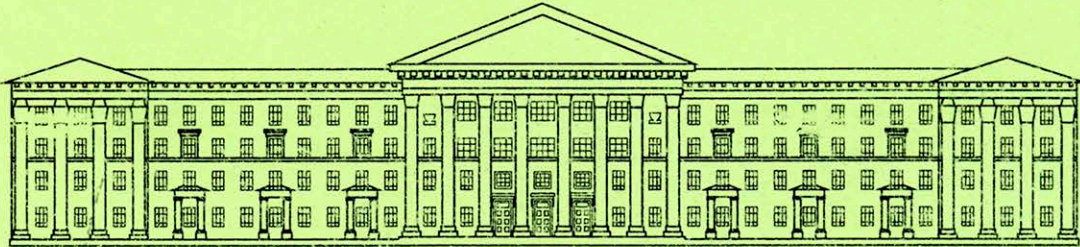




ISSN 2307-3489 (Print)
ISSN 2307-6666 (Online)



НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

5(59)

•• 2015 ••

*Есть в движенье сладость и тревога.
Станция, внезапный поворот.
Жизнь моя – железная дорога,
Вечное стремление вперед.*

Маргарита Алигер, 1938 г.

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

№ 5 (59) 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

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

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ (УКРАЇНА):

Афанасов А. М., Банніков Д. О., Бараш Ю. С., Біляєв М. М., Бобирь Д. В., Бобровський В. І., Боднар Б. С., Босов А. А., Вакуленко І. О., Власова Т. І., Волкова В. Є., Габринєць В. О., Гаврилюк 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., Краснок 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. Гедимінаса, 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. Гедимінаса, Литва); Манашкін Л. А. («ALGAE ENERGY SOLUTION, LLC», США); Сладковські А. (Сілезька політехніка, Республіка Польща); Стржелицькі 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); Шепонг Адам (Варшавський політехнічний університет, Республіка Польща).

Журнал зареєстровано Державною реєстраційною службою Міністерства юстиції України. Свідоцтво про реєстрацію КВ № 19609-9409ПР від 29.12.2012 р. Видання внесено до Переліку наукових фахових видань України наказом Міністерства освіти і науки України 29.12.2014 р. № 1528 (технічні науки). Журнал зареєстровано: в міжнародних каталогах періодичних видань Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat; наукометричних системах Google Scholar, Global Impact Factor, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI. Друкується за рішенням вченої ради університету від 26.10.2015 р., протокол № 3

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. – «Труди Дніпропетровського інститута інженерів залізничного транспорту»;
- 1993–2002 рр. – «Збірник наукових праць Дніпропетровського державного технічного університету залізничного транспорту» (за серіями);
- 2003–2012 рр. – «Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна»;
- з 2013 р. – «Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна»

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

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

(НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА

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

Научный журнал

№ 5 (59) 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., Боднарь 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., Гненный О. Н., Головова Л. С., Гончаров К. В., Горобец В. Л., Доценко Е. Н., Дудкина В. В., Жуковицкий 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., Скалозуб В. В., Снежко Л. А., Урсуляк Л. В., Штапенко Э. Ф., Эйтулис Г. Д., Яришкина Л. А.

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Анисимов П. С. (Московский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация); Бялонь А. (Институт железнодорожного транспорта, Варшава, Республика Польша); Вайчунас Г. (Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литва); Васяк И. (Институт электроэнергетики Лодзинской политехники, Республика Польша); Гусев Б. В. (Московский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация); Долежел И. (Университет Западной Богемии, Чешская Республика); Зиммер К. (Институт Электротехники Варшавской политехники, Республика Польша); Куанышев Б. М. (Казахская академия транспорта и коммуникаций, Республика Казахстан); Лингайтис В. Л. (Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литва); Манашкин Л. А. («ALGAE ENERGY SOLUTION, LLC», США); Сладковски А. (Силезская политехника, Республика Польша); Стржелецки Р. (Гданьская морская академия, Республика Польша); Титова Т. С. (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация); Худзикевиц А. (Варшавский политехнический университет, Республика Польша); Шепонг Адам (Варшавский политехнический университет, Республика Польша).

Журнал
зарегистрирован

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

Издание внесено в Перечень научных специализированных изданий Украины приказом Министерства образования и науки Украины 29.12.2014 г. № 1528 (технические науки).

Журнал зарегистрирован: в международных каталогах периодических изданий Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat; наукометрических системах Google Scholar, Global Impact Factor, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI. Печатается по решению ученого совета университета от 26.10.2015 г., протокол № 3

Издатель

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

Адрес
учредителя

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

Издание публикуется с 1936 г.:

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

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

NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU
VÌSNIK DNÌPROPETROVS'KOGO NACÌONAL'NOGO UNÌVERSITETU
ZALÌZNIČNOGO TRANSPORTU

(SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS
BULLETIN OF DNIPROPETROVSK NATIONAL UNIVERSITY OF RAILWAY
TRANSPORT NAMED AFTER ACADEMICIAN V. LAZARYAN)

Scientific journal

No. 5 (59) 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	Pshinko O. M., Doctor of Technical Sciences
Editor-in-Chief	Myamlin S. V., Doctor of Technical Sciences
Deputy Chief Editor	Kozachenko D. M., Doctor of Technical Sciences
Executive Secretary	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., Gabryniec V. A., Gavrilyuk V. I., Getman G. K., Glavatskiy K. Ts., Hnennyi O. M., Golovkova L. S., Goncharov K. V., Gorobets V. L., Kapitsa M. I., Kazakevich M. I., Kopytko V. I., Kostin M. O., Krasnyuk A. V., Kravets V. V., Kurgan M. B., Kuznetsov V. G., Mukha A. M., Mukhina N. A., Nastechik N. P., Netesa N. I., Ochkasov O. B., Okovytyy S. I., Petrenko V. D., Pichugov S. O., Pichurin V. V., Polishko T. V., Radchenko N. A., Radkevych A. V., Raksha S. V., Shtapenko E. P., Skalozub V. V., Snizhko L. O., Ursulyak L. V., Vakulenko I. O., Vlasova T. I., Volkova V. Ye., Yarishkina L. O., Zabludovskiy V. O., Zhukovytsky I. V.

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

Anisimov P. (Moscow State University of Railway Engineering, Russian Federation); Bialon A. (Railway Institute, Warszawa, Republic of Poland); Chudzikiewicz A. (Transport Warsaw University of Technology, Republic of Poland); Dolezel I. (The University of West Bohemia, Czech Republic); Gusev B. (Moscow State University of Railway Engineering, Russian Federation); Kuanyshov B. M. (Kazakh Academy of Transport and Communications, Republic of Kazakhstan); Lingaitis V. L. (Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania); Manashkin L. («ALGAE ENERGY SOLUTION, LLC», USA); Sladkowski A. (Silesian University of Technology, Republic of Poland); Strzelecki R. (Gdynia Maritime академия, Republic of Poland); Szeląg Adam (Warsaw University of Technology, Republic of Poland), Titova T. S. (Petersburg State Transport University, Russian federation); Vaiciunas G. (Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania); Wasiak I. (Institute of Electrical Power Engineering, Republic of Poland); Zymmer K. (Electrotechnical Institute, Republic of Poland)

Journal was registered	by the State Registration Service of the Ministry of Justice of Ukraine. Certificate of Registration KB no.19609-9409PR from 29.12.2012 Edition is included in the list of scientific professional publications of Ukraine by the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine 29.12.2014 г. no. 1528 (technical sciences). Journal is registered: in the International Catalogue of periodicals Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat; research and metric systems Google Scholar, Global Impact Factor, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI. Published according to the Academic Council decision of the University from 26.10.2015, Protocol no. 3
Publisher	Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (Dnipropetrovsk) Certificate of Publisher ДК no. 1315 from 31.03.2003
Address of Founder	St. Lazaryana, 2, room 267, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel.: +38 (056) 371-51-05; e-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua; journal site: http://stp.diit.edu.ua/

Edition is being published since 1936:

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

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 621.33:656.259.12/.2

В. И. ГАВРИЛЮК^{1*}, В. И. ЩЕКА^{2*}, В. В. МЕЛЕШКО^{3*}

^{1*}Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта diitats@mail.ru, ORCID 0000-0001-9954-4478

^{2*}Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта, shcheka_v@mail.ru, ORCID 0000-0002-2184-2827

^{3*}Главное управление автоматики, телемеханики и связи ГП «Укрзалізниця», ул. Тверская, 5, Киев, Украина, 03680, эл. почта soyuz_at@mail.ru, ORCID 0000-0001-6833-964X

ИСПЫТАНИЯ НОВЫХ ТИПОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ СОВМЕСТИМОСТЬ С УСТРОЙСТВАМИ СИГНАЛИЗАЦИИ И СВЯЗИ

Цель. В работе предусматривается проведение сравнительного анализа норм и методов измерений электромагнитных помех, создаваемых электрооборудованием новых типов подвижного состава при электротяге переменного и постоянного тока в соответствии с нормативными документами, принятыми в Украине и Евросоюзе. Необходимой также является разработка на этой основе метода измерений тока помех в тяговой сети, генерируемых электрооборудованием электроподвижного состава (ЭПС), примененного для испытаний новых типов подвижного состава на электромагнитную совместимость (ЭМС) с различными системами железнодорожной сигнализации. **Методика.** Предложена методика испытаний, включающая измерения как в силовых цепях ЭПС, так и в путевых устройствах систем сигнализации. **Результаты.** Проведен анализ норм и методов испытаний подвижного состава на электромагнитную совместимость с рельсовыми цепями (РЦ). Установлено, что большое разнообразие систем электроснабжения, сигнализации и связи в европейских странах вызывает необходимость проведения испытаний новых типов электроподвижного состава на электромагнитную совместимость с рельсовыми датчиками в каждой стране отдельно, с учетом особенностей используемых в ней систем. Это значительно увеличивает стоимость внедрения новых типов подвижного состава. Разработан метод испытаний ЭПС на ЭМС с рельсовыми цепями, включающий измерения как в силовых цепях ЭПС, так и в путевых устройствах систем сигнализации. Проведены измерения в соответствии с предложенной методикой для ЭПС с асинхронным тяговым приводом при движении по участкам, электрифицированным на постоянном и переменном токе. Определены значения тока помех в рельсовых цепях для всех частот сигнального тока РЦ. Показано, что при некоторых режимах ведения поезда ток помех превышает допустимые значения. **Научная новизна.** Предложен метод измерения тока помех в тяговой сети, генерируемых электрооборудованием ЭПС. Метод предполагает одновременную регистрацию сетевого тока электропоезда, сигнала автоматической локомотивной сигнализации, скорости поезда, положения рукоятки контроллера машиниста. А также обратного тягового тока в рельсовой линии при проезде поезда по измерительному участку с последующей компьютерной обработкой результатов и применением компьютерного и физического моделирования. **Практическая значимость.** Использование разработанной методики повышает достоверность испытаний и снижает расходы на их проведение.

Ключевые слова: электроподвижной состав; электромагнитная совместимость; рельсовые цепи

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Введение

Электромагнитной совместимостью (ЭМС) технических средств называется способность их функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех (ЭМП) другим техническим средствам [5, 10, 14]. Электрифицированные железные дороги (ЭЖД) являются мощным пространственно распределенным источником электромагнитных помех. Вопросы обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) ЭЖД со слаботочными линиями автоматики и связи решались в процессе электрификации железных дорог. Однако проблема ЭМС на ЭЖД сохраняет свою актуальность и в настоящее время. Этому способствует широкое применение на магистральном транспорте электроподвижного состава (ЭПС) с асинхронным тяговым приводом (АТП), увеличение скорости движения поездов, внедрение новых микропроцессорных систем управления движением. Новые типы подвижного состава (ПС) перед вводом в эксплуатацию подвергаются испытаниям по определенной программе, которая включает испытания на ЭМС [7, 10-12, 17].

Проблемы, возникающие при испытании новых типов ЭПС на ЭМС заключаются в следующем. Большое разнообразие систем электропитания, сигнализации и связи в европейских странах вызывает необходимость проведения испытаний в каждой стране отдельно, с учетом особенностей, используемых в ней систем, что значительно увеличивает стоимость внедрения новых типов подвижного состава.

Национальными нормативными документами определены предельно допустимые нормы электромагнитных помех, создаваемых ЭПС [5, 14]. В условиях расширения кооперации украинских железных дорог в плане модернизации подвижного состава с использованием асинхронного тягового привода на ЭПС необходимо совершенствование национальной нормативной базы путем гармонизации с европейскими стандартами.

В последнее время в рамках Евросоюза разрабатываются общеевропейские нормы на электромагнитные помехи, генерируемые ЭПС. Несмотря на то, что нормативные значения допустимых по условиям безопасности помех

разработаны с достаточным запасом, на отдельных участках железной дороги наблюдаются сбои в работе систем сигнализации и связи при проезде новых типов подвижного состава. Особенно это проявляется в случае экстремальных условий работы железнодорожных систем.

Цель

Целью работы является проведение анализа норм и методов измерений электромагнитных помех, создаваемых электрооборудованием новых типов подвижного состава при электротяге переменного и постоянного тока, определенных нормативными документами Евросоюза и Украины, а также разработка на этой основе метода измерений тока помех в рельсовой линии, генерируемых электрооборудованием ЭПС.

Методика

В процессе испытаний новых типов ПС на электромагнитную совместимость с устройствами сигнализации и связи проводят измерения следующих параметров:

- уровень мешающего и опасного влияния электрооборудования ПС на рельсовые цепи, путевые устройства сигнализации;
- уровень мешающего напряжения, наведенного в контрольной цепи связи;
- уровень напряженности поля радиопомех от оборудования ПС;
- уровень радиопомех, создаваемых на частотах технологической радиосвязи и передачи данных.

Ниже приведено краткий обзор норм и методов контроля трех первых параметров, а также более подробный анализ метода измерения помех от подвижного состава в рельсовой линии.

Уровень мешающего напряжения, наведенного в контрольной цепи связи. В качестве расчетного принимается контрольный участок кабеля типа МКПАБ $7 \times 4 \times 1,05 + 5 \times 2 \times 0,7 + 1 \times 0,7$ при длине сближения линии связи с тяговой сетью 25 км и ширине сближения между проводом связи и влияющей линией 25 м. На расчетном участке принимается консольное электропитание двухпутного участка на плече 25 км. Удельная проводимость земли σ при-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

нимається равной 0,025 см/м. Расчетный уровень мешающего напряжения (его психофотометрическое значение) определяется по формуле:

$$U_{\text{ш}} = \sqrt{\sum_{50}^{3450} U_{\text{ш}f}^2},$$

где $U_{\text{ш}f}$ – уровень гармонической составляющей мешающего напряжения с частотой f в диапазоне 50–3 450 Гц, мВ. Психофотометрическое значение мешающего напряжения $U_{\text{ш}}$ не должно превышать уровень 1,2 мВ.

Уровень напряженности поля радиопомех от оборудования ПС. Нормы и методы измерений радиопомех от электротранспорта устанавливает ГОСТ 29305 в полосе частот 0,15–300 МГц. Для частот 0,15–30 МГц допустимые значения напряженности поля радиопомех (E , дБ) вычисляются по следующим формулам:

– для электровоза в установившемся режиме при частотах $f = 0,15 \dots 30$ МГц:

$$E = 66 - 11,3 \lg \frac{f}{0,15},$$

а при частотах $f = 30 \dots 300$ МГц – $E = 46$ дБ;

– для пригородного электропоезда в установившемся режиме при частотах $f = 0,15 \dots 30$ МГц:

$$E = 60 - 11,3 \lg \frac{f}{0,15},$$

а при частотах $f = 30 \dots 300$ МГц – $E = 40$ дБ;

– для пригородного электропоезда в переходном режиме при $f = 0,15 \dots 30$ МГц:

$$E = 70 - 11,3 \lg \frac{f}{0,15}.$$

В Евросоюзе нормы электромагнитных помех радиопомехам железнодорожного транспорта установлены стандартом EN 50121 Railway applications – Electromagnetic compatibility, который состоит из 6-ти частей: Part 1: General, Part 2: Emission of the whole railway system to the outside world, Part 3-1: Rolling stock – Train and complete vehicle, Part 3-2: Rolling stock – Apparatus, Part 4: Emission and immunity of the

signaling and telecommunications apparatus, – Part 5: Emission and immunity of fixed power supply installations and apparatus [10, 14].

