zaliznychnoho transportu na osnovi komutatoriv Ethernet [Logical structuring of information networks of railway transport on the basis of Ethernet switches]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu* [Proc. of Donetsk Institute of Railway Transport], 2012, no. 29, pp. 11-18.
8. Pakhomova V.M., Skaballanovych T.I., Liakhov D.A. Mozhlyvist vykorystannia tekhnolohii 100VG-AnyLAN v informatsiinykh systemakh zaliznychnoho transportu [The possibility of the use of technology 100VG-AnyLAN in the information systems of railway transport]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 2 (41), pp. 199-204.
9. Pakhomova V.M., Strybulevych L.V. Modyfikovana imitatsiina model lokalnoi mrezezhi za markernym metodom dostupu do shyny [Modified network simulation model with token method of bus access]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University*, 2013, no. 4 (46), pp. 90-98.
10. Stolings V. *Sovremennyye kompyuternyye seti* [Modern computer networks]. Sant-Petersburg, Piter Publ., 2003. 783 p.
11. Khandetskyi V.S., Hryhoriev V.M., Khandetskyi P.V. Efektyvnist obminu marshrutnoi informatsiieiu v hierarkhichnykh strukturakh OSPF-mrezezh [The efficiency of the exchange of routing information in the hierarchical structures of OSPF networks]. *Tezy dopovidi VI mizhnarodnoi naukovoï-praktychnoi konferentsii. «Suchasni problemy i dosiahnennia v haluzi telekomunikatsii ta informatsiinykh tekhnolohii»* [Proc. of the VI Intern. Sci and Pract. Conf. «Modern problems and achievements in the field of telecommunications and information technologies»]. Zaporizhia, 2012, pp. 280-281.
12. Fiche G., Veillard Y. The Tunneling Technique and the Tandem Queue Effect. In International Workshop on Future Service, Alcatel, France 2000.
13. Le Gall P. Single server queuing networks with varying service times and renewal input. *Journal of Appl. Mathematics and Stochastic Analysis*, 2000, no. 13, pp. 429-450. doi: 10.1155/s1048953300000368.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. О. І. Міхальовим (Україна); д.т.н., проф. А. А. Косолаповим (Україна)

Надійшла до редколегії 04.11.2014

Прийнята до друку 23.12.2014

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.42.083

О. С. КРАШЕНІНІН^{1*}

^{1*}Каф. «Експлуатація та ремонт рухомого складу», Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, площа Фейєрбаха, 7, Україна, 61050, тел. + 38 (057) 730 19 99, ел. пошта info@kart.edu.ua, ORCID 0000-0001-5079-5903

ВПЛИВ НАПРАЦЮВАННЯ ЛОКОМОТИВІВ НА КОРЕКТУВАННЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ПОТОЧНОГО РЕМОНТУ

Мета. Основною метою статті є доведення доцільності та необхідності коректування періодичності й обсягів технічного обслуговування (ТО) і поточного ремонту (ПР) локомотивів при наближенні та перевищенні нормативного терміну їх експлуатації. **Методика.** У зв'язку з фізичним і моральним зносом рухомого складу в сучасних умовах найважливішим напрямком забезпечення ефективності роботи залізничного транспорту в перспективі є раціональне використання експлуатованого рухомого складу в межах призначеного та подовженого термінів служби. При цьому подовження терміну експлуатації локомотивів повинно здійснюватися шляхом дотримання оптимального співвідношення заходів по коригуванню термінів і технології ТО, ПР і підготовки ремонтної бази. У статті наведено складові залежностей, що формують обсяги робіт по ТО, ПР за часом експлуатації. Шляхом моделювання їх змін побудовані графічні залежності, які реалізують коректування системи утримання тягового рухомого складу (ТРС) у понаднормативний період. У ході дослідження було виявлено, що динаміка процесів зміни необхідних витрат на ТО, ПР зростає. Показано, що, в умовах старіння локомотивного парку та ремонтної бази локомотивного господарства, виникла ситуація, яка є критичною для залізничного транспорту України. У зв'язку з цим, вимушено, на кінець експлуатації обсяг робіт щодо рекомендованих правил ремонту дещо збільшується. Коли локомотив новий або після капітального ремонту – відхилення від нормативного пробігу при жорсткому дотриманні ремонтних вимог (відповідність технічним нормативам) не перевищує норми. Однак, коли нормативний термін вичерпується, дотримувати ці норми не вдається. З наведених даних встановлено, що чим більше кількість ТО, ПР і непланового ремонту (НР) в ремонтному циклі, тим більше зусиль потрібно докладати для забезпечення кратності пробігів між плановими ТО, ПР. Доцільно частіше проводити ремонтні роботи, що забезпечують менші витрати на утримання локомотивів. **Результати.** Отримані значення ефективності утримання ТРС для різних тактик їх підтримки. **Наукова новизна.** Теоретично показана необхідність коректування термінів і технологій ТО, ПР ТРС при подовженні терміну їх експлуатації. **Практична значимість.** Отримані результати дозволяють підвищити ефективність використання ТРС із оптимальними витратами.

Ключові слова: технічне обслуговування; поточний ремонт; тяговий рухомий склад; локомотив; після-нормативний термін експлуатації

Вступ

Практикою експлуатації магістральних локомотивів встановлено, що фактично періодичність ТО для локомотивів в період добігання нормативного терміну систематично зменшується. Тобто планова періодичність ТО практично

не виконується, вона здійснюється диференційовано залежно від загальної наробки. Фактично здійснюється стихійний період до обслуговування локомотивів за потреби [1, 2, 6, 15, 17].

Питанням визначення та поліпшення техніко-економічних показників функціонування тя-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

гового рухомого складу приділяється багато уваги. Фундаментальні дослідження в цьому напрямку виконувались і виконуються в таких наукових організаціях, як: Державне підприємство «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України», Українська державна академія залізничного транспорту, Східноукраїнський національний університет «ХП», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля та ін.

Питання підвищення техніко-економічних показників роботи залізничного транспорту впровадження ресурсозберігаючих технологій висвітлені в дослідженнях Данька М. І., Бутько Т. В., Ломотька Д. В. та ін.

Розробці і розвитку основних принципів теорії надійності, оптимізації технічного обслуговування і ремонту рухомого складу присвячені роботи Бабаніна О.Б., Басова Г.Г., Дьоміна Ю.В., Калабухіна Ю.Є., Капіци М.І., Мороза В.І., Тартаковського Е.Д., Устенко О.В., Фалендиша А.П. та інших авторів.

Питанням визначення витрат життєвого циклу локомотивів залізничного транспорту присвячені роботи Павлова Л. Н., Подшивалова А. Б., Осяєва А. Г., Соколова Ю. І., Вавилова Н. Є., Іванової Н. Т. та ін.

Мета

Показати залежність кратності міжремонтних пробігів та витрат на утримання локомотивів в період понаднормативного використання. Доцільність зменшення міжремонтних пробігів.

Методика

Нові економічні умови, в яких функціонують підприємства локомотивного господарства, зумовлюють необхідність більш ретельної оцінки економічної складової терміну експлуатації локомотивів, що пов'язано з оцінкою ціни їх життєвого циклу. Експлуатація будь-якого локомотива потребує визначення разових і поточних витрат, що розділені в часі. Термін цих витрат і визначає «життєвий цикл» (ЖЦ).

За нинішніх умов актуальною стає задача для діючих та нових локомотивів визначити наукові підходи щодо обґрунтування технології ТО, ПР, коли термін експлуатації локомотивів

наближається до нормативного або досяг його. Це означає можливість коректування ЖЦ локомотивів з точки зору економічно обґрунтованого нормативного терміну експлуатації і відповідної стратегії ТО, ПР [18, 16].

Розглянемо графічну інтерпретацію доцільності здійснення технологічних заходів щодо організації технічного обслуговування або поточного ремонту обладнання для забезпечення умови кратності міжремонтних пробігів. Для цього побудуємо графічні залежності зміни витрат на виконання технологічних заходів за період експлуатації T , нехай за цей період технічний стан обладнання локомотива декілька разів потребує виконання профілактичних та відновлювальних робіт (рис. 1).

В разі дотримання вимог кратності міжремонтних пробігів доводиться з часом експлуатації коректувати обсяги робіт. Це зумовлено тим, що досягти пропорційної зміни параметра якогось обладнання неможливо. За умови різної інтенсивності використання обладнання локомотивів, зміни впливу навколишнього середовища, процесів старіння, які характерні в останній період експлуатації до списання. Якщо умовно уявити цей процес у вигляді лінійної залежності, то можна спостерігати, що динаміка процесів зміни необхідних витрат на ТО, ПР наростає. Графічно це полягає в збільшенні кута нахилу прямої за планові періоди t , тобто $tg\alpha < tg\beta < tg\delta$.

Відповідно до цього, як видно з наведеного, на кінець експлуатації обсяг робіт відносно рекомендованих правилами ремонту дещо збільшується. Якщо в перший період вдається дотримуватися планових технічних заходів та навіть деякі виконувати умовно, то в наступні періоди спостерігається зростання додаткових робіт ΔC_i . Практика і аналіз обсягу додаткових робіт показує, що доводиться виконувати в деякі періоди 30 % і більше обсягу планових заходів. На рис. 1 це умовно позначено складовою ΔC_i , яка з часом має тенденцію росту. Це доводить, що досягти пропорційності міжремонтних пробігів вдається шляхом збільшення обсягів робіт з кожним наступним ТО, ПР. В загальному вигляді ці витрати можна спрощено навести у вигляді

$$\sum C_i = C_i + \sum_{i=1}^{n-1} (C_1 + i\Delta C_i) + \sum_{j=1}^m C_{HPj}, \quad (1)$$

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

де C_1 – витрати за плановою технологією; ΔC_i – середні додаткові витрати на наступний i – й вид ТО, ПР; n – кількість ТО, ПР в ремонтному циклі; C_{HPj} – витрати на НР на j – му інтервалі експлуатації; m – кількість НР.

Припустимо, що з кожним ТО або ПР $\Delta C_{i+1} = i \cdot \Delta C_i$, тоді

$$\sum C_i = nC_1 + (n-1)\Delta C_1 + mC_{HP} . \quad (2)$$

Слід відмітити, що кількість НР за багаторічними дослідженнями може складати до 30 % від планових ТО – 3.

Тим самим підтверджується факт, що якість технічного обслуговування ТО – 3 багато в чому залежить від кваліфікації ремонтного персоналу та рівня організації виробництва. Приймати цей факт як остаточний можна з деякими припущеннями.

В розглянутому випадку це було визвано необхідністю привести до початкового рівня порівняння витрат для можливих варіантів організації і пробігів ТО, ПР. Так другий варіант приймається за умови, що поставлене завдання дотримуватися однакових витрат на ТО, ПР [3, 5, 8, 9].

Розглянемо декілька можливих варіантів, що забезпечують різну глибину виконання ТО, ПР,

які на рисунку позначені суцільною лінією, пунктирною і штрихпунктирною. В першому випадку приймається, що після першого ТО можливі такі варіанти глибини виконаних заходів:

а) суцільна лінія – глибина технологічних заходів як і для варіанта, коли дотримуються пропорційності міжремонтних пробігів, тобто рівень відновлення з ним співпадає;

б) штрихова лінія – рівень відновлення співпадає з попереднім, а далі зменшується;

в) штрихпунктирна лінія – рівень відновлення до глибини вихідного стану.

З наведених залежностей видно, що доводиться скорочувати міжремонтні періоди, що вимагає більш частого виконання ТО, зрозуміло, що варіанти б, в важко реалізувати, оскільки з часом технічний стан обладнання локомотива погіршується і виконувати глибоке відновлення проблематично за відведений термін [7, 10].

Слід відмітити, що деякий час, особливо коли локомотив новий або після капітального ремонту, відхилення від нормативного пробігу за жорсткого дотримання ремонтних вимог (відповідність технічним нормативам) не перевищує норми, що прийнята: ± 20 % від нормативного пробігу.

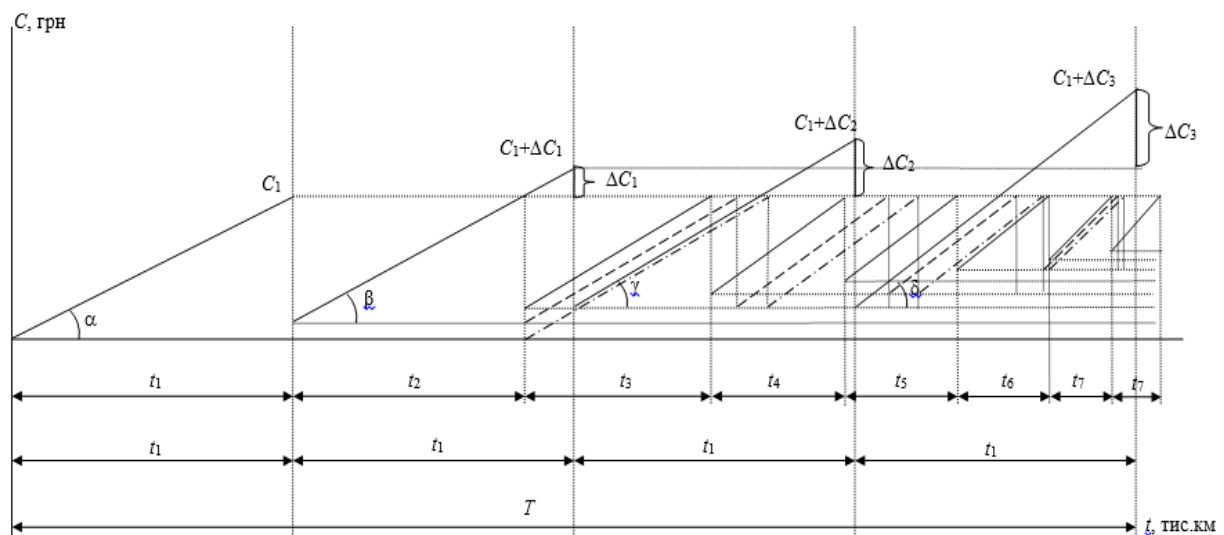
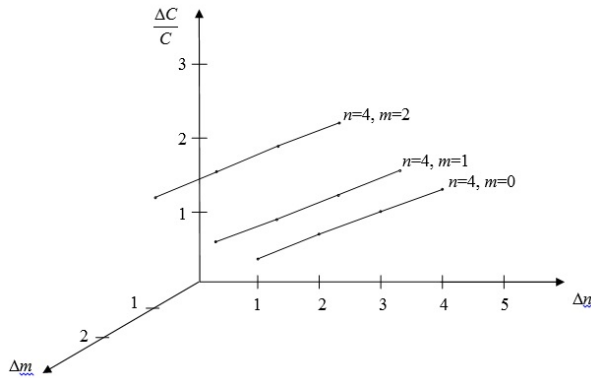


Рис. 1. Зміни витрат на утримання локомотивів для різних стратегій ТО, ПР:
 — діюча періодичність ТО, ПР; зкоректована періодичність ТО, ПР

Fig. 1. Changes in the cost of maintenance of locomotives for different maintenance strategies, current repair:
 — acting periodicity of maintenance, current repair; corrected periodicity of maintenance, current repair

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Рис. 2. Зміна приведених витрат залежності від Δn і Δm Fig. 2. Changes in the cost depending on Δn and Δm

Однак, коли нормативний час вичерпується, дотримуватися цих норм не вдається.

Відмітимо, що для варіанта *a* витрати на організацію ТО, ПР можна подати у вигляді

$$\sum C_{II} = \sum C_a = n_1 C_1 + m_1 C_{HP}, \quad (3)$$

де n_1 , m_1 – відповідна кількість ТО, ПР і НР в ремонтному циклі.

Нехай за розглянутий період умова $\sum C_I = \sum C_{II}$.

В загальному вигляді

$$nC_1 + (n-1)\Delta C_1 + mC_{HP} = n_1 C_1 + m_1 C_{HP}. \quad (4)$$

Звідки

$$\Delta C_1 = \frac{(n_1 - n)C_1 + (m_1 - m)C_{HP}}{n - 1} = \frac{\Delta n C_1 + \Delta m C_{HP}}{n - 1}, \quad (5)$$

де $\Delta n = n_1 - n$, $\Delta m = m_1 - m$, $\Delta n = 1 \div k$, $\Delta m = 0 \div l$

Умовно прийнемо, хоча це не принципово, що $C_1 = C_{HP}$, тоді вираз зводиться до вигляду

$$\frac{\Delta C_1}{C_1} = \frac{\Delta n + \Delta m}{n - 1}. \quad (6)$$

Це співвідношення дозволяє проаналізувати зміну приведених додаткових витрат в ремонтному циклі. В табл. 1 наведені розрахунки, а на рис. 2 залежність $\frac{\Delta C_1}{C_1} = f(\Delta n, \Delta m)$.

Таблиця 1

Table 1

| Δn | $n = 3$ | | | $n = 4$ | | | $n = 5$ | | |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | $\Delta m = 0$ | $\Delta m = 1$ | $\Delta m = 2$ | $\Delta m = 0$ | $\Delta m = 1$ | $\Delta m = 2$ | $\Delta m = 0$ | $\Delta m = 1$ | $\Delta m = 2$ |
| 1 | 0,5 | 1 | 1,5 | 0,3 | 0,67 | 1,3 | 0,25 | 0,5 | 0,75 |
| 2 | 1 | 1,5 | 2,0 | 0,67 | 1 | 1,67 | 0,5 | 0,75 | 1 |
| 3 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 1 | 1,33 | 2 | 0,75 | 1 | 1,25 |
| 4 | 2,0 | 2,5 | 3 | 1,3 | 1,67 | 2,3 | 1 | 1,25 | 1,5 |

З наведених залежностей видно, що чим більше Δn і Δm , тим більше зусиль треба докладати в забезпечення кратності пробігів між плановими ТО, ПР. І, чим менший загальний пробіг, тим складніше забезпечувати кратність міжремонтних пробігів. Тобто доцільно частіше виконувати ремонтні заходи, щоб забезпечити менші витрати на утримання локомотивів [2–5, 7].

Результати

Отримані значення ефективності утримання ТРС для різних тактик їх підтримки.

Наукова новизна та практична значимість

Теоретично показана необхідність коректування термінів і технології ТО, ПР ТРС при продовженні терміну їх експлуатації. Що також дозволяє підвищити ефективність використання ТРС з оптимальними витратами.

Висновки

1. Наведені залежності доводять той факт, що дотримання умови кратності міжремонтних пробігів цілком залежить від необхідності росту витрат на утримання локомотивів.

2. В період понаднормативного використання локомотивів це може призвести до значних і неефективних витрат. Тому необхідно коректувати пробіги в бік зменшення, що знизить втрати на утримання локомотивів за рахунок направлення зусиль на конкретні необхідні профілактичні заходи.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабанін, О. Б. Визначення раціональних періодів контролю технічного обладнання локомотивного депо / О. Б. Бабанін, В. М. Данько // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – 2010. – Вип. 113. – С. 68–75.
2. Байхельт, Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен; пер. с нем. М. Г. Коновалова. – Москва : Радио и связь, 1988. – 390 с.
3. Боднар, Є. Б. Основні вимоги та принципи створення бортових систем діагностування локомотивів / Є. Б. Боднар // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 1 (49). – С. 68–74.
4. Болотин, В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В. В. Болотин. – Москва : Машиностроение, 1984. – 312 с.
5. Гринів, Ю. В. Методика оцінки терміну виробництва нового ТРС для заміни експлуатованого ТРС, ресурс якого наблизився до граничного / Ю. В. Гринів, О. С. Крашенінін, М. В. Максимов // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – 2012. – Вип. 133. – С. 247–250.
6. Козлов, Б. А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики / Б. А. Козлов, И. А. Ушаков. – Москва : Советское радио, 1975. – 472 с.
7. Крашенінін, О. С. Методика оцінки ефективності подовження терміну служби ТРС після досягнення нормативних термінів / О. С. Крашенінін, О. О. Шапатіна, О. М. Обозний // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – 2009. – Вип. 111. – С. 183–189.
8. Крашенінін, О. С. Модель розрахунку кількості ремонтів локомотивів з урахуванням імовірного розподілу їх пробігів / О. С. Крашенінін, А. П. Фалендиш // Вісн. Міжнар. слов'янського ун-ту. Сер. «Техн. науки». – Харків, 2004. – Т. VII, № 2. – С. 33–35.
9. Крашенінін, О. С. Оцінка ефективності системи подовження терміну служби ТРС більш нормативного і оновлення експлуатаційного парку / О. С. Крашенінін, П. О. Харламов // Вісн. Східноукр. ун-ту ім. Володимира Даля. – Луганськ, 2012. – № 3 (174). – С. 109–113.
10. Михлин, В. М. Прогнозирование технического состояния машин / В. М. Михлин. – Москва : Колос, 1976. – 287 с.
11. Молчанов, В. В. Новые технологии и оборудования контроля и диагностирования железнодорожной техники / В. В. Молчанов, В. Г. Шахов // Известия Транссиба. – 2010. – № 4. – С. 116–120.
12. Оцінка показників ТО при подовженні терміну експлуатації ТРС по наробці / Е. Д. Тартаковський, О. В. Устенко, О. С. Крашенінін, О. М. Обозний // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – 2012. – Вип. 132. – С. 5–11.
13. Сухарев, Э. А. Теория эксплуатационной надежности машин. Лекционный курс / Э. А. Сухарев. – Рівне : УДАВГ, 1997. – 162 с.
14. Техническое обслуживание подвижного состава в странах Европы // Железные дороги мира. – 2009. – № 4. – С. 50–52.
15. Электроподвижной состав: эксплуатация, надежность, ремонт / под ред. А. Т. Головатого, П. И. Борцова. – Москва : Транспорт, 1983. – 350 с.
16. Cantos, P. Efficiency Measures and Output Specification: The Case of European Railways / P. Cantos, J. M. Pastor, L. Serrano // J. of Transport and Statistics. – 2000. – Vol. 3, № 3. – P. 61–68.
17. Hughes, M. Cost and capacity drive high speed train design / M. Hughes // Railway Gazette International. – 2010. – № 5. – P. 37–39.
18. New technology center for temple mills train service Eurostar // Railway Gazette International. – 2008. – № 10. – P. 820–821.

А. С. КРАШЕНИНИН^{1*}

^{1*}Каф. «Эксплуатация и ремонт подвижного состава», Украинская государственная академия железного транспорта, площадь Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61050, тел. + 38 (057) 730 19 99, эл. почта info@kart.edu.ua, ORCID 0000-0001-5079-5903

ВЛИЯНИЕ НАРАБОТКИ ЛОКОМОТИВОВ НА КОРРЕКТИРОВАНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА

Цель. Основная цель работы – обосновать необходимость корректировки периодичности и объемов ТО (техническое обслуживание), ТР (текущий ремонт) локомотивов при приближении или превышении нормативного срока их эксплуатации. **Методика.** В связи с физическим и моральным износом подвижного состава

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

в современных условиях важнейшим направлением обеспечения эффективности работы железнодорожного транспорта в обозримой перспективе является рациональное использование эксплуатируемого подвижного состава в пределах назначенного и продленного сроков службы. При этом продление срока эксплуатации локомотивов должно осуществляться путем соблюдения оптимального соотношения мероприятий по корректировке сроков и технологии ТО, ТР и подготовки ремонтной базы. В статье приведены составляющие зависимости, формирующих объемы работ по ТО, ТР по времени эксплуатации. Путем моделирования их изменений построены графические зависимости, которые реализуют скорректированную систему содержания ТПС (тяговый подвижной состав) в после нормативный период эксплуатации. В ходе исследования было выявлено, что динамика процессов изменения необходимых затрат на ТО, ТР возрастает. Показано, что в условиях старения локомотивного парка и ремонтной базы локомотивного хозяйства возникла ситуация, которая является критической для железнодорожного транспорта Украины. В связи с этим, вынужденно, к концу эксплуатации объем работ относительно рекомендованных правил ремонта изменяется, несколько увеличиваясь. Когда локомотив новый или после капитального ремонта, – отклонения от нормативного пробега при жестком соблюдении ремонтных требований (соответствие техническим нормативам) не превышает нормы. Однако, когда нормативный срок исчерпывается, соблюдать эти нормы не удастся. Из приведенных данных установлено: чем больше количество ТО, ТР и НР в ремонтном цикле, тем больше усилий нужно прикладывать для обеспечения кратности пробегов между плановыми ТО, ТР. Целесообразно чаще проводить ремонтные работы, обеспечивающие меньшие расходы на содержание локомотивов. **Результаты.** Получены значения эффективности содержания ТПС (тяговый подвижной состав) для различных тактик их поддержки. **Научная новизна.** Теоретически показана необходимость корректировки сроков и технологии ТО, ТР ТПС при эксплуатации локомотивов сверхнормативно. **Практическая значимость.** Полученные результаты позволяют повысить эффективность использования ТПС с оптимальными затратами.

Ключевые слова: техническое обслуживание; текущий ремонт; тяговый подвижной состав; локомотив; посленормативный срок эксплуатации

O. S. KRASHENININ^{1*}

^{1*}Dep. «Operation and Repair of Rolling Stock», Ukrainian State Academy of Railway Transport, Feuerbach Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. + 38 (057) 730 19 99, e-mail info@kart.edu.ua, ORCID 0000-0001-5079-5903

THE EFFECT OF LOCOMOTIVE HOURS ON ADJUSTING PERIODICITY OF MAINTENANCE SERVICE AND CURRENT REPAIR

Purpose. The main purpose of this paper is to substantiate the necessity of period adjustment and volumes of maintenance, current repairs of locomotive approaching and regulatory exceeded of their useful operational time. **Methodology.** In connection with the physical and moral depreciation of rolling stock in modern conditions the most important area to ensure the effectiveness of rail transport in the foreseeable future is the rational use of the rolling stock in operation within the designated and extended service life. At the same time extending the operational time of the locomotives must be achieved by compliance with the optimum ratio of measures to adjust the timing and technology maintenance, current repairs and preparation of repair base. The paper presents the components of dependency forming work amount on maintenance, current repairs with time operation. By the modeling of its changes a graph that implement adjusted system to the content of the rolling stock traction after operation were constructed. The study found that the dynamics of change processes of necessary expenses for maintenance and current repair increases. It is shown that under aging conditions of locomotive fleet and repair base of locomotive economy, a situation that is a critical for the railway transport of Ukraine has appeared. According to it, to the end of operation the amount of work relative to the recommended rules of repair increases slightly. When the locomotive is new or renovated, deviations from the standard path for rigid observance of repair requirements (the compliance with technical standards) does not exceed the norm. However, when the standard period is exhausted, to comply with these standards is not possible. From the data it was found that the greater the amount of maintenance, routine repair in the repair cycle, the more effort you need to put in a multiplicity of software runs between scheduled of maintenance, current repairs. It is advisable to conduct more repair work to ensure lower costs for the maintenance of locomotives. **Findings.** The values for the effective maintenance of traction rolling stock for a variety of tactics to support them were obtained. **Originality.** Theoretically the need to adjust the timing and technology maintenance and current repair of traction rolling stock in the operation of locomotives, over normative was demonstrated. **Practical value.** Obtained results allow increasing the efficient use of traction rolling stock with effectively cost.