Предельные нормы радиопомех от электроподвижного состава определены частью 3-2 стандарта EN 50121 для полосы частот 9 кГц до 1 ГГц. В Украине из этих стандартов введены в действие только части 1 и 4.

Уровень радиопомех, создаваемых на частотах технологической радиосвязи и передачи данных. Допустимые уровни радиопомех приведены в табл. 1.

Таблица 1

Допустимые уровни радиопомех

Table 1

Permissible levels of radio interference

Вид ЭПС	Уровень радиопомех, дБ, на частоте в МГц			
	2,1	153,0	2,1	153,0
	на стоянке		при движении	
Электровоз:				
постоянного тока 3 кВ	45	18	58	30
переменного тока 25 кВ 50 Гц	46	26	60	46

Испытания на электромагнитную совместимость с рельсовыми цепями. Уровни влияния электрооборудования ЭПС на рельсовые цепи и путевые устройства сигнализации определены нормами безопасности для всех частот, на которых работают рельсовые цепи (25, 50, 420, 480, 580, 720, 780, 4 545, 5 000, 5 555 Гц). Требования по ЭМС подвижного состава с рельсовыми датчиками в Евросоюзе определены нормами EN 50238:2003: Railway applications – Compatibility between rolling stock and train detection systems, EN 50238:2003: Railway applications – Compatibility between rolling stock and train detection systems – Part 2: Compatibility with track circuits.

Измерения проводят в определенных диапазонах частот, соответствующих частотам сигнального тока РЦ, при максимальной тяговой мощности ПС во всех эксплуатационных режимах работы электрооборудования, предусмотренных технической документацией.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Разнообразие систем электроснабжения, сигнализации и связи в европейских странах вызывает необходимость проведения испытаний для каждой системы сигнализации и электроснабжения. [3, 4, 6, 15] Разработанный в Евросоюзе новый стандарт призван унифицировать методику испытаний подвижного состава на ЭМС с рельсовыми цепями. В стандарте указаны ограничения на ток ЭПС в зависимости от типа РЦ и методы измерений для определения показателей электромагнитной совместимости электроподвижного состава и рельсовых цепей.

Измерения тока помех в РЦ производят в цепи средней точки дроссель-трансформатора с помощью бесконтактного датчика тока (катушки Роговского), сигнал от которого подают через делитель напряжения на АЦП (в нашем случае использовался 12-разрядный АЦП) и регистрируют на персональном компьютере с соответствующим программным обеспечением [2–4, 8, 17].

К ограничениям методики следует отнести то, что ток помех в рельсовой линии измеряется в течение ограниченного периода времени между моментами вхождения головы поезда на участок непосредственно перед точкой измерения, в течение проезда поезда и удаления его хвоста на расстояние в несколько метров. Ограничения вызваны тем, что по мере удаления поезда от точки измерения ток в рельсовой линии уменьшается вследствие стекания его в землю, а также растекания от поезда в две стороны по рельсовой линии и земле.

В дополнение к измерениям в рельсовой линии проводят измерения тока помех в силовых цепях ЭПС. В этом случае возможна длительная регистрация тягового тока при движении поезда с реализацией всех требуемых режимов ведения. Точковый датчик включается в общую цепь «заземления» силового оборудования ЭПС, регистрацию тока проводят аналогично описанной выше методике.

В работе предлагается метод, при котором регистрируют одновременно ряд параметров, а именно: сетевой ток электропоезда, сигнал автоматической локомотивной сигнализации, скорость поезда, положение рукоятки контроллера машиниста, а также обратный тяговый ток в рельсовой линии. Анализ измеренных данных

производят с применением компьютерного и физического моделирования. [1, 2, 13, 17].

Спектральный анализ обратного тягового тока проводят с помощью математического пакета MatLab с предварительной фильтрацией измеренного тока для устранения высокочастотных помех и с последующим применением быстрого преобразования Фурье с окном Ханна с перекрытием $\sim 75\text{--}80\%$. Длительность окна Ханна выбирают по минимальной длительности помехи, способной вызывать сбои в нормальной работе путевого приемника. [2, 11, 16].

Результаты

Для апробации методики и программ обработки результатов проведены измерения обратного тягового тока для электропоезда с АТП на участках с электротягой постоянного и переменного тока. Некоторые результаты приведены ниже. На рис. 1 приведена временная зависимость и спектральный состав обратного тягового тока электропоезда с асинхронным тяговым приводом в режиме тяги при наборе скорости до ~ 140 км/ч на участке с подъемом $\sim 5\%$.

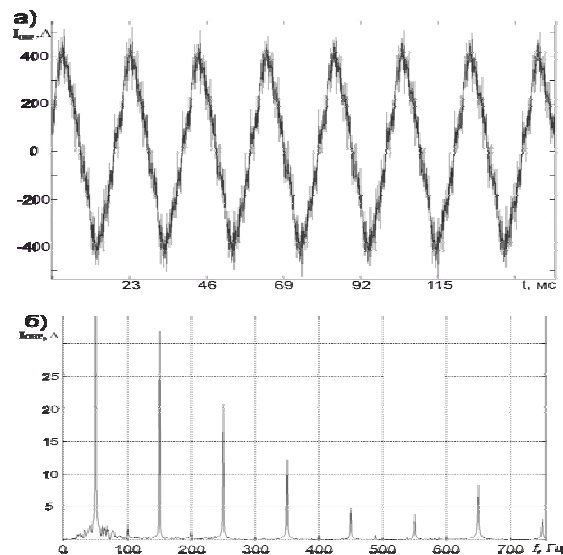


Рис. 1. Временная зависимость (а) и спектральный состав (б) обратного тягового тока электропоезда в режиме тяги при наборе скорости до ~ 140 км/ч

Fig. 1. Time dependence (a) and spectral composition (b) of the reverse traction current of an electric train in traction mode at a set rate to ~ 140 km/h

Как видно из рисунка, в спектре обратного тягового тока присутствуют помехи с частотами, близкими к частотам работы рельсовых це-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

пей 25, 480 и 580 Гц, причем уровень помех в полосе частот ~ 25 Гц близок к опасному значению, а в полосе частот ~ 480 Гц уровень помехи кратковременно превышал допустимое значение.

На рис. 2 приведен фрагмент временной зависимости и спектральный состав обратного тягового тока электропоезда с асинхронным тяговым приводом в режиме экстренного торможения без рекуперации от ~ 140 км/ч на ровном участке.

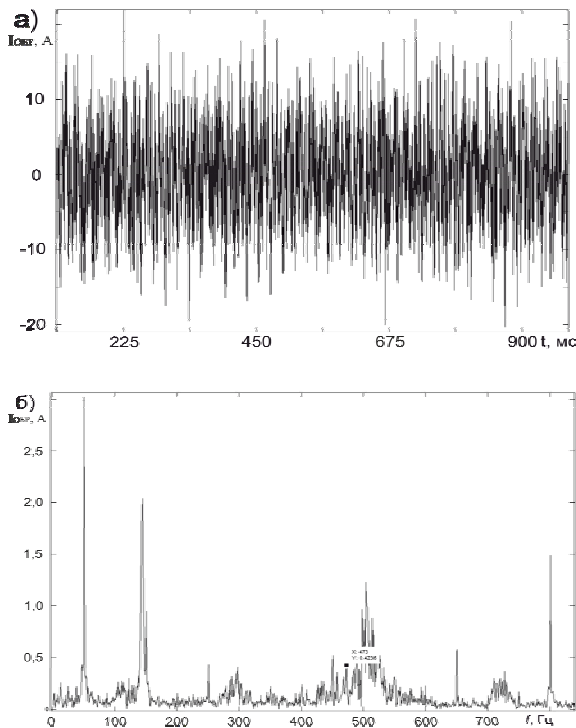


Рис. 2. Временная зависимость (а) и спектральный состав (б) обратного тягового тока электропоезда в режиме экстренного торможения

Fig. 2. Time dependence (a) and spectral composition (b) of the reverse traction current of the electric train at emergency braking mode

Несмотря на небольшие значения обратного тягового тока (~ 20 А) в спектре наблюдалась помеха с частотой ~ 480 Гц и уровнем, превышающем предельно допустимое значение.