Keywords: maintenance; current repairs; traction rolling stock; locomotive; after a standard period of operation

REFERENCES

1. Babanin O.B., Danko V.M. Vyznachennia ratsionalnykh periodiv kontroliu tekhnichnoho obladnannia lokomotyvnoho depo [The definition of rational periods of technical equipment control of the locomotive depot]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT* [Proc. of Ukrainian National Academy of Railway Transport], 2010, no. 113, pp. 68-75.
2. Baykhelt F., Franken P. *Nadezhnost i tekhnicheskoye obsluzhivaniye. Matematicheskiy podkhod* [Reliability and maintenance. A mathematical approach]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1988. 390 p.
3. Bolotin V.V. *Prognozirovaniye resursa mashin i konstruktsey* [The resource forecasting of machines and structures]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1984. 312 p.
4. Bodnar Ye.B. Osnovni vymohy ta pryntsypy stvorennia bortovykh system diahnostuvannia lokomotyviv [The main requirements and principles for the on-board diagnostic systems of locomotives]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 1 (49), pp. 68-74.
5. Hryniv Yu.V., Krashenin O.S., Maksymov M.V. Metodyka otsinky terminu vyrobnytstva novoho TRS dlia zaminy ekspluatovanoho TRS, resurs yakoho nablyzysia do hranychnoho [The estimation method of the production period of the new TRS to replace exploited TRS, a resource that has reached to the limit]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT* [Proc. of Ukrainian National Academy of Railway Transport], 2012, no. 133, pp. 247-250.
6. Kozlov B.A., Ushakov I.A. *Spravochnik po raschetu nadezhnosti apparatury radioelektroniki i avtomatiki* [Handbook for estimating the reliability of radio electronics and automation]. Moscow, Sovetskoye radio Publ., 1975. 472 p.
7. Krashenin O.S., Shapatina O.O., Oboznyi O.M. Metodyka otsinky efektyvnosti podovzhennia terminu sluzhby TRS pislia dosiagnennia normatyvnykh terminiv [Methods of evaluating the effectiveness of TRS extension services after reaching of the legal terms]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT* [Proc. of Ukrainian National Academy of Railway Transport], 2009, no. 111, pp. 183-189.
8. Krashenin O.S., Falendysh A.P. Model rozrakhunku kilkosti remontiv lokomotyviv z urakhuvanniam imovirnisnoho rozpodilu yikh probihiv [The model calculation of the number of repairs of locomotives taking into account the probability distribution of their endurance]. *Visnyk Mizhnarodnoho Slovianskoho universytetu* [Bulletin of the International Slavic University], 2004, vol. VII, no. 2, pp. 33-35.
9. Krashenin O.S., Kharlamov P.O. Otsinka efektyvnosti systemy podovzhennia terminu sluzhby TRS bilsh normatyvnoho i onovlennia ekspluatatsiinoho parku [The evaluation of the effectiveness of the system life extension of TRS more normative and operational update park]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dahlia* [Bulletin of the East Ukrainian national University named after Volodymyr Dahl], 2012, no. 3 (174), pp. 109-113.
10. Mikhlin V.M. *Prognozirovaniye tekhnicheskogo sostoyaniya mashin* [Forecasting of technical condition of machinery]. Moscow, Kolos Publ., 1976. 287 p.
11. Molchanov V.V., Shakhov V. G. Novyye tekhnologii i oborudovaniya kontrolya i diagnostirovaniya zheleznodorozhnoy tekhniki [New technologies and monitoring equipment and diagnostics of railway engineering]. *Izvestiya Transsiba – Proceedings of Transsib*, 2010, no. 4, pp. 116-120.
12. Tartakovskiy E.D., Ustenko O.V., Krashenin O.S., Oboznyi O.M. Otsinka pokaznykiv TO pry podovzheni terminu ekspluatatsii TRS po narobtsi [Performance assessment of MS during the extended operation life of the TRS]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT* [Proc. of Ukrainian National Academy of Railway Transport], 2012, issue 132, pp. 5-11.
13. Sukharev E.A. *Teoriya ekspluatatsionnoy nadezhnosti mashin. Lektsionnyy kurs* [The theory of operational reliability. Lecture course]. Rivne, UDAVG Publ., 1997. 162 p.
14. Tekhnicheskoye obsluzhivaniye podvizhnogo sostava v stranakh Yevropy [Maintenance of rolling stock in Europe]. *Zheleznyye dorogi mira – Railways of the world*, 2009, no. 4, pp. 50-52.
15. Golovatyy A.T., Bortsova P.I. *Elektropodvizhnoy sostav: ekspluatatsiya, nadezhnost, remont* [Electric stock: operation, reliability, repair]. Moscow, Transport Publ., 1983. 350 p.
16. Cantos P., Pastor J.M., Serrano L. Efficiency Measures and Output Specification: The Case of European Railways. *Journal of Transport and Statistics*, 2000, vol. 3, no. 3, pp. 61-68.
17. Hughes M. Cost and capacity drive high speed train design. *Railway Gazette International*, 2010, no. 5, pp. 37-39.
18. New technology center for temple mills train service Eurostar. *Railway Gazette International*, 2008, no. 10, pp. 820-821.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н. проф. Боднарем Б. Є. (Україна); д.т.н. проф. Жалкінім Д. С. (Україна)

Надійшла до редколегії 05.11.2014

Прийнята до друку 24.12.2014

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.424.016.12 (474.5)

Л. В. УРСУЛЯК^{1*}, В. О. СИРОТЕНКО²

^{1*}Каф. «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел +38 (056) 776 72 94, факс +38 (056) 776 72 44, эл. почта lyudmila.urs@yandex.ua, ORCID 0000-0001-5957-6926

²Отраслевая научно-исследовательская лаборатория динамики и прочности подвижного состава, 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 v380966866511v@yandex.ua, ORCID 0000-0001-5229-5910

АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВОЗОВ

Цель. В работе предполагается сравнить эксплуатационные характеристики грузовых тепловозов ER20CF и 2M62м, которые применяются на Литовских железных дорогах. В данной статье решаются важнейшие задачи по тяговым расчетам, которые являются основным расчетным инструментом в деле рационального функционирования, планирования и развития железных дорог. Ими являются: определение расчетной массы подвижного состава, построение диаграммы удельных результирующих сил поезда, определение допустимой скорости движения поезда на спусках, построение кривых движения поезда на участке. **Методика.** Используя правила и методику тяговых расчетов, проводится анализ основных эксплуатационных характеристик модернизированного грузового тепловоза 2M62м и грузопассажирского сдвоенного тепловоза 2ER20CF. В качестве контролируемых параметров выбраны: максимальная масса составов, пройденный путь составом по скоростному подъему за счет использования кинетической энергии (с тягой и без тяги), техническая скорость, ускоряющая сила и значение наименьшего радиуса кривой. При проведении расчетов предполагалось, что поезда сформированы из полностью загруженных четырехосных полувагонов модели 112-119 (особенность – 606) с нагрузкой на ось 23,5 т; движение осуществлялось на бесстыковом пути; в голове состава расположен либо сдвоенный тепловоз 2ER20CF, либо двухсекционный тепловоз 2M62м. Для выбора расчетного подъема проанализирован продольный профиль пути на направлении Вильнюс-Клайпеда. Проверка на возможность преодоления скоростного подъема выполнялась аналитическим методом, с учетом использования кинетической энергии, накопленной на преодолении «легких» элементов профиля. **Результаты.** В результате расчетов был проанализирован максимальный вес состава с учетом расчетного подъема. Выполнена проверка расчетной массы состава на возможность надежного преодоления короткого подъема крутизны больше расчетного. Оценены значения ускоряющей силы в зависимости от скорости поезда и параметров продольного профиля, а также значения наименьшего радиуса кривой в зависимости от скорости движения, развиваемой различными тепловозами в тяговом режиме. Рассмотрены составы различной массы. **Научная новизна.** Проведен анализ эксплуатационных параметров модернизированного тепловоза 2M62м и сдвоенного тепловоза нового поколения 2ER20CF. **Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы для более эффективной эксплуатации указанных выше тепловозов на Литовских железных дорогах.

Ключевые слова: техническая скорость; тяговые расчеты; расчетный подъем; ускоряющая сила; радиус в кривой

Введение

Для увеличения провозной и пропускной способности Литовских железных дорог необходимо более эффективно использовать тяговый подвижной состав [2, 3, 12–14].

Масса состава – один из важнейших показателей работы железнодорожного транспорта. Увеличение массы составов позволяет повысить провозную способность железнодорожных линий, уменьшить удельный расход топлива

и электроэнергии, снизить себестоимость перевозок. Поэтому массу грузового состава определяют исходя из полного использования тяговых качеств локомотива [3, 4, 8–11].

В данной статье решаются важнейшие задачи по тяговым расчетам, которые являются основным расчетным инструментом в деле рационального функционирования, планирования и развития железных дорог: определение расчетной массы состава, построение диаграммы

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

удельных результирующих сил поезда, определение допустимой скорости движения поезда на спусках, построение кривых движения поезда на участке.

Цель

Выполнить сравнительную характеристику эксплуатационных параметров грузового тепловоза 2М62М и грузопассажирского сдвоенного тепловоза 2ЕР20СF. При проведении расчетов будем полагать, что поезда сформированы из полностью загруженных четырехосных полувагонов модели 112-119 (особенность – 606) с нагрузкой на ось 23,5 т; движение осуществляется на бесстыковом пути; в голове состава расположен либо сдвоенный тепловоз 2ЕР20СF, либо двухсекционный тепловоз 2М62М.

Методика

Сравнительный анализ эксплуатационных параметров тепловозов будем выполнять, используя правила и методику тяговых расчетов [1, 6, 7]. Указанные расчеты используются для разработки графика движения поездов, изыскания и проектирования железных дорог, расчетов в области экономической эффективности перевозок.

Расчет массы состава. Расчетный подъем – это наиболее трудный для движения в данном направлении элемент, на котором при имеющейся массе состава достигается расчетная скорость и соответствующая расчетная сила тяги локомотива. Расчетный подъем – один из основных параметров, определяющих массу состава, которая может быть перевезена по участку данным тепловозом. Достаточно крутой и в то же время длинный элемент профиля, который нельзя преодолеть за счет накопленной, в первую очередь на спусках, кинетической энергии на скорости, равной или больше расчетной, и будет расчетный подъем. Расчетный подъем не обязательно является наиболее крутым. Если на участке есть подъем круче расчетного, но он имеет небольшую протяженность и перед ним расположены «легкие» элементы профиля (спуски, площадки), где поезд может развить большую скорость, то даже при условии замедления на данном подъеме его скорость может не достичь расчетной. В таком случае подъем необходимо считать скоростным.

Проанализировав продольный профиль пути на направлении Вильнюс–Клайпеда в качестве расчетного подъема, был выбран уклон 7,8 ‰ нами длиной 2 200 метров на участке пути между станциями Телсая–Лиеплауке. На этом элементе профиля есть еще кривая в плане, длиной 475,9 м и радиусом 1 597 м, которую мы заменим фиктивным подъемом 0,1 ‰. Следовательно, массу состава будем рассчитывать для расчетного уклона 7,9 ‰.

Для выбранного расчетного подъема массу состава в тоннах вычисляют по формуле:

$$Q = \frac{F_p - (\omega'_0 + i_p) P g}{(\omega''_0 + i_p) g},$$

где F_p – расчетная сила тяги локомотива, Н; P – расчетная масса локомотива, т; ω'_0 – основное удельное сопротивление локомотива, Н/кН; ω''_0 – основное удельное сопротивление состава, Н/кН; i_p – крутизна расчетного подъема, ‰; g – ускорение свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$). Величины ω'_0 и ω''_0 определяют для расчетных скоростей локомотивов V_p .

Для тепловоза 2М62М – $V_p = 20 \text{ км/ч}$, $F_p = 457\,092 \text{ Н}$.

Для тепловоза 2ЕР20СF – $V_p = 16 \text{ км/ч}$, $F_p = 720\,000 \text{ Н}$.

Основное удельное сопротивление локомотива (Н/кН) в режиме тяги определяется по формуле:

$$\omega'_0 = 1,9 + 0,008 V + 0,00025 V^2.$$

Основное удельное сопротивление 4-осных грузовых вагонов на подшипниках качения (Н/кН) определяют по формуле:

$$\omega''_0 = 0,7 + \frac{3 + 0,09 V + 0,002 V^2}{q_0},$$

здесь q_0 – нагрузка на ось.

Вычисленную массу состава в соответствии с ПТР округляем:

$Q = 5\,000 \text{ т}$ с тепловозом 2М62М и $Q = 8\,000 \text{ т}$ со сдвоенным тепловозом 2ЕР20СF, т.е. масса состава, которую может ввезти тепловоз 2ЕР20СF на расчетный подъем, больше на 38,3 %.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Проверка расчетной массы состава на возможность надежного преодоления короткого подъема крутизны больше расчетного. Выполняется проверка на возможность преодоления скоростного подъема аналитическим методом, с учетом использования кинетической энергии, накопленной на преодоление «легких» элементов профиля. При этом принимают гипотезу о равнозамедленном движении поезда в интервале скорости $\Delta V \leq 10$ км/ч и используется расчетное соотношение:

$$S = \frac{4,17 (V_k^2 - V_n^2)}{f_k - \omega_0},$$

где V_n – скорость в начале интервала скорости ΔV ; V_k – скорость в конце интервала скорости ΔV , S – путь, проходимый поездом за время изменения скорости от V_n до V_k . Расчет пройденного пути по формуле ведут до тех пор, пока конечная скорость на данном интервале не будет равна расчетной, т.е. $V_k = V_p$.

Удельную силу тяги f_k (Н) и удельное сопротивление ω_0 (Н/кН) определяют для средней скорости движения на каждом интервале по формулам:

$$f_k = \frac{F_k}{(P + Q) g},$$

$$\omega_0 = \frac{(\omega'_0 + i_s) P g + (\omega''_0 + i_s) Q g}{(P + Q) g},$$

здесь i_s – величина уклона на скоростном подъеме. Для рассматриваемого направления $i_s = 9,5$ ‰ длиной 300 м.

По пройденному пути на каждом интервале скорости определяют суммарный путь $\sum S$.

Оценим значение ускоряющей силы в зависимости от скорости поезда. Как известно, ускоряющие силы в режиме тяги (Н/кН) рассчитываются по формуле:

$$f_{yc} = f_k - \omega_0 = \frac{F_k - (\omega'_0 m_T + \omega''_0 m_c) g}{(m_T + m_c) i},$$

где F_k – касательная сила тяги сдвоенного тепловоза ER20CF или тепловоза 2М62М;

ω'_0 – основное удельное сопротивление движению тепловоза в режиме тяги; ω''_0 – основное удельное сопротивление движению вагонов; m_T и m_c – масса тепловоза и состава соответственно.

Оценим значение наименьшего радиуса кривой в зависимости от скорости движения. Как известно, дополнительное удельное сопротивление движению от кривой на эксплуатируемых железных дорогах для всех видов подвижного состава можно определить по формуле:

$$\omega_r = \frac{700}{R}. \text{ Если предположить, что на данном}$$

участке пути поезд движется с постоянной скоростью, то в качестве ω_r можно принять удельную ускоряющую силу f_{yc} на данном участке.

В таком случае можно получить зависимость наименьшего радиуса кривой в зависимости от скорости движения. Рассмотрим полученные зависимости для случаев движения поездов разной массы на горизонтальном участке пути и на подъеме с уклоном величиной 3 ‰.

Результаты

Ниже на рис. 1 и 2 приведены графики зависимости пройденного пути поездом массой 5 000 тонн по скоростному подъему за счет использования кинетической энергии без тяги и с включенной тягой соответственно.