После обработки результатов измерения помех при движении электропоезда во всех режимах, предусмотренных нормативными документами, максимальное значение тока помех на частотах работы рельсовых цепей для электропоезда переменного и постоянного тока сведены в табл. 2, 3.

Таблица 2

Ток помехи в рельсовой линии при электропоезде переменного тока

Table 2

The interference current in a rail line with electric traction of AC

Частота, Гц	Диапазон частот, Гц	Максимально допустимый ток помехи, А	Максимальный измеренный ток помехи, А
25	21–29	1	1,41
420	408–432	0,35	0,37
480	468–492	0,35	0,40
580	568–592	0,35	0,55
720	708–732	0,35	0,12
780	768–792	0,35	0,52
4 545	4 508–4 583	0,2	0,50
5 000	4 963–5 038	0,2	0,15
5 555	5 518–5 593	0,2	0,13

Таблица 3

Ток помехи в рельсовой линии при электропоезде постоянного тока

Table 3

The interference current in a rail line with electric traction of DC

Частота, Гц	Диапазон частот, Гц	Максимально допустимый ток помехи, А	Максимальный измеренный ток помехи, А
25	21–29	1	0,39
50	46–54	1,3	0,10
420	408–432	0,35	0,42
480	468–492	0,35	0,48
580	568–592	0,35	0,36
720	708–732	0,35	0,06
780	768–792	0,35	0,38
4 545	4 508–4 583	0,2	0,12
5 000	4 963–5 038	0,2	0,30
5 555	5 518–5 593	0,2	0,13

Научная новизна и практическая значимость

Предложен метод измерения тока помех в тяговой сети, генерируемых электрооборудованием ЭПС, который предполагает одновременную регистрацию сетевого тока электропоезда, сигнала автоматической локомотивной сигнализации, скорости поезда, положения рукоятки контроллера машиниста, а также обратного тягового тока в рельсовой линии при проезде поезда по измерительному участку с последующей компьютерной обработкой результатов и с применением компьютерного и физического моделирования.

Выводы

Проведен анализ норм и методов измерений электромагнитных помех, создаваемых электрооборудованием новых типов подвижного состава при электротяге переменного и постоянного тока в соответствии с нормативными документами, принятыми в Украине и Евросоюзе.

Большое разнообразие систем электроснабжения, сигнализации и связи в европейских странах вызывает необходимость проведения испытаний в каждой стране отдельно, с учетом особенностей используемых в ней технических систем, что значительно увеличивает стоимость внедрения новых типов подвижного состава. Особенно это относится к испытанию воздействия ЭМП на рельсовые путевые датчики. Разработанный в Евросоюзе новый стандарт призван унифицировать методику испытаний подвижного состава на ЭМС с рельсовыми цепями.

Решение проблемы применимости результатов испытаний ЭПС к другим национальным системам сигнализации и связи возможно путем применения расширенной методики измерений тока помех в тяговой сети, генерируемых электрооборудованием ЭПС с последующей компьютерной обработкой результатов и применением компьютерного и физического моделирования.

Разработан метод и методика испытаний подвижного состава на электромагнитную совместимость с рельсовыми цепями.

Предложенная методика апробирована при испытаниях новых типов ЭПС с асинхронным тяговым двигателем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гаврилюк, В. І. Розробка математичної моделі для дослідження електромагнітних завад від тягових перетворювачів з асинхронним двигуном / В. І. Гаврилюк, В. І. Щека // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 31. – С. 221–225.
2. Исследование электромагнитной совместимости обратной тяговой сети с устройствами сигнализации, централизации и блокировки / А. М. Безнарыгний, В. И. Гаврилюк, И. О. Романцев, В. И. Щека // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 3 (51). – С. 7–14. doi: 10.15802/stp-2014/25778.
3. Сердюк, Т. Н. Измерение электромагнитных помех в обратной тяговой сети / Т. Н. Сердюк, А. В. Завгородний, В. И. Гаврилюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 29. – С. 134–139.
4. Bellan, D. Monitoring of Electromagnetic Environment Along High-Speed Railway Lines Based on Compressive Sensing / D. Bellan, S. A. Pignari // Progress In Electromagnetics Research C. – 2015. – Vol. 58. – P. 183–191. doi: 10.2528/pierc-15051103.
5. CENELEC DS/CLC/TS 50238-2:2010. Railway Applications – Compatibility Between Rolling Stock And Train Detection Systems. – Part 2 : Compatibility With Track Circuits. – ERTMS. – 2010. – 42 p.
6. Fedeli, E. Fast and accurate measurement of radiated emissions of moving trains according to IEC 62236 / E. Fedeli, S. A. Pignari, G. Spadacini // Proc. 9th World Congress on Railway Research (WCRR 2011). – Lille, France, 2011. – С. 1–8.
7. Holmstrom, F. R. Rail transit EMI-EMC Electromagnetic Compatibility / F. R. Holmstrom, D. Turner, E. Fernald // Magazine IEEE. – 2012. – Vol. 1. – Iss. 1. – P. 79–82. doi: 10.1109/MEMC.-2012.6244954.
8. Measuring, modeling and correction actions for EMC assessment between high speed railway and medical equipment / D. Alonso, J. Rulf, F. Silva, M. Pous // Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion (ESARS). – 2010. – P. 1–5. doi:10.1109/ESARS.2010.5665252.
9. Mitigation of Electromagnetic Interference in Rolling stock / Pranay Soni, Prerna Soni, L. P. Singh, S. S. Deswal // Intern. J. of Electrical, Electronics and Computer Engineering. – 2013. – Vol. 2, № 1. – P. 22–27.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

10. Pignari, S. A. Measurement of rolling-stock radiated emissions according to standard EN 50121 / S. A. Pignari, D. Bellan, G. Spadacini // 17th Intern. Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility. – Singapore, 2006. – P. 250–255.
11. Place, C. Managing rolling stock EMC / C. Place, D. Hayes // Electromagnetic Compatibility in Railways. IET Seminar. – London, 2009. – P. 1-8.
12. Rhee, E. Electromagnetic Compatibility Analysis for the Railway Telecommunication Intrasubsystem / E. Rhee, K. Changjae // Intern. J. Of Software Engineering & Its Applications. – 2014. – Vol. 8, № 5. – P. 115–126. doi: 10.14257/ijseia.2014.8.5.10.
13. Space-frequency analysis and experimental measurement of magnetic field emissions radiated by high-speed railway systems / D. Bellan, G. Spadacini, E. Fedeli, S. A. Pignari // Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on. – 2013. – Vol. 55, № 6. – P. 1031–1042. doi:10.1109/TEMC.2013.2258150.
14. Standard EN 50121. Railway applications. Electromagnetic compatibility. – London : BSI. – 2015. – 24 p.
15. Study on Distribution Coefficient of Traction Return Current in HighSpeed Railway / W. Huang, Zh. He, H. Hu, Q. Wang // Energy and Power Engineering. – 2013. – Vol. 5. – Iss. 4. – P. 1253–1258. doi: 10.4236/epe.2013.54B238.
16. Test Analysis and Modeling of Power Frequency Magnetic-Field Environment in Carbodies of Electrified Trains / F. Zhu, L. Guanghui, Y. Jiaquan, D. Hui // J. of Southwest Jiaotong University. – 2015. – Vol. 50. – P. 400–404.
17. Zhao, L.-H. Induction coupling between jointless track circuits and track-circuit-reader antenna / L.-H. Zhao, W.S. Shi // Progress in Electromagnetics Research. – 2013. – Vol. 138. – P. 173–196. doi: 10.2528/pier13012904.

В. І. ГАВРИЛЮК^{1*}, В. І. ЩЕКА^{2*}, В. В. МЕЛЕШКО^{3*}

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

^{2*}Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта shcheka_v@mail.ru, ORCID 0000-0002-2184-2827

^{3*}Головне управління автоматики, телемеханіки та зв'язку ДП «Укрзалізниця», вул. Тверська, 5, Київ, Україна, 03680, ел. пошта soyuz_at@mail.ru, ORCID 0000-0001-6833-964X

ВИПРОБУВАННЯ НОВИХ ТИПІВ РУХОМОГО СКЛАДУ НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНУ СУМІСНІСТЬ ІЗ ПРИСТРОЯМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Мета. В роботі передбачається проведення порівняльного аналізу норм і методів вимірювань електромагнітних завод, що створюються електроустаткуванням нових типів рухомого складу при електротязі змінного та постійного струму у відповідності до нормативних документів, прийнятих в Україні та Європі. Необхідним є також розробка на цій основі методу вимірювань струму перешкод у тяговій мережі, що генеруються електроустаткуванням електрорухомого складу (ЕРС). Він може застосовуватися для випробувань нових типів рухомого складу на електромагнітну сумісність із різними системами залізничної сигналізації. **Методика.** Запропоновано методику випробувань, що включає вимірювання як у силових колах ЕРС, так і в колійних пристроях систем сигналізації. **Результати.** Проведено аналіз норм і методів випробувань рухомого складу на електромагнітну сумісність із рейковими колами (РК). Встановлено, що велика різноманітність систем електропостачання, сигналізації та зв'язку в європейських країнах викликає необхідність проведення випробувань нових типів електрорухомого складу на електромагнітну сумісність із рейковими датчиками в кожній країні окремо, з урахуванням особливостей кожної із систем. Це значно збільшує вартість впровадження нових типів рухомого складу. Розроблено метод випробувань ЕРС на ЕМС із рейковими колами, що включає вимірювання як у силових колах ЕРС, так і в колійних пристроях систем сигналізації. Проведено вимірювання у відповідності з запропонованою методикою для ЕРС із асинхронним тяговим приводом при русі по ділянках, електрифікованих на постійному та змінному струмі. Визначено значення струму завод у рейкових колах для всіх частот сигнального струму РК. Показано, що при деяких режимах ведення поїзда струм перешкод перевищує допустимі значення. **Наукова новизна.** Запропоновано метод вимірювань струму перешкод у тяговій мережі, що генеруються електроустаткуванням ЕРС. Метод зумов-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

лює одночасну реєстрацію мережевого струму електропоїзда, сигналу автоматичної локомотивної сигналізації, швидкості поїзда, положення рукоятки контролера машиніста. А також зворотного тягового струму в рейковій лінії при проїзді поїзда по вимірювальній дільниці з подальшою комп'ютерною обробкою результатів і застосуванням комп'ютерного та фізичного моделювання. **Практична значимість.** Використання розробленої методики підвищує достовірність випробувань та знижує витрати на їх проведення.

Ключові слова: електрорухомий склад; електромагнітна сумісність; рейкові кола

V. I. HAVRILYUK^{1*}, V. I. SHCHEKA^{2*}, V. V. MELESHKO^{3*}

^{1*}Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail diitats@mail.ru, ORCID 0000-0001-9954-4478

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

^{3*}Head Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Ukrzaliznytsia, Tverskaia St., 5, Kiev, Ukraine, 03680, e-mail soyuz_at@mail.ru, ORCID 0000-0001-6833-964X

TESTING NEW TYPES OF ROLLING STOCK FOR ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY WITH SIGNALING AND COMMUNICATION DEVICES

Purpose. In the paper there is the comparative analysis of standards and methods of measurements of electromagnetic interference, those are caused by electrical equipment of new types of rolling stock with AC and DC-current electric traction in accordance with the normative documents are adopted in Ukraine and the EU. The development on this basis the measuring method of current interference in traction network, generated by the electrical equipment of electric rolling stock (ERS) applicable to testing the new types of rolling stock for electromagnetic compatibility (EMC) with different systems of railway signaling is also needed. **Methodology.** The testing method has been offered. It includes measurements in power circuits of rolling stock, as well as in track devices of signalization systems. **Findings.** Norms and methods tests of a rolling stock on electromagnetic compatibility with track circuits (TC) were analyzed. It was found that a large variety of electricity supply systems, signalization and link in Europe makes it necessary to test new types of electric rolling stock for electromagnetic compatibility with pick up unit in each country separately, taking into account the features used in its systems. It is greatly increases the cost of introducing new types of rolling stock. The test method of electric rolling stock EMC with track circuits has been developed; it includes measurement in power circuits of rolling stock, as well as in track devices of signalization systems. Measurements in accordance with the proposed methodology for electric rolling stock with asynchronous traction drive when driving on sections electrified at AC and DC have been carried out. The values of the interference current in track circuit to all the frequencies of the signal current have been defined. It is shown that under some modes of the train the interference current exceed the permissible values. **Originality.** The method for measuring interference current generated by rolling stock electrical equipment in the traction network was offered. The method assumes the simultaneous recording of the network current of electric train, automatic locomotive signaling current, train's speed, driver's controller handle position and reverse traction current in a track line when trains passing over the measuring section with subsequent computer processing results, computer and physical simulations. **Practical value.** Using of the developed method improves the accuracy of the tests and reduces their cost.

Keywords: electric rolling stock; electromagnetic compatibility; track circuits

REFERENCES

1. Havryliuk V.I., Shcheka V.I. Rozrobka matematychnoi modeli dlia doslidzhennia elektromahnitnykh zavad vid tiahovykh peretvoriuvachiv z asynkhronnym dvyhunom [The development of mathematical model for the study of electromagnetic interference from the traction converters with asynchronous motor]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 31, pp. 221-225.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