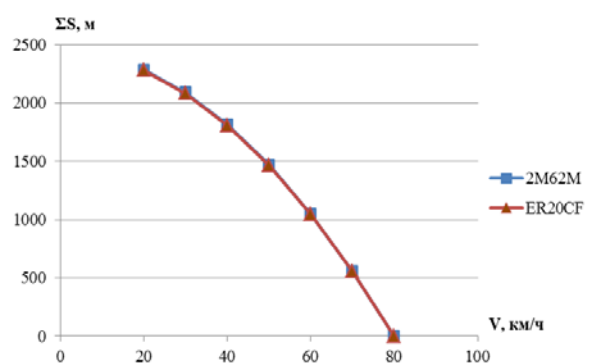


Рис. 1. Величины пройденного пути грузовым поездом массой 5 000 тонн по скоростному подъему 9,5 ‰ за счет использования кинетической энергии (без тяги)

Fig. 1. The magnitude distance traveled by the train, weight of 5,000 tons with ascents speed of 9.5‰ due to the use of the kinetic energy (without traction)

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

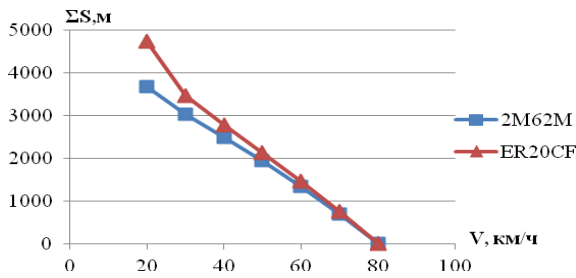


Рис. 2. Величины пройденного пути составом массой 5000 тонн по скоростному подъему 9,5‰ за счет использования кинетической энергии (с тягой)

Fig. 2. The magnitude distance traveled by the train, weight of 5,000 tons with ascents speed of 9.5‰ due to the use of the kinetic energy (with traction)

Как следует из приведенных рисунков, с включенной тягой пройденный путь на рассматриваемом подъеме поездом с тепловозом 2ER20CF на 23 % больше, чем с тепловозом 2M62M.

В качестве примера на рис. 3 показано, что пройденный путь поездом весом 5 000 тонн с тепловозом 2ER20CF и включенной тягой в 2 раза больше, чем без тяги.

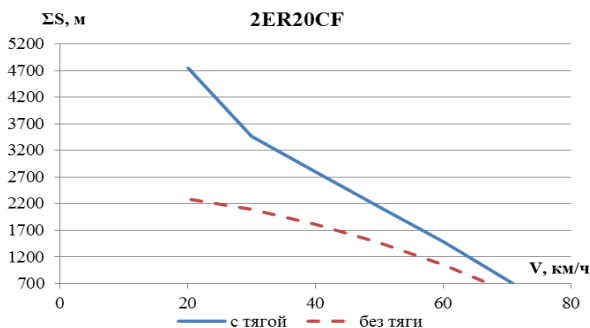


Рис. 3. Величины пройденного пути составом массой 5000 т по скоростному подъему 9,5‰ за счет использования кинетической энергии

Fig. 3. The magnitude distance traveled by the train, weight of 5,000 tons with ascents speed of 9.5‰ due to the use of the kinetic energy

На рис. 4 и 5 приведены графики зависимости ускоряющей силы от скорости движения поезда массой 5 000 тонн. На рис. 4 изображены указанные зависимости при движении по горизонтальному участку пути, а на рис. 5 – при движении на затяжном подъеме с уклоном 3 ‰. На приведенных рисунках пунктирные линии соответствуют случаю, когда в голове

поезда расположен сдвоенный тепловоз 2ER20CF, сплошные линии – тепловоз 2M62M.

Как видно из полученных результатов, значения ускоряющей силы для тепловоза 2ER20CF превышают аналогичные величины для тепловоза 2M62M почти на 20 % при движении на горизонтальном участке пути и почти на 30 % при движении на подъеме с уклоном 3 ‰.

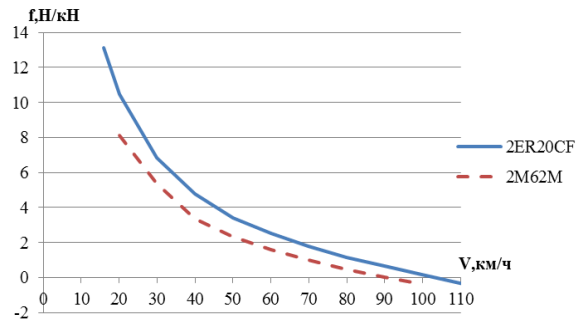


Рис. 4. Зависимость ускоряющей силы от скорости поезда при движении по горизонтальному участку пути

Fig. 4. Accelerating force dependence from the train speed during the movement along the horizontal section of the track

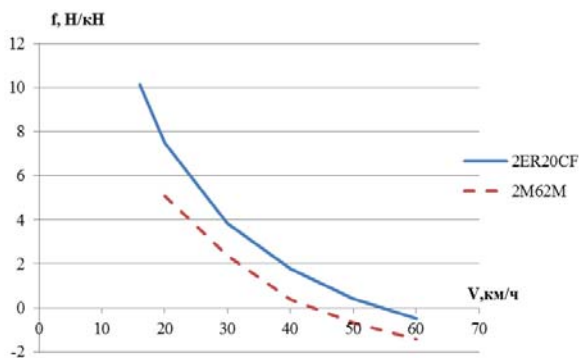


Рис. 5. Зависимость ускоряющей силы от скорости поезда при движении на подъеме с уклоном 3 ‰

Fig. 5. Accelerating force dependence from the train speed during the movement on the rise with a slope of 3‰

Ниже на рис. 6 приведены зависимости наименьшего радиуса кривой пути от скорости движения поездов различной массы с тепловозом 2ER20CF в голове состава.

На рис. 7 показаны аналогичные зависимости для поездов такой же массы с тепловозом 2M62M.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

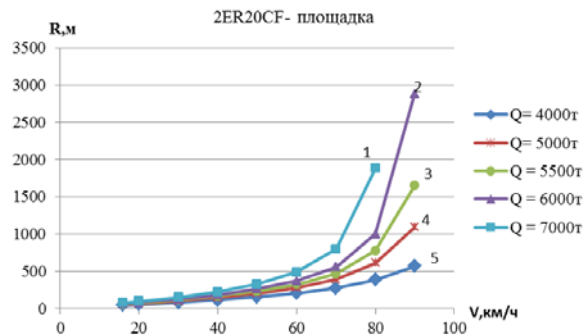


Рис. 6. Зависимости наименьшего радиуса кривой пути от скорости движения поездов с тепловозом 2ER20CF

Fig. 6. Dependences of the smallest curve radius of a track from the running speed of the train with the diesel-electric locomotive 2ER20CF

На приведенных рисунках линии 1 соответствуют составам массой $Q = 7\,000$ т, линии 2 – составам массой $Q = 6\,000$ т, линии 3 – составам массой $Q = 5\,500$ т, линии 4 – составам массой $Q = 5\,000$ т, линии 5 – составам массой $Q = 4\,000$ т.

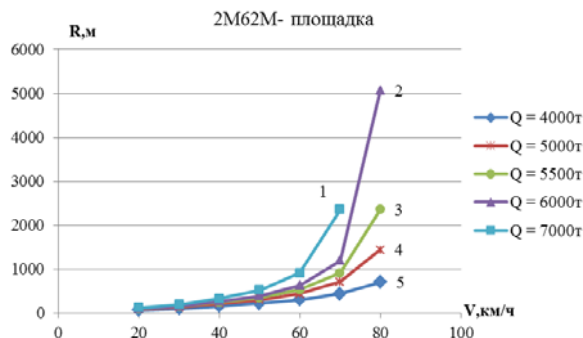


Рис. 7. Зависимости наименьшего радиуса кривой пути от скорости движения поездов с тепловозом 2M62M

Fig. 7. Dependences of the smallest curve radius from the running speed of the train with the diesel-electric locomotive 2M62M

Из приведенных рисунков видно, что с увеличением массы поезда значение наименьшего радиуса кривой растет. При этом сдвоенный тепловоз 2ER20CF может развивать наибольшую скорость 85 км/ч даже с составом массой 6 000 тонн при радиусе кривой 2 000 метров. Аналогичный состав с тепловозом 2M62M сможет развить максимальную скорость 80 км/ч на кривой с радиусом не меньше 5 000 метров.

На рис. 8 изображены зависимости наименьшего радиуса пути от скорости движения поездов для различных тепловозов. Линии 1 соответствуют поезду массой 5 500 тонн, линии 2 – поезду массой 5 000 тонн, линии 3 – поезду массой 4 000 тонн. Пунктирные линии соответствуют случаю, когда в голове поезда расположен сдвоенный тепловоз 2ER20CF, сплошные линии – тепловоз 2M62M.

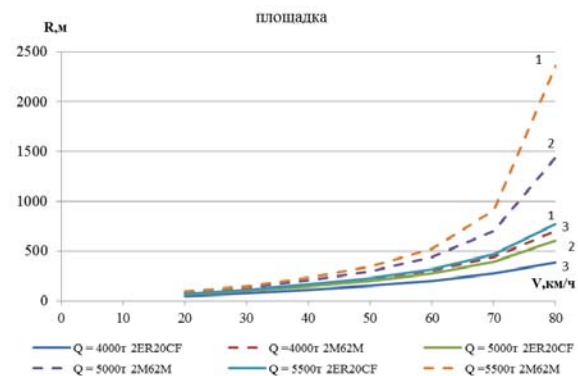


Рис. 8. Зависимости наименьшего радиуса кривой пути от скорости движения поездов с различными тепловозами на горизонтальном участке пути

Fig. 8. Dependences of the smallest curve radius from the running speed of the train with different diesel-electric locomotives on the horizontal section of the track

При ведении состава массой 5 000 т тепловозом 2ER20CF по кривым с радиусом 500 метров максимальная скорость может достигать почти 80 км/ч, а с тепловозом 2M62M – не более 65 км/ч.

На рис. 9 изображены зависимости наименьшего радиуса кривой от скорости движения поездов различной массы с разными тепловозами на подъеме величины 3 ‰. На приведенном рисунке линии 1 соответствуют поездом массой 5 500 тонн, линии 2 – поездом с массой 5 000 тонн, линии 3 – поездом массой 4 000 тонн. Пунктирные линии соответствуют случаю, когда в голове поезда расположен сдвоенный тепловоз 2ER20CF, сплошные линии – тепловоз 2M62M.

Как следует из приведенных рисунков, сдвоенный тепловоз 2ER20CF может развивать наибольшую скорость 90 км/ч даже с составом массой 6 000 тонн при радиусе кривой 2 900 метров. Аналогичный состав с тепловозом 2M62M сможет развить максимальную скорость 80 км/ч на кривой с радиусом не меньше 5 000 метров.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

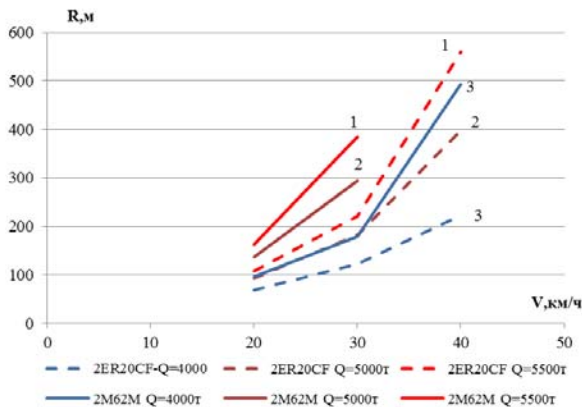


Рис. 9. Зависимости наименьшего радиуса кривой пути от скорости движения поездов разной массы с различными тепловозами на подъеме величиною 3 ‰

Fig. 9. Dependences of the smallest curve radius from the running speed of trains with different mass and different diesel-electric locomotives on the rise, magnitude of 3‰

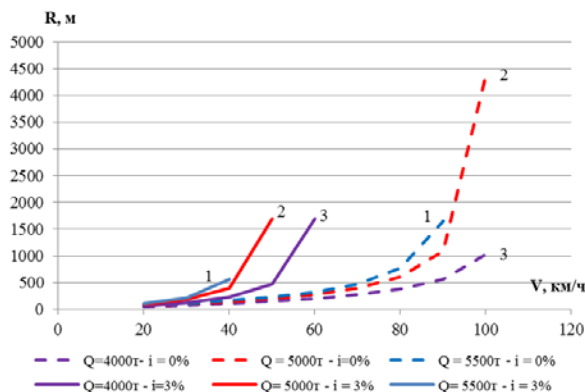


Рис. 10. Зависимости наименьшего радиуса кривой пути от скорости движения поездов разной массы со сдвоенным тепловозом 2RE20CF на участках пути с различными параметрами продольного профиля

Fig. 10. Dependences of the smallest curve radius from the running speed of trains with different mass and with dual diesel-electric locomotive 2RE20CF on the track sections with different parameters of the longitudinal profile

Из приведенных графиков видно, что на подъеме с уклоном равным 3 ‰ и в кривой с радиусом 300 метров при ведении состава тепловозом 2M62M массой $Q = 5\,000$ т наибольшая скорость движения не может превышать

30 км/ч. При управлении таким составом сдвоенным тепловозом 2ER20CF скорость движения может достигать 45 км/ч.

На рис. 10 приведены графики зависимости наименьшего радиуса кривой пути от скорости движения поездов разной массы со сдвоенным тепловозом 2ER20CF на участках пути с различными параметрами продольного профиля. На указанном рисунке номера линий соответствуют таким же обозначениям, как на рис. 9. Сплошные линии соответствуют случаю движения поездов на подъеме величиною 3 ‰, пунктирные линии – на горизонтальном участке пути.

Как следует из результатов, изображенных на рис. 10, при движении поезда массой 5 000 т по кривой с радиусом 1 000 метров максимальная скорость движения уменьшается почти в 2 раза в случае, если указанная кривая расположена на подъеме с уклоном величиною 3 ‰.

Научная новизна и практическая значимость

Проведен анализ эксплуатационных параметров модернизированного тепловоза 2M62M и сдвоенного тепловоза нового поколения 2ER20CF. В качестве контролируемых параметров выбраны – максимальная масса составов, техническая скорость, ускоряющая сила и значение наименьшего радиуса кривой. Полученные результаты могут быть использованы для более эффективной эксплуатации указанных выше тепловозов на Литовских железных дорогах.

Выводы

Сдвоенный тепловоз 2ER20CF может везти на расчетный подъем состав массой $Q = 8\,000$ т, что на 38,3 % больше, чем модернизированный тепловоз 2M62M.

При включенной тяге пройденный путь составом массой 5 000 тонн на рассматриваемом подъеме поездом с тепловозом 2ER20CF на 23 % больше, чем с тепловозом 2M62M.