2. Beznarytniy A.M., Gavrilyuk V.I., Romantsev I.O., Shcheka V.I. Issledovaniye elektromagnitnoy sovmostnosti obratnoy tyagovoy seti s ustroystvami signalizatsii, tsentralizatsii i blokirovki [Electromagnetic compatibility research of return traction network with signaling devices, centralization and blocking]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 3 (51), pp. 7-14. doi: 10.15802/stp2014/25778.
3. Serdyuk T.N., Zavgorodniy A.V., Gavrilyuk V.I. Izmereniye elektromagnitnykh pomekh v obratnoy tyagovoy seti [The measurement electromagnetic interference in the reverse traction network]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 29, pp. 134-139.
4. Bellan D., Pignari S.A. Monitoring of Electromagnetic Environment Along High-Speed Railway Lines Based on Compressive Sensing. *Progress In Electromagnetics Research C*, 2015, issue 58, pp. 183-191. doi: 10.2528/pierc15051103 .
5. CENELEC DS/CLC/TS 50238-2:2010. Railway Applications – Compatibility Between Rolling Stock And Train Detection Systems. Part 2: Compatibility With Track Circuits. ERTMS, 2010. 42 p.
6. Fedeli E., Pignari S.A., Spadacini G. Fast and accurate measurement of radiated emissions of moving trains according to IEC 62236. Proc. 9th World Congress on Railway Research (WCRR 2011). Lille, France, 2011, pp. 1-8.
7. Holmstrom F.R., Turner D., Fernald E. Rail transit EMI-EMC Electromagnetic Compatibility. *Magazine IEEE*, 2012, vol. 1, issue 1, pp. 79-82. doi: 10.1109/MEMC.2012.6244954.
8. Alonso D., Rulf J., Silva F., Pous M. Measuring, modeling and correction actions for EMC assessment between high speed railway and medical equipment. *Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion (ESARS)*, 2010, pp. 1-5. doi:10.1109/ESARS.2010.5665252.
9. Soni Pranay, Soni Prerna, Singh L.P., Deswal S.S. Mitigation of Electromagnetic Interference in Rolling stock. *Int. Journal of Electrical, Electronics and Computer Engineering*, 2013, vol. 2, no. 1, pp. 22-27.
10. Pignari S.A., Bellan D., Spadicini G. Measurement of rolling-stock radiated emissions according to standard EN 50121. 17th Intern. Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility. Singapore, 2006, pp. 250-255.
11. Place C., Hayes D. Managing rolling stock EMC. *Electromagnetic Compatibility in Railways*. IET Seminar. London, 2009, pp. 1-8.
12. Rhee E., Changjae G. Electromagnetic Compatibility Analysis for the Railway Telecommunication Intrasubsystem. *Int. Journal of Software Engineering & Its Applications*, 2014, vol. 8, no. 5, pp. 115-126. doi: 10.14257/-ijseia.2014.8.5.10.
13. Bellan D., Spadacini G., Fedeli E., Pignari S.A. Space-frequency analysis and experimental measurement of magnetic field emissions radiated by high-speed railway systems. *Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on*, 2013, vol. 55, no. 6, pp. 1031-1042. doi:10.1109/TEM.2013.2258150.
14. Standard EN 50121. Railway applications. Electromagnetic compatibility. London, BSI, 2015. 24 p.
15. Huang W., He Zh., Hu H., Wang Q. Study on Distribution Coefficient of Traction Return Current in High-Speed Railway. *Energy and Power Engineering*, 2013, vol. 5, issue 4, pp. 1253-1258. doi: 10.4236/epe.2013.54B238.
16. Zj wF., Guanghui L., Jiaquan Y., Hui D. Test Analysis and Modeling of Power Frequency Magnetic-Field Environment in Carbodies of Electrified Trains. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 2015, vol. 50, pp. 400-404.
17. Zhao L.-H., Shi W.S. Induction coupling between jointless track circuits and track-circuit-reader antenna. *Progress in Electromagnetics Research*, 2013, vol. 138, pp. 173-196. doi: 10.2528/pier13012904.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. В. Скалозубом (Украина); д.физ.-мат.н., проф. О. В. Коваленко (Украина)

Поступила в редколлегию: 02.07.2015

Принята к печати: 10.09.2015

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

УДК 656.224.072.44(477)

Л. В. МАРЦЕНЮК^{1*}, Ю. М. ПРОСКУРНЯ^{2*}

^{1*}Каф. «Економіка та менеджмент», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (093) 934 18 03, ел. пошта rwinform1@rambler.ru, ORCID 0000-0003-4121-8826

^{2*}Каф. «Економіка та менеджмент», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (063) 718 96 32, ел. пошта yulia.proskurnya@yandex.ru, ORCID 0000-0001-6870-0415

РОЗВИТОК ЗАЛІЗНИЧНОГО ТУРИЗМУ В УКРАЇНІ ЯК ЗАСОБУ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОСТУПНОГО ВІДПОЧИНКУ

Мета. У високорозвинених країнах великою популярністю користується залізничний туризм, завдяки якому туристи можуть комфортно та в межах своїх фінансових можливостей подорожувати світом. Україна зіштовхнулася з проблемами суттєвого зниження обсягів туристичних потоків, старіння основних фондів, відсутності інвестицій на їх оновлення, зниження обсягів пасажирських перевезень, різкого падіння доходів громадян. Мета статті полягає в обґрунтуванні необхідності розвитку залізничного туризму в Україні. **Методика.** Теоретичну та методологічну основу наукового дослідження становлять аналіз проблем забезпечення конкурентоспроможності туристичної галузі у сфері пасажирських залізничних перевезень та теоретичні положення економічної науки в галузі ефективності залізничного туризму й управління туристичними потоками. Авторами запропоновано напрямки впровадження нових послуг у сфері туризму, управління туристичними потоками, які відрізняються від існуючих розширенням сфери послуг туристам на території України. Акцентована увага й на розвитку внутрішнього залізничного туризму. **Результати.** У результаті виконання поставлених завдань мають бути досягнуті наступні результати: підвищення іміджу українських залізниць; створення привабливого інвестиційного клімату для широкого залучення інвестицій у розвиток туристичної, інженерно-транспортної та комунальної інфраструктур; підвищення безпеки туристів; забезпечення дієвого захисту їхніх прав, законних інтересів і збереження майна. **Наукова новизна.** Авторами обґрунтовано необхідність і можливості організації залізничного туризму на території України з урахуванням досвіду зарубіжних розвинених країн. **Практична значимість.** Дослідниками наведено теоретичне узагальнення й нове вирішення наукової задачі. Вона виявляється в розробці теоретичних і методологічних підходів щодо необхідності розвитку залізничного туризму. Рационально застосовані заходи за запропонованими авторами напрямками управління туристичними потоками дозволять суттєво підвищити надходження до бюджету країни від внутрішнього туризму.

Ключові слова: туризм; залізничний туризм; туристичний потік; туристичний маршрут; залізничний тур

Вступ

Туризм вважається однією з найважливіших галузей економічної та соціальної сфери розвинених країн. Розвиток туризму набуває все більших темпів, маючи значний вплив на транспорт. В туристичній галузі на сьогодні працює

близько 300 млн осіб. Вже на початку 21 століття туризм, відповідно до обсягів доходів, посів третє місце серед провідних галузей економіки. За даними Всесвітньої туристичної організації (ВТО), на туризм припадає приблизно 10 % виробленого у світі валового продукту,

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

30 % світової торгівлі послугами, 7 % світових капіталовкладень. В країнах, де туризм активно розвивається (Турція, Греція, США, Індонезія, Таїланд, Єгипет та ін.), основна частка доходів становить саме від туристичної діяльності. За 2014 рік доходи від світової туристичної галузі склали \$ 1,5 трлн [6].

В Україні туризму ніколи не приділяли достатньо уваги. Але ж саме в нашій країні є глибока історія, пам'ятки культури, які безумовно можуть бути цікавими як для тих, хто проживає в Україні, так і для іноземців.

Відомо, що за період 2014 року Україну відвідали близько 12,7 млн туристів (відповідно до попереднього року потік туристів, який складав 24,7 млн чоловік, зменшився вдвічі), а кількість українців, які виїжджали за кордон склав 22,4 млн чоловік. В основному, переважну частину приїжджаючих складають туристи з Росії, Білорусі, Молдови, Угорщини, Польщі та Словаччини. Щоб активізувати процес залучення туристів до України, в цій статті автори пропонують звернути особливу увагу на розвиток залізничного туризму.

Цей вид туризму розвинений в Мексиці, Норвегії, Індії, Індонезії, Канаді, Швейцарії, Африці, Австралії, Франції та інших країнах [10].

Вважаємо, що туризм і транспорт тісно взаємопов'язані. Адже саме туризм став наслідком розвитку транспорту. Тому українські залізниці відіграють важливу роль в розвитку національного та міжнародного туристичного ринку. Які переваги для залізниці? Залучення додаткових коштів, збільшення пасажиропотоку, підвищення іміджу країни.

Окремі питання щодо організації туристичної діяльності та туристичних подорожей розглянуто у роботах відомих вітчизняних вчених: В. І. Цибуха, А. П. Дуровича, А. С. Копанєва, М. П. Мальської, Ю. К. Чередніченко та закордонних вчених – Р. Батлера, Х. Кіма, Н. Лейпера, С. Медліка та ін. Вони вивчали проблеми впровадження туристичних поїздів на залізницях, можливості росту прибутковості пасажирського господарства за рахунок розвитку залізничного туризму.

Методика

Найголовнішою проблемою, що стримує розвиток туристичних перевезень залізницями України, є відсутність спеціального рухомого

складу та належної туристичної інфраструктури. Крім цього потрібні ще й значні капітальні вкладення (інвестиції) в розвиток цього сектору ринку. А оскільки Укрзалізниця не має таких коштів, то й проблема залишається невирішеною. Таке складне фінансове становище, в якому знаходиться залізничний транспорт, потребує нових пошуків отримання доходів від додаткових джерел – розширення своєї діяльності. Тому для диверсифікації господарської діяльності залізниць пропонується організувати та розвивати залізничний туризм [2].

Окремим питанням можна поставити проблему нестачі кваліфікованих кадрів в галузі туризму, а також недосконалість законодавчої бази щодо функціонування туристичної галузі в цілому.

Мета

Метою досліджень авторів є обґрунтування необхідності і можливості організації залізничного туризму на території України з урахуванням досвіду зарубіжних розвинених країн.

Результати

Залізничні подорожі є популярним видом відпочинку за кордоном. Прихильниками цього виду туризму вважаються німці, англійці, швейцарці.

Загалом, залізничний туризм – це подорож, що здійснюється по залізниці на спеціалізованому залізничному транспортному засобі фізичними особами тривалістю від 24 годин до 1 року, або менше 24 годин, але з ночівлею з оздоровчою, пізнавальною, професійно-діловою, релігійною та іншою метою, не пов'язаною з оплачуваною діяльністю [7].

Залізничний туризм почав розвиватися ще в XIX ст., коли Томас Кук вперше організував подорож 580 англійців з Лестера до Лафборо (Англія). Цей вид туризму і на сьогодні залишається одним із основних і найприбутковіших видів транспортного туризму в світі [1].

Основними перевагами залізничного транспорту, порівняно з авіаційним та автомобільним, є надійність, безпека, приваблива вартість, висока швидкість, незалежність від погодних умов, а найголовніше – суміщення відпочинку та пересування.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Для туристичної подорожі використовуються спеціальні туристично-екскурсійні поїзди, які можуть служити водночас як засобом пересування, так і місцем проживання.

В Україні цей вид туризму почав розвиватися ще в період існування СРСР. Центральною радою з туризму в 1960-х роках були організовані перші подорожі на дальніх туристсько-екскурсійних поїздах, які відрізнялися від закордонних низьким рівнем комфортності та порівняно мали низьку ціну, але на той час обслуговували вже більше 2 000 чоловік [9]. Велику популярність мали короткочасні оздоровчі маршрути – це поїзди «Здоров'я» та «Грибник».

На сьогодні українські залізниці мають занедбану інфраструктуру. Більшість пасажирського рухомого складу не відповідає сучасним вимогам з точки зору комфорту, тому для кардинального його відновлення вкрай необхідно залучити за допомогою державних програм внутрішніх та зовнішніх інвесторів.

Для різнотривалих туристичних маршрутів необхідно підготувати рухомий пасажирський склад з відповідними умовами. Залежно від класифікації видів туризму виділяють такі види залізничного туризму [5]:

1. За часом:

- одноденний (екскурсійний);
- короткочасний (2–3 дні). В цьому контексті можна запропонувати маршрути: Київ–Львів, Дніпропетровськ–Львів, Дніпропетровськ–Київ, Дніпропетровськ–Закарпаття, Київ–Кам'янець-Подільський та ін.;
- багатоденний (від 3 днів). Такі тури передбачають тривалий час знаходження в дорозі як в нічний, так і в денний час. Щоб пасажери не стомлювалися, турпоїзд повинен знаходитися в дорозі не більше півтори доби. В таких випадках повинні передбачатися короткочасні зупинки в лісі, в горах, біля озера. Тут можна запропонувати такі маршрути: Дніпропетровськ–Київ–Львів–Закарпаття–Дніпропетровськ; Дніпропетровськ–Одеса–Умань–Київ–Дніпропетровськ; Одеса–Київ–Львів–Кам'янець-Подільський–Умань–Одеса та ін.

2. За територіальною приналежністю:

- міжнародний (подорож територією декількох країн). В цьому випадку можна запропонувати поїздку, яка буде здійснена до таких країн: Україна–Польща–Литва–Білорусь–Україна;

Україна–Польща–Німеччина–Румунія–Україна та ін.;

- в рамках країни (подорож територією однієї країни);
- в рамках однієї залізниці (подорож територією однієї країни в рамках однієї залізниці).

3. За цілями:

- пізнавальний – тури за різною пізнавальною тематикою (історія, література, фольклор тощо);
- лікувально-оздоровчий – включає санаторно-курортне оздоровлення (половину часу займають лікувально-оздоровчі процедури);
- професійно-навчальний – тури з метою участі у презентаціях, конгресах, семінарах, тренінгах тощо. Екскурсійна, соціальна і культурна програми в таких турах будуються, виходячи з розкладу професійно-навчальних заходів і вільного часу, що залишився;
- науковий (конференц-туризм) – туризм, метою якого є участь у конференціях, нарадах тощо. Як і в попередньому виді туризму присутня культурна програма.

4. За сезонністю:

- сезонний (подорожі в час пікових навантажень залізничного транспорту);
- міжсезонний (подорож в час спаду попиту на залізничні пасажирські перевезення).

5. За типом побудови маршруту:

- лінійний (з відвідуванням одного або кількох пунктів, які знаходяться на трасі, окрім початкового);
- радіальні, або стаціонарні (з відвідуванням одного пункту на маршруті);
- кільцеві (зі збігом точок початку і кінця маршруту та відвідуванням кількох пунктів на маршруті).

6. За повнотою туристичного обслуговування:

- комплексне обслуговування залізничним транспортом: власний рухомий склад, власна матеріальна база туристичної інфраструктури залізниць (готелі, кафе тощо), надання окремих послуг екскурсійного характеру;
- партнерське співробітництво: співробітництво залізничного транспорту з іншими операторами з приводу надання окремих послуг під час формування та здійснення залізничного туру (розміщення (міні-готелі), харчування (вагон-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ресторан), екскурсійні послуги (для іноземців пропонуватимуться екскурсії на іноземною мовою) тощо);

- обслуговування іншими операторами: надання рухомого складу, надання послуг нерухомої інфраструктури, окреме обслуговування залізничного транспорту – виділення нитки графіка, надання локомотивної тяги, ТО та екіпірування рухомого складу тощо.

7. За ступенем концентрації пасажирів:

- подорож туристичним поїздом (формування окремого туристичного поїзда, який прямує окремим власним графіком і розкладом за певним маршрутом). Ми пропонуємо переобладнати спеціалізовані турпоїзда в різні стилі. Наприклад, поїзд в етно-стилі, ретро-стилі;

- подорож в туристичному вагоні за розкладом пасажирського поїзду (зчеплення з пасажирським поїздом). Можлива і така організація екскурсії, але тут потрібно ще включити в логістичну схему використання автобусів, бронювання готелів, а це може значно вплинути на вартість подорожі.

8. За циклічністю:

- випадковий – організація туристичної залізничної подорожі за замовленням клієнта;

- сезонний – організація туристичних залізничних подорожей певного виду у період високого попиту на подорожі цього виду;

- періодичний – організація туристичних залізничних подорожей з певною періодичністю, наприклад, раз на місяць;

- постійний – організація туристичних залізничних подорожей на постійній основі із складанням їх графіка. Тут ми пропонуємо організувати екскурсії для організованих груп: школярів, студентів, іноземців [5].

Найбільш популярними залізничні подорожі спостерігаються в Німеччині (більше 46 % пасажирів віддають перевагу саме залізничному транспорту) [14].

В Німеччині створене відділення з подорожей та туризму при пасажирському підрозділі, який займається розробкою туристичних маршрутів різного напрямку та розміщенням подорожуючих в готелях [12].

На сьогодні існує низка туристських маршрутів, які проходять всю залізничну мережу Західної Європи та Росії. Так, «Андалузький експрес» («Al Andalus») обслуговує популяр-

ний залізничний туристичний маршрут по Іспанії: 1) Мадрид–Севілья–Кордова–Гранада–Рондо–Севілья–Мадрид (вісім днів/сім ночей); 2) Севілья–Кордова–Гранада–Рондо–Севілья (сім днів/шість ночей). Туристи живуть в п'яти спальних вагонах поїзда, вишукано відреставрованих «під старовину». Купе цього поїзда обладнані душем і туалетом, кондиціонером, кольоровим телевізором, стільниковим телефонним зв'язком. У поїзді є два вагони-ресторани, бар, бібліотека. Вдень туристи здійснюють екскурсії, вночі – переїжджають в інше місто [12].