Значения ускоряющей силы с составом массой 5 000 т для тепловоза 2ER20CF превышает аналогичные величины для тепловоза 2M62M почти на 20 % при движении на горизонтальном участке пути и на 30 % при движении на подъеме с уклоном 3 ‰.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Получены зависимости наименьшего значения радиуса кривой пути от скорости движения и массы поездов для различных тепловозов в тяговом режиме на горизонтальном участке и при движении на подъеме с уклоном 3 ‰. В частности, на подъеме с уклоном равным 3 ‰ и в кривой с радиусом 300 метров при ведении состава массой $Q = 5\,000$ т тепловозом 2М62М в тяговом режиме наибольшая скорость движения не может превышать 30 км/ч. При управлении таким составом сдвоенным тепловозом 2ЕР20СF скорость движения может достигать 45 км/ч.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бабичков, А. М. Тяга поездов и тяговые расчеты / А. М. Бабичков, П. А. Гурский, А. П. Новиков. – Москва : Транспорт, 1971. – 280 с.
2. Блохин, Е. П. Вычислительный комплекс для решения задач безопасности и устойчивости движения подвижного состава железных дорог / Е. П. Блохин, Л. В. Урсуляк, К. И. Железнов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 18. – С. 106–113.
3. Блохин, Е. П. Динамика поезда / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин. – Москва : Транспорт, 1982. – 222 с.
4. Железнов, К. І. Алгоритм оптимізації режиму руху поїздів / К. І. Железнов, Л. В. Урсуляк // Транспорт : зб. наук. пр. / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2002. – Вип. 10. – С. 81–86.
5. Кочнев, Ф. П. Управление эксплуатационной работой железных дорог / Ф. П. Кочнев, И. Б. Сотников. – Москва : Транспорт, 1990. – 424 с.
6. Осипов, С. И. Основы электрической и тепловозной тяги / С. И. Осипов. – Москва : Транспорт, 1985. – 408 с.
7. Правила тяговых расчетов для поездной работы / [под ред. П. Т. Гребенюка, А. Н. Долганова, О. А. Некрасова [и др.]. – Москва : Транспорт, 1985. – 287 с.
8. Тихонов, К. К. Оптимальные ходовые скорости грузовых поездов / К. К. Тихонов. – Москва : Транспорт, 1964. – 262 с.
9. Тихонов, К. К. Теоретические основы выбора оптимальных весовых норм грузовых поездов / К. К. Тихонов // Тр. МИИТа. – Москва, 1970. – Вып. 331. – С. 3–175.
10. Bureika, G. Analysis of freight diesel locomotives' operation parameters in lithuanian railways [Электронный ресурс] / G. Bureika, A. Pikūnas, S. Pukalskas. – Режим доступа: http://mech-ing.com/journal/Archive/2009/9-10/1.mashini/2.bureika.tm09_new.pdf. – Загл. с экрана. – Проверено : 19. 10. 2014.
11. Bureika, G. Research on Energy Efficient of Rolling-stock Operation. TRANSBALTICA 2009 / G. Bureika, R. Subačius, M. Kumara // Proc. of 6th Intern. Sci. Conf. – Vilnius, 2009. – P. 28–32.
12. Muginshtein, L. A. Power optimal traction calculation for operation of trains of increased mass and length / L. A. Muginshtein, I. A. Yabko // Heavy Haul and Innovation Development : Proc. of the 9th Intern. Conf. – 2009. – P. 1041–1047.
13. Optimized algorithm for train traction calculation under fixed-time mode / J. Zhang, X. Guo, J. Chen, J. Jin // Proc. of the 2nd Intern. Conf. on Transport Engineering, ICTE. – 2009. – P. 3760–3765. doi: 10.1061/41039(345)620.
14. Shi, H. CRH train traction calculation model and algorithm based on automatic constant speed. ICLEM 2012: Logistics for Sustained Economic Development - Technology and Management for Efficiency / H. Shi, H. Guo // Proc. of the 2012 Intern. Conf. of Logistics Engineering and Management. – 2012. – P. 506–512. doi: 10.1061/9780784412602.0079.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Л. В. УРСУЛЯК^{1*}, В. О. СИРОТЕНКО²

^{1*}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

²Галузева науково-дослідна лабораторія динаміки і міцності рухомого складу, 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 v380966866511v@yandex.ua, ORCID 0000-0001-5229-5910

АНАЛІЗ ЕКСПЛУАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАНТАЖНИХ ТЕПЛОВОЗІВ

Мета. В роботі передбачається порівняти експлуатаційні характеристики вантажних тепловозів ER20CF і 2М62м, які застосовуються на Литовських залізницях. У даній статті вирішуються найважливіші завдання по тяговим розрахункам, які є основним розрахунковим інструментом у справі раціонального функціонування, планування та розвитку залізниць. Ними є: визначення розрахункової маси рухомого складу, побудова діаграми питомих результуючих сил поїзда, визначення допустимої швидкості руху поїзда на спусках, побудова кривих руху поїзда на ділянці. **Методика.** Використовуючи правила й методику тягових розрахунків, проводиться аналіз основних експлуатаційних характеристик модернізованого вантажного тепловоза 2М62м і вантажопасажи́рського здвоєного тепловоза 2ER20CF. В якості контрольованих параметрів обрані: максимальна маса складу, пройдений шлях складом зі швидкісного підйому за рахунок використання кінетичної енергії (з тягою і без тяги), технічна швидкість, сила прискорення та значення найменшого радіуса кривої. При проведенні розрахунків передбачалось, що: поїзди сформовані з повністю завантажених чотирьохвісних піввагонів моделі 112-119 (особливість – 606) з навантаженням на вісь 23,5 т; рух здійснювався на безстиковій колії; в голові складу розташований здвоєний тепловоз 2ER20CF або двосекційний тепловоз 2М62м. Для вибору розрахункового підйому проаналізований поздовжній профіль колії на напрямку Вільнюс-Клайпеда. Перевірка на можливість подолання швидкісного підйому виконувалася аналітичним методом із урахуванням використання кінетичної енергії, накопиченої на подоланні «легких» елементів профілю. **Результати.** У результаті розрахунків була проаналізована максимальна вага складу з урахуванням розрахункового підйому. Виконано перевірку розрахункової маси складу на можливість надійного подолання короткого підйому крутизни більше розрахункового. Оцінені значення сили прискорення в залежності від швидкості поїзда і параметрів поздовжнього профілю, значення найменшого радіуса кривої залежно від швидкості руху, яка розвивалася різними тепловозами в тяговому режимі. Розглянуто склади різної маси. **Наукова новизна.** Проведено аналіз експлуатаційних параметрів модернізованого тепловоза 2М62м і здвоєного тепловоза нового покоління 2ER20CF. **Практична значимість.** Отримані результати можуть бути використані для більш ефективної експлуатації зазначених вище тепловозів на Литовських залізницях.

Ключові слова: технічна швидкість; тягові розрахунки; розрахунковий підйом; прискорююча сила; радіус в кривій

Л. В. УРСУЛЯК^{1*}, В. А. СИРОТЕНКО²

^{1*}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

²Branch Scientific and Research Laboratory of Dynamics and Strength of Rolling Stock, 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 v380966866511v@yandex.ua, ORCID 0000-0001-5229-5910

ANALYSIS OF THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF DIESEL-ELECTRIC LOCOMOTIVES

Purpose. To compare the operational characteristics of freight diesel-electric locomotives ER20CF and 2М62м, which are operated with Lithuanian Railways. Important problems on traction calculations are considered in this

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

article. In this article the critical tasks of traction calculations are solved. It is the main computational tool in the rational functioning, planning and development of railways: determination of the estimated weight of the rolling stock, the diagrams construction of specific resultant forces of a train, the permitted speed definition of the train on the slopes, curves of train traffic construction on the section. **Methodology.** Using the rules and methods of traction calculations the analysis of the basic operational characteristics of the modernized freight diesel-electric locomotive 2M62m and freight passenger dual locomotive 2ER20CF was held. The maximum weight of the train set, the track structure on a high-speed ascent through the use of kinetic energy (with traction and without traction), technical speed, acceleration force and the value of the smallest radius curve are selected as controlled parameters. During the calculations it was considered that the trains were formed of a fully loaded four-axle gondola cars, model 112-119 (feature-606) with axle load of 23.5 t; the motion was carried out on the continuous welded rail track; the front of the train set is a dual locomotive 2ER20CF or two locomotive 2M62M. Longitudinal profile of the road on the route Vilnius–KIF was analyzed for the choice of theoretical rise. Inspection concerning the possibility of overcoming the high-speed rise was performed with an analytical method, based on the use of the kinetic energy accumulated by the overcoming of «light» elements of the profile. **Findings.** In the calculations, the maximum weight of the train set taking into account theoretical rise was analyzed. The inspection of the theoretical weight of the train set on a reliable short rise of slope that is larger than the theoretical one was carried out. Values of the acceleration force depending on the speed of the train and parameters of the longitudinal profile, values of the smallest curve radius depending on the movement speed, which are developed by the different locomotives in the traction mode, were accessed. **Originality.** The analysis of the operational parameters of the modernized locomotive 2M62m and dual diesel locomotive of new generation 2ER20CF was held. The maximum weight of the composition, technical speed, the accelerating force and the value of the smallest radius curve were selected as controlled parameters. **Practical value.** The obtained results can be used for more efficient operation of locomotives on Lithuanian Railways.

Keywords: technical speed; traction calculations; theoretical rise; accelerating force; the radius of the curve

REFERENCES

1. Babichkov A.M, Gurskiy P.A., Novikov A.P. *Tyaga poyezdov i tyagovyye raschety* [Traction of trains and grade computation]. Moscow, Transport Publ., 1971. 280 p.
2. Blokhin Ye.P., Ursulyak L.V., Zheleznov K.I. Vychislitelnyy kompleks dlya resheniya zadach bezopasnosti i ustoychivosti dvizheniya podvizhnogo sostava zheleznykh dorog [Computing system for solving problems of security and stability of the railway rolling stock]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 18, pp. 106-113.
3. Blokhin Ye.P., Manashkin L.A. *Dinamika poyezda* [The dynamics of trains]. Moscow, Transport Publ., 1982. 222 p.
4. Zheleznov K.I., Ursulyak L.V. Alhorytm optymizatsii rezhymu rukhu poizda [The optimization algorithm of the train performance]. *Zbirnyk naukovykh prats «Transport»* [Proc. «Transport»]. Dnipropetrovsk, 2002, issue 10, pp. 81-86.
5. Kochnev F.P., Sotnikov I.B. *Upravleniye ekspluatatsionnoy rabotoy zheleznykh dorog* [Operation management of railways]. Moscow, Transport Publ., 1990. 424 p.
6. Osipov S.I. *Osnovy elektricheskoy i teplovoznoy tyagi* [Fundamentals of electric and diesel traction]. Moscow, Treansport Publ., 1985. 408 p.
7. Grebenyuka P.T., Dolganova A.N., Nekrasov O.A., Lisitsin A.L. 1. *Pravila tyagovykh raschetov dlya poyezdnoy raboty* [Rules of traction calculations for train operation]. Moscow, Transport Publ., 1985. 287 p.
8. Tikhonov K.K. *Optimalnyye khodovyye skorosti gruzovykh poyezdov* [Optimal running speed of freight trains]. Moscow, Transport Publ., 1964. 262 p.
9. Tikhonov K.K. Teoreticheskiye osnovy vybora optimalnykh vesovykh norm gruzovykh poyezdov [The theoretical basis of the selection of the optimal weight norms of freight trains]. *Trudy moskovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Proc. of Moscow State University of Railway Engineering], 1970, issue 33. 262 p.
10. Bureika G., Pikūnas A., Pukalskas s analysis of freight diesel locomotives' operation parameters in lithuanian railways. Available at: http://mech-ing.com/journal/archive/2009/9-10/1.mashini/2.bureika.tm09_new.Pdf (Accessed 19 October 2014).
11. Bureika G., Subačius R., Kumara M. Research on energy efficient of rolling-stock operation. Transbaltica 2009. Proc. of 6 the intern. Sci. Conf. Vilnius, 2009, pp. 28-32.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

12. Muginshtein L.A., Yabko I.A. Power optimal traction calculation for operation of trains of increased mass and length. Proc. of the 9th intern. Heavy Haul Conf. : «Heavy Haul and Innovation Development». 2009, pp. 1041-1047.
13. Zhang J., Guo X., Chen T., Jin J. Optimized algorithm for train traction calculation under fixed-time mode. Proc. of the 2nd Intern. Conf. on Transport Engineering, ICTE, 2009, pp. 3760-3765. doi: 10.1061/41039(345)620.
14. Shi H. Guo H. Crh train traction calculation model and algorithm based on automatic constant speed iclem 2012: Logistics for Sustained Economic Development - Technology and Management for Efficiency. Proc. of the 2012 intern. Conf. of Logistics Engineering and Management. 2012, pp. 506-512. doi: 10.1061/9780784412602.0079.

Стаття рекомендована к публікації д.т.н, проф. М. И. Капицей (Україна); д.т.н., проф. А. П. Фалендишем (Україна)

Поступила в редколлегию 25.10.2014

Принята в редакцию 16.12.2014

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

UDC 625.122-027.45

V. D. PETRENKO^{1*}, O. L. TIUTKIN^{2*}, O. M. KULAZHENKO^{3*}, A. M. M. ALKHDOUR^{4*}

^{1*}Dep. «Tunnels, Bases and Foundations», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 708 50 69, e-mail petrenko1937@mail.ru, ORCID 0000-0002-5902-6155

^{2*}Dep. «Tunnels, Bases and Foundations», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 290 45 18, e-mail tutkin@mail.ru, ORCID 0000-0003-4921-4758

^{3*}Dep. «Tunnels, Bases and Foundations», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (096) 992 15 81, e-mail murzilka891@mail.ru, ORCID 0000-0002-6077-1689

^{4*}Dep. «Tunnels, Bases and Foundations», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 290 45 18, e-mail a.alkhdour@inbox.ru, ORCID 0000-0001-5845-2710

THE BASING OF STABILIZATION PARAMETERS OF A FORTIFIED RAILWAY BED

Purpose. The article is devoted to stabilization parameters determination of reinforced railway bed. At the present time, the railway plays the leading role in transport system to ensure the needs of freight and passenger traffic. In modern conditions railway operation concentrates on ensuring the necessary level of track reliability, including the roadbed, this is one of the main elements of road structures. The purpose of this article is the determination of basic parameters of stress-strain state to stabilize the soil subgrade embankment by reinforced materials. **Methodology.** To achieve this goal the following tasks of researches were solved: the effect of reinforcing layer of geomaterial on deformation properties of soil subgrade in various design of strengthening was investigated, the distributions of stresses in the subgrade were determined, reinforced of geomaterials under state load. Experimental studies to explore the nature of the deformation model subgrade at various degrees of stress were carried out. **Findings.** The analysis of the results of performed experimental and theoretical studies permitted to do the following conclusions. In conducting researches determined the distribution of stresses in the subgrade reinforced geomaterials under static load. The complex of experimental studies allows exploring the nature of the deformation model subgrade at various degrees of stress. **Originality.** On the basis of the theoretical studies have been regarded the problem of determining the stress-strain state of subgrade reinforced geomaterials by measuring stresses in its application for step loads. **Practical value.** The practical value was presented by the results of evaluating the effect of reinforcing way for changing the stress-strain state of subgrade.

Keywords: railway bed; subgrade; traffic; roadbed; parameters; stress-strain state

Introduction

At the present time the railway transport in the unit transport system of Ukraine plays the leading role by guarantee the requirements of freight and passenger traffic. In modern conditions the railway operations concentrates on ensuring the necessary level of the track reliability, including the roadbed

as the basis of the road embankment to a large extent determines the normal operation of the railway as the whole under the influence of the rolling stock. As it is known, the main cause of the traffic accident on the railways is the state of the track (50%), the state of the rolling stock (43%) and a human factor.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Thus, it is necessary to develop new investigations with the using of subgrade reinforcement elements with different materials and determine the parameters of their efficiency, especially at higher train speeds. To achieve this goal of determining the basic parameters of the stress-strain state to stabilize the soil subgrade embankment reinforced with special materials it is required to solve next research tasks: 1) carry out the analysis of previous studies in the field of strengthening of subgrade by reinforcing materials; 2) investigate the effect of influence by reinforcing layer by geomaterials on deformation properties of subgrade strengthening in various designs; 3) determine the distribution of stresses in the subgrade, reinforced geomaterials under static load; 4) carry out the complex of experimental researches to explore the nature of the model subgrade deformation at different voltage level [2–4].

Purpose

Analyzing every works about the reinforcing of subgrade embankment, it should be noted that results of previous studies indicate to the using of traditional methods of strengthening subgrade railways are not always effective and it is necessary to develop new methods [1, 5–8, 12].

Methodology

For research inclusions of the reinforcing geomaterials on the soil subgrade method were outlined and as a result of the study its materials loaded up to the level of adequate modern rolling stock.

The results of previous studies [5–7, 11–16] indicate that the using of traditional methods of strengthening subgrade railways are not always effective and leads to the higher costs and time to conduct it. The modern ways of strengthening of railway subgrade have the several disadvantages, technological or economic nature, and therefore do not solve the issue in many causes reducing the deformability of the roadbed. Theoretical and experimental studies carried out in different countries, as well as monitoring of the test sites revealed that geotextile placed on main subgrade surface, comes into work with a ballast layer of soil and is the main site, with the stress-strain state of subgrade changing.

Thus, currently there is the problem of assessment the quality reinforcement, especially geosyn-

thetic materials, railway roadbed [6, 7, 10, 12]. In this case, it is complicated by the fact that there is no single concept of subgrade strengthening the body over its depth, especially in combined versions [6]. Therefore in the task of developing the method need to strengthen and evaluate of its stress-strain state.

The tests were conducted in a closed system i.e. at constant soil moisture. According to test result were constructed plots of the “stress – the relative strain”. Base on the results of sample tests on the compression was verify the effectiveness of placing a geotextile to reduce the deformation of the sample at the laboratory studies were performed stabilization reinforced roadbed. Dimensions of the model in plane were accepted 680×120 mm. Front wall of the tray was made of a transparent Plexiglas for observations the development of deformities. Loading of models were carried out on the linkage system with shoulder leverage of 1:10. The load transmitted to the stamp area 155.3 cm². In the process of model loading controlled the level of absolute displacements vertical load on the stamp was from 10 to 50 N with the stresses under the stamp changed from 0.0644 MPa to 0.332 MPa (as we know the normative power of the railways in the strengthening of 0.16 MPa). The settlement of stamp measured three dial gangs with a scale of 0.01 mm. Indicators on the stamp mounted symmetrically. Move the stamp recorded after each stage of the application load after and removed on indicators of the deformed samples and photography model. Moving of subgrade recorded of rules set on the side faces of the tray and strain model with a grid printed on its face. To substantiate methods prevent of substantially reduce the strains of subgrade for different types of reinforcement were conducted experimental researches in the tray with the geometric scale of modelling 1:20. There have been conducted several series of model tests with the specification of their deformation characteristics in depending on the nature of reinforcement (Fig. 1).

At the analysis of the parameters of the experimental studies reinforced by geotextile of subgrade found that the nature of the manifestation of deformation unreinforced model – variant 0 (Fig. 1, a) is manifested by the appearance of the stamp core compression, which was clear from the distortion mesh 2×2 cm. towards the front of the model. Option 1 (Fig. 1, b) during the compression of the

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

soil matrix with geotextile fabric has significantly changed its shape, detached from the main site and out of shape as a result of the critical strain, indicating that non-rationality of the option for placing reinforcing element. At the analysis of the option 2 (Fig. 1, c) states that the considerable effort in the geotextile separation zone formed matrix and reinforcement. In options 3 and 4 (Fig. 1, d, e) there is a homogeneous deformation, since the critical strain as bundle and pulling the valve were found.

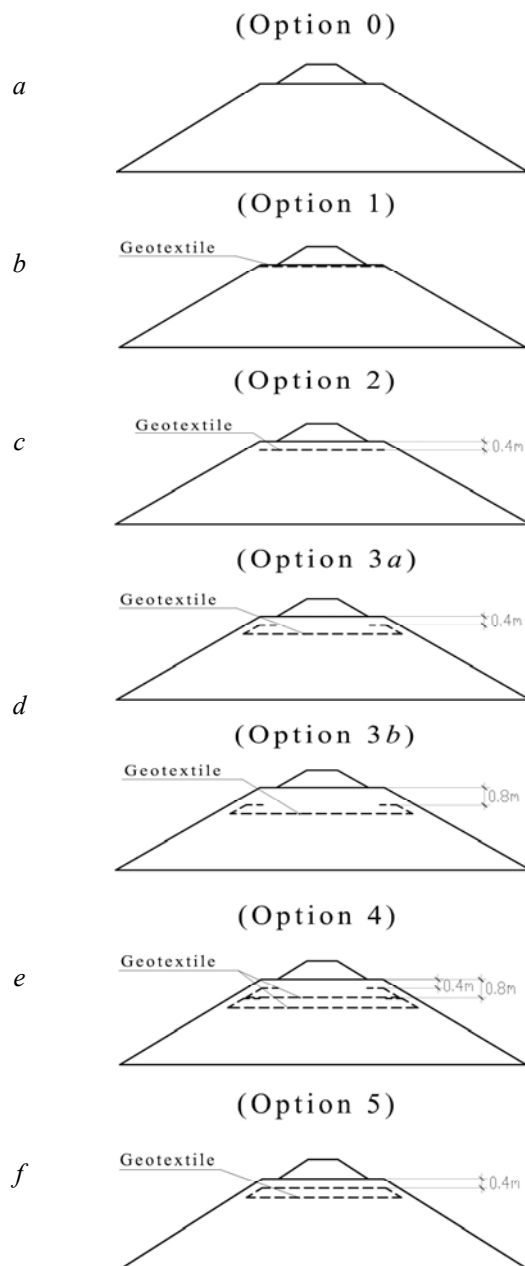


Fig 1. Special reinforced models by geotextile materials:

a) Option 0 – unreinforced model; b) Option 1 – the model

reinforced geotextile cloth located directly under the ballast; c) Option 2 – the model reinforced geotextile cloth and located at a depth of 2 cm (0.4 m. in nature) from the main site; d) Option 3 – the model reinforced geotextile cloth with bends at depth: 3a – 2 cm (0.4 m. in nature), 3b – 4 cm (0.8 m in nature); e) Option 4 – the model reinforced by two contacted of geotextile clothes with bend at a depth of 2 cm (0,4 m in nature) and 4 cm (0,8 m in nature); f) Option 5 – the model reinforced geotextile membrane at a depth 2 cm (0,4 m in nature)

Therefore the reinforcement models of subgrade with the inline options are optimal to stabilize the railway subgrade. Having considered the option 5 (Fig. 1, f) at significant stresses detected deformation of soil matrix at the edges of stamp and the ballast layer consequently, the presence of cracks in surge – on the edge of stamp and the ballast layer, consequently, presence of cracks in surge – on the edge of the ballast and under the edge of the stamp is a negative effect.

Stabilization parameters that are accepted in the work for gutter tests also showed that the combined version 5 is the most effective measure of stabilization parameters. The additional geometric constructions, which simplify comparison, are shown in Fig. 2 and 3. So at the regulatory maximum stresses on the main site subgrade, which is equal to 0.08 MPa, the relative deformation of options to strengthen from the geotextiles are equal respectively: Option 0 – 0.0078, Option 1 – 0.0066, Option 2 – 0.0065, Option 3a – 0.0053, option 3b – 0.0067, Option 4 – 0.0046, Option 5 – 0.0044, that is, the introduction of the geotextile reduces deformations at 1.2...1.8 times (maximum decrease of strains in option 5). Modulus of elasticity, as one of the stabilization parameters, varied in the followed ranges; Option 0 – 2.78 MPa, option 1 – 12.5 MPa, option 2 – 5 MPa, option 3a – 25 MPa, option 3b – 3.57 MPa, option 4 – 12.5 MPa, option 5 – 25 MPa, that is, in options 3a and 5, with the introduction of geotextile modulus of elasticity increase in 9 times, respectively, the deformation characteristics of subgrade, in the conducted tests, were improved.

In the series of experimental and conducted research were carried out tests on the strengthening models by small-deformable layer of Rubble-Soils Mixe, which is located at a different depth from the main site of subgrade (Fig. 2).

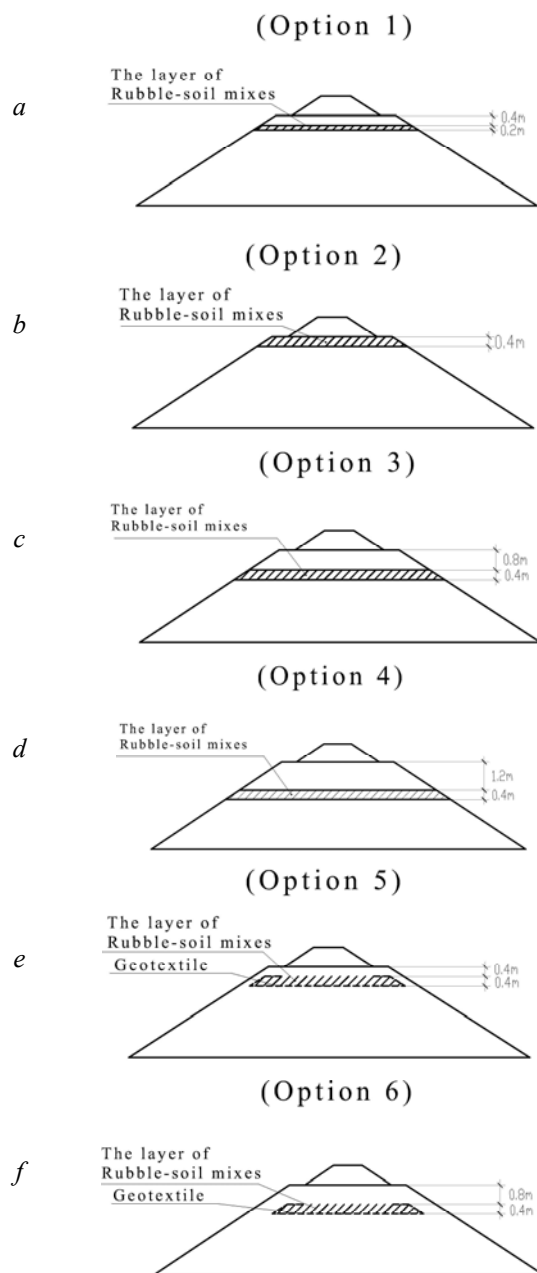


Fig. 2. Options for strengthening the model little deformable layer made of Rubble-Soil Mixes (RSM): a) Option 1 – RSM layer thickness of 1 cm (0.2 m in nature) at a depth of 2 cm (0.4 m in nature) from the main site, b) Option 2 – RSM layer of thickness 2 cm (0.4 m in nature) which is placed directly under ballast, c) Option 3 – RSM layer of thickness 2 cm (0.4 m in nature), which is placed at a depth of 4 cm (0.8 m in nature) from the main site, d) Option 4 – RSM layer of thickness 2 cm (0.4 m in nature) at a depth of 6 cm (1.2 m in nature) from the main site, e) option 5 – option combined RSM layer of thickness 2 cm (0.4 m in nature) at a depth of 2 cm (0.4 m in nature) from the main site, wrapped in geotextile cloth with bends, f) Option 6 – option combined – a layer from RSM sm. of thickness 2 cm (0.4 m in nature) at the depth of 4 cm (0.8 m

in nature) from the main site, wrapped in geotextile cloth with bends

Findings

When analyzing the results of experimental studies of the stress-strain state of subgrade reinforced, the small deformable layer of crushed stone-ground mixture, established the following. In option 1 (Fig. 2, a) slightly improved picture of deformation, however, is not essential. But still-compared to unreinforced option 0 (Fig. 1, a), the damping stress is significant. By increasing the thickness of small deformed layer to 2 cm (0.4 m in nature) revealed its positive impact on the reduction of vertical deformations, and the impact of its location on these values. So in options 2, 3, 4 (Fig. 2, b, c, d) the influence of the position of the layer to change vertical displacements were recorded. In the version 5 (Fig. 2, e) was recognized sheared strain as a bundle and pulling out of the matrix and reinforcement (small deformed layer at a depth of 2 cm (0.4 m in nature) from the main site. When analyzing 6 options (Fig. 2, f) small deformed layer located at a depth 4 cm (0.8 m in nature) from the main site. It is established that uncritical deformation in the form deformation and loosening of fitting is not detected, so this option is effective to stabilize subgrade. As a result, were accepted parameters stabilization in the case of roadbed strengthening by small deformable layer and combined strengthening with relative deformation at the normative maximum stress to strengthen for variants equal respectively: Option 0 – 0.0078, Option 1 – 0.0062, Option 2 – 0.0034, Option 3 – 0.0034, Option 4 – 0.034, Option 5 – 0.0015, Option 6 – 0.0034. We can say that: using of combination options, as the most effective, reduces strain in 5.2 times (The rest variants amplification – only at 1.3...2.3 times). The modulus of elasticity as one of the parameters stabilization changes in the following within: Option 0 – 33.3 MPa, Option 1 – 32.1 MPa, Option 2 – 62.5 MPa, Option 3 – 55.6 MPa, Option 4 – 74.3 MPa, Option 5 – 133 MPa, Option 6 – 104 MPa, that is option 5 (combined) increase the modulus of elasticity in the 4 times. Respectively deformation characteristics of subgrade activities improved, also improves and strength characteristics, as one of the parameters of stability improves (tensile strength – a stress correspond to the relative deformation of 0.01): Option

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

0 – 0.078 MPa, Option 1 – 0.09 MPa, Option 2 – 0.108 MPa, Option 3 – 0.11 MPa, Option 4 – 0.114 MPa, Option 5 – 0.142 MPa, Option 6 – 0.109 MPa. In the case of amplification at combined option 5, the tensile strength increases in 1.8 times (other options for amplification only in 1.15...1.46 times). Thus, the parameters stabilization obtained for several options amplification by geotextile and small deformable layer including combined indicate the high efficiency of combined option.

Originality and Practical value

On the base of analysis of the results of performed experiments were done the following conclusions.

The analysis of the carried out studies in the field of strengthening subgrade reinforcing materials allowed establishing a lack of development and ways to strengthen of subgrade railways.

In conducting experimental studies determined the distribution of stresses in the subgrade, reinforced geomaterial under static load as a model in the tray. On the base of the experimental studies results established the parameters of the stress-strain state to reinforce the roadbed small deformable layer is made of Rubble-Soil Mixes when the relative deformations equal from 0.008 to 0.017.

As established experimentally, the reinforcing roadbed as separate horizontal panels and strength by geotextile matrixes 1.5...1.6, the emergency of separation zones at the ends of the cloth show irrationally of these options, regardless of their location in height of the matrix.

In addition, it was found that the reinforcement of a closed shell also can not be a rational choice, even with the increasing the strength in 1.6 times, since the deformation of subgrade at this version of the reinforcement due to significant cracking.

Conclusions

The complex of experimental studies was conducted to explore the nature of the deformation model subgrade of various degrees of stress. Based on experimental studies, a way strengthen roadbed reinforcement Rubble-Soil Mixes wrapped in geotextile with bends and justified its position at a distance of 0.4 m from the main site, which will increase the strength of the roadbed in 1.8–2.0 times and stability to improve the speed of the trains.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Блажко, Л. С. Геоматериалы при высоких осевых нагрузках / Л. С. Блажко // Путь и путевое хоз-во. – 2002. – № 10. – С. 36–37.
2. Блажко, Л. С. Эффективность укладки геотекстиля / Л. С. Блажко, М. В. Бушуев, В. М. Ермаков // Путь и путевое хоз-во. – 2008. – № 3. – С. 5–8.
3. Даніленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість / Е. І. Даніленко, В. В. Рибкін. – Київ : Укрзалізниця, 2006. – 168 с.
4. Новые способы оздоровления земляного полотна // Путь и путевое хоз-во. – 1999. – № 6. – С. 39–40.
5. Петренко, В. Д. Дослідження впливу деформаційних характеристик шару посилення на НДС залізничного насипу при під'їзді до мостового переходу / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, А. М. М. Алхдур // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 32. – С. 101–105.
6. Результати аналізу параметрів експериментальних досліджень армування геотекстилем земляного полотна / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, А. Л. Тютюкін, А. М. М. Алхдур // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 34. – С. 131–135.
7. Сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований усиления земляного полотна малодеформируемым слоем / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, А. Л. Тютюкін, А. М. М. Алхдур // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 35. – С. 139–144.
8. Стоянович, Г. М. Нагрузку на земляное полотно можно уменьшить / Г. М. Стоянович, В. Ф. Цветков // Путь и путевое хоз-во. – 1993. – № 8. – С. 19–20.
9. Яковлева, Е. В. Влияние армирования на деформации основной площадки / Е. В. Яковлева // Ж.-д. транспорт. – 1998. – № 11. – С. 24–26.
10. Яковлева, Т. Г. Способы усиления насыпей армогрунтовыми конструкциями / Т. Г. Яковлева, В. В. Виноградов, Ю. К. Фроловский // Путь и путевое хоз-во. – 1997. – № 1. – С. 7–10.
11. Al Shaer, A. Analyse des déformations permanentes des voies ferrées ballastées – Approche dynamique : Ph.D. thesis of Ecole Nationale des Ponts et Chaussées / A. Al Shaer // Ecole National des Ponts et Chaussées. – Paris, 2005. – 147 p.
12. Bourgeois, E. Subgrade reinforcement with columns / E. Bourgeois, A. Le Kouby, A. Smekal // INNOTRACK project. Report D2.2.5. – 2009. – P. 7–121.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

13. Davis, D. Foundation Measurement Design for SpecialTrackwork / D. Davis, S. P. Singh, D. Guillen // Railway Track & Structures. – 2001. – № 12. – P. 17–19.
14. Leykauf, G. Trends bei Oberbausystemen für die Zukunft / G. Leykauf // Glassers Annalen. – 2000. – № 8. – P. 445–454.
15. Moseley, M. P. Ground Improvement. / M. P. Moseley, K. Kirsch // London; New-York : Spon Press: Taylor & Francis Group, 2004. – 440 p. doi: 10.4324/9780203305201.
16. Olsson, M. Some experiences from full scale test embankments on floating lime-cement columns / M. Olsson, T. Edstamand, C. Alén // Geotechnics of Soft Soils: Focus on Ground Improvememnt : Proc. of the Second Intern. Workshop held in Glasgow, Scotland (3.09-5.09.2008). – London : Taylor & Francis Group, 2008. – P. 77–85. doi: 10.1201/9780203883334.ch8.

В. Д. ПЕТРЕНКО^{1*}, О. Л. ТЮТЬКІН^{2*}, О. М. КУЛАЖЕНКО^{3*}, А. М. М. АЛХДУР^{4*}

^{1*}Каф. «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (050) 708 50 69, ел. пошта petrenko1937@mail.ru, ORCID 0000-0002-5902-6155

^{2*}Каф. «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, ел. пошта tutkin@mail.ru, ORCID 0000-0003-4921-4758

^{3*}Каф. «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (096) 992 15 81, ел. пошта murzilka891@mail.ru, ORCID 0000-0002-6077-1689

^{4*}Каф. «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, ел. пошта a.alkhdour@inbox.ru, ORCID 0000-0001-5845-2710

ОБГРУНТУВАННЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ УКРІПЛЕНОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО НАСИПУ

Мета. Стаття присвячена визначенню параметрів стабілізації підсиленого залізничного полотна. В даний час залізниця відіграє ключову роль у забезпеченні потреби пасажирських та вантажних перевезень. У сучасних умовах експлуатація залізниць сконцентрована на забезпеченні необхідного рівня надійності колії, в тому числі земляного полотна, яке є одним із ключових елементів дорожніх конструкцій. Мета цієї статті полягає у визначенні параметрів напружено-деформованого стану для стабілізації ґрунта земляного полотна насипу підсилюючими матеріалами. **Методика.** Для досягнення цієї мети було вирішено такі завдання досліджень: вивчено вплив армуючого шару геоматеріалу на деформаційні властивості ґрунтового земляного полотна при різних конструкціях укріплення; визначено розподіл напружень в земляному полотні, які посилені геоматеріалами при статичному навантаженні; виконано експериментальні дослідження для вивчення природи деформацій моделі земляного полотна на різних стадіях навантаження. **Результати.** Виконаний аналіз результатів проведених експериментальних та теоретичних досліджень дозволив зробити ряд висновків. При проведенні досліджень визначено розподіл напружень в земляному полотні, посиленому геоматеріалами при статичному навантаженні. Виконаний комплекс експериментальних досліджень дозволив вивчити природу деформацій моделі земляного полотна при різних ступенях навантаження. **Наукова новизна.** На основі теоретичних досліджень розглянуто проблему визначення напружено-деформованого стану земляного полотна, посиленого геоматеріалами, шляхом вимірювання напружень при їх застосуванні під час поетапного навантаження. **Практична значимість.** Практична значимість обумовлена підсумками оцінки впливу підсилення земляного полотна для зміни його напружено-деформованого стану.

Ключові слова: залізнична колія; насип; рух; земляне полотно; параметри; напружено-деформований стан

В. Д. ПЕТРЕНКО^{1*}, О. Л. ТЮТКИН^{2*}, Е. Н. КУЛАЖЕНКО^{3*}, А. М. М. АЛХДУР^{4*}

^{1*}Каф. «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (050) 708 50 69, эл. почта petrenko1937@mail.ru, ORCID 0000-0002-5902-6155

^{2*}Каф. «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, эл. почта tutkin@mail.ru, ORCID 0000-0003-4921-4758

^{3*}Каф. «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (096) 992 15 81, эл. почта murzilka891@mail.ru, ORCID 0000-0002-6077-1689

^{4*}Каф. «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, эл. почта a.alkhdur@inbox.ru, ORCID 0000-0001-5845-2710

ОБОСНОВАНИЕ СТАБИЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ УКРЕПЛЕННОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ НАСЫПИ

Цель. Статья посвящена определению параметров стабилизации усиленного железнодорожного земляного полотна. В настоящее время железная дорога играет ключевую роль в обеспечении потребности пассажирских и грузовых перевозок. В современных условиях эксплуатация железных дорог сконцентрирована на обеспечении необходимого уровня надежности пути, в том числе земляного полотна, которое является одним из ключевых элементов дорожных конструкций. Цель этой статьи заключается в определении параметров напряженно-деформированного состояния для стабилизации основания и самого земляного полотна насыпи с помощью армирующих материалов. **Методика.** Для достижения этой цели были решены следующие задачи исследований: изучено влияние армирующего слоя геоматериалов и деформационных свойств основания земляного полотна при различных конструкциях укрепления; определены распределения напряжений в земляном полотне, которые усилены геоматериалами под статической нагрузкой. Выполнены экспериментальные исследования для изучения природы деформации модели земляного полотна на разных стадиях нагружения. **Результаты.** Анализ результатов проведенных экспериментальных и теоретических исследований позволил сделать ряд выводов. При проведении исследования определено распределение напряжений в земляном полотне, усиленном геоматериалами при статической нагрузке. Выполненный комплекс экспериментальных исследований позволил изучить природу деформации модели земляного полотна при различных степенях нагружения. **Научная новизна.** На основе теоретических исследований рассмотрена проблема определения напряженно-деформированного состояния земляного полотна, усиленного геоматериалами путем измерения напряжений при их применении во время поэтапного нагружения. **Практическая значимость.** Практическая значимость обусловлена итогами оценки влияния усиления земляного полотна для изменения его напряженно-деформированного состояния.

Ключевые слова: железнодорожный путь; насыпь; движение; земляное полотно; параметры; напряженно-деформированное состояние

REFERENCES

1. Blazhko L.S. Geomaterialy pri vysokikh osevykh nagruzkakh [Geomaterials under high axial loads]. *Put i putevoye khozyaystvo – Track and track facilities*, 2002, no. 10, pp. 36-37.
2. Blazhko L.S., Bushuev M.V., Yermakov V.M. Effektivnost ukladki geotekstilya [The effectiveness of the geotextile laying]. *Put i putevoye khozyaystvo – Track and track facilities*, 2008, no. 3, pp. 5-8.
3. Danilenko E.I., Rybkin V. V. *Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist i stiikist* [The rules of railway track calculation for strength and stability]. Kyiv, Ukrsalisnytsia Publ., 2006. 168 p.
4. Novyye sposoby ozdorovleniya zemlyanogo polotna [New ways of the railroad bed improvement]. *Put i putevoye khozyaystvo – Track and track facilities*, 1999, no. 6, pp. 39-40.
5. Petrenko V.D., Huzchenko V.T., Alkhdur A.M.M. Doslidzhennia vplyvu deformatsiinykh kharakterystyk sharu posylennia na NDS zaliznychnoho nasypu pry pidizdi do mostovoho perekhodu [The influence study of the deformation characteristics of the layer of reinforcement on VAT of railway embankment at the entrance to the bridge crossing]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 32, pp. 101-105.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

6. Petrenko V.D., Huzchenko V.T., Tiutkin A.L., Alkhdur A.M.M. Rezultaty analizu parametriv eksperymentalnykh doslidzhen armuvannia heotekstylem zemlianooho polotna [The analysis results of the experimental studies of railroad bed geotextile reinforcement]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 34, pp. 131-135.
7. Petrenko V.D., Huzchenko V.T., Tiutkin A.L., Alkhdur A.M.M. Sravnitelnyy analiz rezultatov eksperymentalnykh issledovaniy usileniya zemlyanogo polotna malodeformiruemym sloem [Comparative analysis of the experimental results for railroad bed intensification with layer reinforcement]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 35, pp. 139-144.
8. Stoyanovich G.M., Tsvetkov V.F. Nagruzku na zemlyanoye polотно mozžno umenshit [The load on the railroad bed can be reduced]. *Put i putevoye khozyaystvo – Track and track facilities*, 1993, no. 8, pp. 19-20.
9. Yakovleva Ye.V. Vliyaniye armirovaniya na deformatsii osnovnoy ploshchadki [The influence of reinforcement on the deformation of the main surface]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway transport*, 1998, no. 11, pp. 24-26.
10. Yakovleva T.G., Vinogradov V.V., Frolovskiy Yu.K. Sposoby usileniya nasypey armogruntovyimi konstruktsiyami [Ways of reinforcement of the embankments by reinforced ground designs]. *Put i putevoye khozyaystvo – Track and track facilities*, 1997, no. 1, pp. 7-10.
11. Al Shaer A. Analyse des déformations permanentes des voies ferrées ballastées. Approche dynamique. Ph.D. thesis of Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France. 2005. 147p.
12. Bourgeois E., Le Kouby A., Smekal A. Subgrade reinforcement with columns. INNOTRACK project. Report D2.2.5. 2009, pp. 7-121.
13. Davis D., Singh S.P., Guillen D. Foundation Measurement Design for Special Trackwork. *Railway Track & Structures*, 2001. no. 12, pp. 17-19.
14. Leykauf G. Trends bei Oberbausystemen für die Zukunft. *Glassers Annalen*, 2000, no. 8, pp. 445-454.
15. Moseley M.P., Kirsch K. Ground Improvement. London; New-York, Spon Press. Taylor & Francis Group Publ., 2004. 440 p. doi: 10.4324/9780203305201
16. Olsson M., Edstamand T., Alén C. Some experiences from full scale test embankments on floating lime-cement columns. Proc. of the Second Intern. Workshop held in Glasgow, Scotland. Taylor & Francis Group Publ., 2008, pp. 77-85. doi: 10.1201/9780203883334.ch8

Prof. M. M. Biliaiev, D. Sc. (Tech.); Prof. A. V. Solodiankin, D. Sc. (Tech.) recommended this article to be published

Received: 20 Oct. 2014

Accepted: 24 Dec. 2014

ЗМІСТ

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

С. В. МЯМЛІН

НЕКОМПЕТЕНТНІСТЬ У НАУЦІ ТА ТЕХНІЦІ – ГАЛЬМО ПРОГРЕСУ, АБО ПРО РЕЙДЕРСТВО
У СФЕРІ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИХ ПОСЛУГ 7

О. М. ПШІНЬКО, В. Г. КУЗНЕЦОВ, М. В. ШАПТАЛА, Д. Є. ШАПТАЛА

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОБСЯГІВ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ
ТА ТЕПЛОТИ НАУКОВИМИ ПІДРОЗДІЛАМИ УНІВЕРСИТЕТУ 15

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Т. І. РУСАКОВА

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВИКИДАМИ
АВТОТРАНСПОРТУ У «ВУЛИЧНИХ КАНЬЙОНАХ» МІСТА 23

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

М. І. МІЩЕНКО

МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ВЕЛИЧИНИ ЗБОРУ ЗА ДОСТУП ДО ОБ'ЄКТІВ
КОЛІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ 35

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

О. В. ЛАВРУХІН

ФОРМУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ СТАНЦІЇ
ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ПОЇЗНОЇ РОБОТИ 43

В. Р. СКАЛЬСЬКИЙ, І. Я. ДОЛІНСЬКА, Д. В. РУДАВСЬКИЙ, Р. Я. ЯРЕМА, В. Р. БАС

МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЗАЛИШКОВОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ РАМИ ВІЗКА ЛОКОМОТИВА
З УРАХУВАННЯМ ПОВЗУЧОСТІ 54

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

О. О. МАТУСЕВИЧ, Д. В. МІРОНОВ

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ 62

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

І. О. БОНДАРЕНКО

СТОСОВНО ПИТАНЬ МОДЕЛЮВАННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ДЕФОРМАТИВНОЇ
РОБОТИ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ 78

Д. М. КУРГАН

ДО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ РОЗРАХУНКУ КОЛІЇ НА МІЦНІСТЬ ІЗ УРАХУВАННЯМ
НЕРІВНОПРУЖНОСТІ ПІДРЕЙКОВОЇ ОСНОВИ 90

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

М. А. ГРИЩЕНКО

ПРОЦЕС ФОРМУВАННЯ УШКОДЖЕНЬ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС ТА БАНДАЖІВ
ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ 100

Т. В. ПАСТУХОВА, В. Г. ЄФРЕМЕНКО, О. П. ЧЕЙЛЯХ, К. ШИМІДЗУ, Ю. Г. ЧАБАК

ВПЛИВ ЛЕГУВАННЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПЕРЕТВОРЕННЯ «ПЕРЛИТ → АУСТЕНИТ»
У КОМПЛЕКСНО-ЛЕГОВАНИХ БІЛИХ ЧАВУНАХ 113

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

З. М. ГАСАНОВ

ПРО ОПТИМІЗАЦІЮ ОБСЯГУ ІНВЕСТИЦІЙ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ ОСНОВНИХ
ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПІДПРИЄМСТВА 122

О. В. ГОРБОВА

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ МОВИ UML 129

В. М. ПАХОМОВА

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНЖИНІРИНГУ ТРАФІКА В КОМП'ЮТЕРНІЙ МЕРЕЖІ УКРЗАЛІЗНИЦІ

ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ MPLS TE 139

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

О. С. КРАШЕНІНІН

ВПЛИВ НАПРАЦЮВАННЯ ЛОКОМОТИВІВ НА КОРЕКТУВАННЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ

ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ПОТОЧНОГО РЕМОНТУ 148

Л. В. УРСУЛЯК, В. О. СИРОТЕНКО

АНАЛІЗ ЕКСПЛУАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАНТАЖНИХ ТЕПЛОВОЗІВ..... 155

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

В. Д. ПЕТРЕНКО, О. Л. ТЮТЬКІН, О. М. КУЛАЖЕНКО, А. М. М. АЛХДУР

ОБГРУНТУВАННЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ УКРІПЛЕНОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО НАСИПУ 165

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА

С. В. МЯМЛИН

НЕКОМПЕТЕНТНОСТЬ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ – ТОРМОЗ ПРОГРЕССА. ИЛИ О РЕЙДЕРСТВЕ
В СФЕРЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ УСЛУГ7

А. Н. ПШИНЬКО, В. Г. КУЗНЕЦОВ, М. В. ШАПТАЛА, Д. Е. ШАПТАЛА
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ

ЭНЕРГИИ И ТЕПЛОТЫ НАУЧНЫМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ УНИВЕРСИТЕТА15

ЭКОЛОГИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

Т. И. РУСАКОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ВЫБРОСАМИ
АВТОТРАНСПОРТА В «УЛИЧНЫХ КАНЬОНАХ» ГОРОДА23

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

М. И. МИЩЕНКО

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ВЕЛИЧИНЫ СБОРА ЗА ДОСТУП К ОБЪЕКТАМ ПУТЕВОЙ
ИНФРАСТРУКТУРЫ35

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА

А. В. ЛАВРУХИН

ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПОЕЗДНОЙ РАБОТЫ43

В. Р. СКАЛЬСКИЙ, И. Я. ДОЛИНСКАЯ, Д. В. РУДАВСКИЙ, Р. Я. ЯРЕМА, В. Р. БАС
МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАМЫ ТЕЛЕЖКИ ЛОКОМОТИВА
С УЧЕТОМ ПОЛЗУЧЕСТИ54

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

А. А. МАТУСЕВИЧ, Д. В. МИРОНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ
ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ62

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ

И. А. БОНДАРЕНКО

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ДЕФОРМАТИВНОЙ РАБОТЫ
ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ.....78

Д. Н. КУРГАН

К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ РАСЧЕТА ПУТИ НА ПРОЧНОСТЬ С УЧЕТОМ
НЕРАВНОУПРУГОСТИ ПОДРЕЛЬСОВОГО ОСНОВАНИЯ90

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Н. А. ГРИЩЕНКО

ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС
И БАНДАЖЕЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....100

Т. В. ПАСТУХОВА, В. Г. ЕФРЕМЕНКО, А. П. ЧЕЙЛЯХ, К. ШИМИДЗУ, Ю. Г. ЧАБАК
ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПРЕВРАЩЕНИЯ «ПЕРЛИТ → АУСТЕНИТ»
В КОМПЛЕКСНО-ЛЕГИРОВАННЫХ БЕЛЫХ ЧУГУНАХ113

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТА И ЭКОНОМИКИ

З. М. ГАСАНОВ

ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ОБЪЕМА ИНВЕСТИЦИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОСНОВНЫХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЯ.....122

А. В. ГОРБОВА

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ С ПОМОЩЬЮ
ГРАФИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ129

В. Н. ПАХОМОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНЖИНИРИНГА ТРАФИКА В КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ УКРЗАЛИЗНЫЦИ
ТЕХНОЛОГИИ MPLS TE.....

139

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ТЯГА ПОЕЗДОВ

А. С. КРАШЕНИНИН

ВЛИЯНИЕ НАРАБОТКИ ЛОКОМОТИВОВ НА КОРРЕКТИРОВАНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ
ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА.....

148

Л. В. УРСУЛЯК, В. О. СИРОТЕНКО

АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВОЗОВ.....

155

ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

В. Д. ПЕТРЕНКО, О. Л. ТЮТЬКИН, Е. Н. КУЛАЖЕНКО, А. М. М. АЛХДУР

ОБОСНОВАНИЕ СТАБИЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ УКРЕПЛЕННОЙ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ НАСЫПИ.....

165

CONTENTS

SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS

S. V. MYAMLIN

INCOMPETENCE IN SCIENCE AND TECHNOLOGY - IT IS A BRAKE OF PROGRESS
OR ABOUT RAIDING IN THE FIELD OF RESEARCH SERVICES7

O. M. PSHINKO, V. G. KUZNETSOV, M. V. SHAPTALA, D. E. SHAPTALA

CONSUMPTION VOLUMES TECHNOLOGY OF ELECTRICITY AND HEAT
BY DEPARTMENTS OF THE UNIVERSITY15

TRANSPORT ECOLOGY

T. I. RUSAKOVA

RESEARCH OF AIR POLLUTION FROM TRAFFIC IN «STREET CANYONS» OF CITY23

ECONOMICS AND MANAGEMENT

M. I. MISHCHENKO

MODEL OF FEES CALCULATION FOR ACCESS TO TRACK INFRASTRUCTURE FACILITIES35

OPERATION AND REPAIR OF TRANSPORT MEANS

O.V. LAVRUKHIN

INTELLECTUAL MODEL FORMATION OF RAILWAY STATION WORK DURING
THE TRAIN OPERATION EXECUTION43

V. R. SKALSKIY, I. YA. DOLINSKA, D. V. RUDAVSKYY, R. YA. YAREMA, V. R. BAS

ESTIMATION MODEL OF RESIDUAL LIFE-TIME OF LOCOMOTIVE FRAME BOGIE WITH
ALLOWANCE FOR CREEP.....54

ELECTRIC TRANSPORT

O. O. MATUSEVYCH, D. V. MIRONOV

STUDY OF THE MANUAL POWER EQUIPMENT OF TRACTION ELECTRIFICATION
SYSTEM OF THE RAILWAYS62

RAILWAY TRACK

I. O. BONDARENKO

TO THE MODELING ISSUES OF LIFE CYCLE OF DEFORMATION WORK
OF THE RAILWAY TRACK ELEMENTS78

D. M. KURHAN

TO THE SOLUTION OF PROBLEMS ABOUT THE RAILWAYS CALCULATION
FOR STRENGTH TAKING INTO ACCOUNT UNEQUAL ELASTICITY OF THE SUBRAIL BASE90

MATERIAL SCIENCE

N. A. GRISCHENKO

THE PROCESS OF FORMATION OF RAILWAY WHEEL DAMAGES AND TIRES IN OPERATION100

T. V. PASTUKHOVA, V. G. EFREMENKO, A. P. CHEILIAKH, K. SHIMIZU, YU. G. CHABAK

EFFECT OF ALLOYING ON TEMPERATURE OF TRANSFORMATION «PEARLITE→AUSTENITE»
IN COMPLEX-ALLOYED WHITE CAST IRONS113

TRANSPORT AND ECONOMIC TASKS MODELING

Z. M. GASANOV

ABOUT OPTIMIZING OF INVESTMENTS VOLUME TO IMPROVE THE BASIC
INDICATORS OF THE ENTERPRISE EFFECTIVENESS122

O. V. GORBOVA

MODELING WORK OF SORTING STATION USING UML.....129

V. N. PAKHOMOVA

RESEARCH OF ENGINEERING TRAFFIC IN COMPUTER OF UKRZALIZNYTSIA NETWORK
USING MPLS TE TECHNOLOGY139

ROLLING STOCK AND TRAIN TRACTION

O. S. KRASHENININ

THE EFFECT OF LOCOMOTIVE HOURS ON ADJUSTING PERIODICITY
OF MAINTENANCE SERVICE, CURRENT REPAIR.....148

L. V. URSULYAK, V. A. SIROTENKO

ANALYSIS OF THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF DIESEL-ELECTRIC LOCOMOTIVES.....155

TRANSPORT CONSTRUCTION

V. D. PETRENKO, O. L. TIUTKIN, O. M. KULAZHENKO, A. M. M. ALKHDOUR

THE BASING OF STABILIZATION PARAMETERS OF A FORTIFIED RAILWAY BED.....165

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 сформувані всі матеріали в п'яти файлах:

- **Перший** – із текстом статті та анотацій з ключовими словами. Назва файлу – прізвище та ініціали автора (першого співавтора) латинськими літерами, наприклад: Ivanov_II_stattia.doc.
- **Другий** – з розширеними відомостями про автора/авторів (прізвище, ім'я, по батькові; посада; науковий ступінь; учене звання; місце роботи або навчання; адреса електронної пошти; номери контактних телефонів). Назва файлу – Ivanov_II_vidomosti.doc.
- **Третій** – рецензія (відсканована). Назва файлу – Ivanov_II_recenziia.jpg.
- **Четвертий** – Експертний висновок (відсканований, складається у вільній формі). Назва файлу – Ivanov_II_vysnovok.jpg.
- **П'ятий** – Ліцензійний договір (відсканований). Назва файлу – Ivanov_II_dogovir.jpg. Текст договору: <http://library.diit.edu.ua/HTMLs/scientists/Vumogu/license.doc>.

2. Для друкованої інформації. До редакції надаються особисто або надсилаються поштою такі матеріали: 1) два друкованих примірники рукопису з підписами всіх співавторів на останньому аркуші роботи; 2) оригінал Ліцензійного договору з підписами всіх співавторів; 3) оригінал експертного висновку; 4) рекомендація до друку за підписом відповідального редактора розділу (для співробітників ДНУЗТ).

Відповідальність за зміст статті, правильність, точність і коректність цитування, посилань та перекладу покладається на авторів.

**Остаточне рішення щодо публікації ухвалює редакційна колегія журналу.
 Статті, відхилені редакційною колегією, повертаються авторам для доопрацювання.**

Шановні автори, запрошуємо до співробітництва!

З питань опублікування звертайтеся до редакції журналу за адресою:

Науково-технічна бібліотека (ауд. 166),
 Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
 вул. Лазаряна, 2,
 м. Дніпропетровськ,
 Україна,
 49010
 e-mail: visnik@diit.edu.ua
 Адреса сайту журналу: <http://stp.diit.edu.ua/>

З питань придбання примірників журналу телефонуйте за номером (056) 776 90 59 Грідасова А. В.



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).

Д л я н о т а т о к

Д л я н о т а т о к

Наукове видання

**НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ.
ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА**
№ 1 (55) 2015

(українською, російською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск – А. І. Миргородська
Комп'ютерне верстання – Ю. С. Марков
Літературна обробка – О. М. Врублевська

Формат 60×84¹/₈. Ум. друк. арк. 21,16. Тираж 300 пр. Зам. № 217.

**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)**
№ 1 (55) 2015

(на украинском, русском и английском языках)

Ответственный за выпуск – А. И. Миргородская
Компьютерная верстка – Ю. С. Марков
Литературная обработка – О. М. Врублевская

Формат 60×84¹/₈. Ус. печат. лист. 21,16. Тираж 300 экз. Зак. № 217.

**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. VİSNIK DNİPROPETROVS'KOGO NACİONAL'NOGO
UNİVERSİTETU ZALİZNIČNOGO TRANSPORTU**

**(SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS. BULLETIN OF DNIPROPETROVSK NATIONAL
UNIVERSITY OF RAILWAY TRANSPORT NAMED AFTER ACADEMICIAN V. LAZARYAN)**
No. 1 (55) 2015

(in Ukrainian, Russian and English languages)

Responsible for issue – A. I. Myrhorodska
Computer makeup – Yu. S. Markov
Redaction – O. M. Vrublevska

Format 60×84¹/₈. Conventional printed sheet 21,16. Circulation 300. Order no. 217.

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