У Росії організацією таких турпоїздок займається російсько-швейцарська компанія «Русьрейл». Серед її пропозицій – подорожі на таких легендарних поїздах, як «Східний експрес», «Русь експрес», престижний «Президент експрес», що здійснюють тури за різними маршрутами по Транссибірській магістралі, яка є найдовшою залізницею у світі; Транссибірський експрес перетинає вісім часових поясів. З Москви він прямує до Пекіна, минаючи Омськ, Новосибірськ, Іркутськ, Улан-Батор. Подорож триває 10 днів), «Шовковому шляху», «Золотому кільцю Росії», а також за короткотривалими маршрутами [4].

Але найбільшу перевагу туристи віддають «Східному експресу», який курсує між Лондоном, Венецією та Стамбулом. Залежно від місця призначення ціна квитка коштуватиме від \$2 500–\$9 000.

«Льодовиковий експрес» – швидкісний поїзд, який перевозить пасажирів по Швейцарських Альпах. Ціна квитка 1-го класу становить \$267 [15].

Південноафриканський потяг «Pride of Africa» («Гордість Африки») прямує з Кейптауна (Південна Африка) до столиці Танзанії Дар-ес-Салам. Квиток коштує від \$5 000 до \$10 000 за людину [8].

Експрес «The Eastern & Oriental» проходить по всій Південно-Східній Азії. Вартість проїзду коштує від \$2 000–\$9 000. Цей поїзд має вагони-ресторан, бібліотеку, бар.

Поїзд «Belmond Royal Scotsman» («Королівський шотландець») курсує по Шотландії та Північно-Шотландському нагір'ю. Вартість поїздки – \$1 350–\$13 000.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Залізниця Аляски – головна давня пам'ятка, по якій прямує потяг «Denali Star» («Зірка Деналі») з Анкоріджа в Фербанк. Тривалість подорожі – 21 день.

Експрес «Blue Train» («Блакитний поїзд»), його ще називають «п'ятизірковим готелем на колесах», проходить від Кейптауна до Преторії.

Поїзд «Хірам Бінгхам» прямує через Перу в місто інків – Мачу-Пікчу. Вартість поїздки в обидва кінці коштує \$750.

Потяг «Palace on Wheels» («Палац на колесах») здійснює подорож по фортецях і палацах найбільшого штату в Індії – Раджастхан. Поїзд відходить з Нью-Делі. Поїздка триває до 7 днів [13].

«Дунай Експрес» – приватний поїзд, що курсує між Прагою, Будапештом, Краковом і Стамбулом. Ціна квитка – \$9 406 за 10 днів подорожі з зупинкою в Будапешті.

Флотська залізниця – проходить серед норвезьких гір і є популярною туристичною визначною пам'яткою Аурландсфіорда. Квиток коштує \$65.

Протягом останнього часу зростає інтерес до залізничного туризму на Американському континенті. Тут курсує три напрямки: «Транс-Канада» (10 діб); «Транс-Америка» (12 діб); «Транс-Атлантика» (12 діб) [11].

У США користуються популярністю залізничні тури в Скелясті гори Монтани (поїзд йде зі штату Айдахо до штату Монтана). Гранд Каньйон є одним із найпопулярніших туристичних районів, який має залізницю «Grand Canyon Railway», яка широко використовується в екскурсійних цілях [11].

Канада манить туристів своїми унікальними залізничними маршрутами, які проходять через Британську Колумбію і Альберту в Банф, Лейк Луїз, Джаспер і Калгарі, та одна екскурсія від Ванкувера до Вістлера. Поїзд йде в денний час через Західну Канаду. Це дає туристу можливість помилуватися красою Канадських Скелястих гір [3].

У Норвегії найпопулярнішими є маршрути спеціальним поїздом з видом на найгарніші фіорди у світі.

В Індії туристам пропонується мандрівка Конканською залізницею (Konkan Railway) – це залізнична лінія, яка проходить вздовж узбережжя Конкан. Найбільш дорогим туром є по-

дорож на поїзді «Песес він Уілз». Цей вагон оформлений в стилі індійських магараджі. Термін поїздки – 8 днів/7 ночей. Ціна встановлюється залежно від класу купе – від \$240 до \$450 [8].

Наукова новизна та практична значимість

Існуючий зарубіжний досвід свідчить про те, що залізничні компанії беруть активну участь у розвитку туризму і успішно ведуть туристичну діяльність.

В Україні наслідки впровадження та розвитку залізничного туризму можуть бути такими: імідж залізниць буде зростати за рахунок впровадження нової схеми обслуговування пасажирів; залізниця може надавати комплекс послуг, які відповідають вимогам споживачів; доходи від пасажирських перевезень будуть збільшуватися; розробка нових підходів щодо обслуговування іноземних туристів; поява нових типів вагонів спеціального призначення (турпоїзди).

Україна завдяки величезному природному та культурному потенціалу має всі можливості для освоєння такого виду туризму. Але для того, щоб успішно розвиватися, потрібно внести деякі зміни до законодавства України. Одним з таких пунктів, наприклад, буде забезпечення державною підтримкою внутрішнього, в'їзного, соціального туризму. Це дасть змогу розвивати туризм різних напрямків, в тому числі і залізничний.

В статті вперше розроблено науковий підхід щодо визначення системи факторів, яким мусить відповідати спеціальний залізничний рухомий склад для комфортного та зручного відпочинку туристів вночі та вдень і отримання необхідного комплексу послуг протягом всієї поїздки (розваги, ігри, Інтернет, фільми, оглядові екскурсії під час подорожі та харчування та ін.), що дозволить повністю виключити необхідність використання готелів і знизити вартість подорожі.

Висновки

Безумовно, для українського споживача, у якого середня заробітна плата на місяць складає до \$ 200, дорогі екскурсії, м'яко кажучи, не по кишені! Тому автори і пропонують орга-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

нізувати доступний відпочинок залізничним транспортом. Туристи зможуть відвідати культурні та історичні місця України, насолодитися краєвидами та просторами нашої країни і, можливо, скупатися в морі.

Орієнтовна вартість 3-денної подорожі може складати близько 3 тис. грн, з них залізничний квиток коштуватиме до 1 000 грн; триразове харчування (для економ класу) – до 150 грн, для люкс – 300 грн; додаткові послуги на шляху прямування (душ, газети, TV, інтернет) – до 100 грн; екскурсії – 500–1 000 грн (в середньому).

Фактори, які впливатимуть на позитивний вибір туристів:

- 1) відносна дешевизна послуг;
- 2) незалежність від погодних умов;
- 3) можливість зекономити на готелі;
- 4) економія на вартості екскурсії в складі групи;
- 5) можливість духовно розвиватися;
- 6) безпека під час подорожі;
- 7) зручність пересування;
- 8) можливість недорого харчуватися під час подорожі;
- 9) сервіс (уважний охайний провідник, наявність міліціонера під час поїздки, зручні ліжка і т.д.).

Що стосується іноземців, то для них можна запропонувати екскурсії з більшою тривалістю (5–7 днів) та відповідно і більшу вартість (близько до \$1 000). Адже в екскурсійній програмі обов'язково буде супровід перекладача та відеофільми іноземними мовами, а також розширена розважальна програма (наприклад, проведення мастер-класів та ін.).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамов, В. В. Історія туризму : підручник / В. В. Абрамов, М. В. Тонокошкур. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 294 с.
2. Бараш, Ю. С. Розвиток залізничного туризму в Україні / Ю. С. Бараш, А. О. Кравченко, О. С. Яснецов // Проблеми економіки трансп. : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 8. – С. 7–11.
3. В світі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://vsviti.com.ua/collections/18902>. – Назва з екрана. – Перевірено : 28.09.2015.
4. Гуляев, В. Г. Организация туристских перевозок / В. Г. Гуляев. – Москва : Финансы и статистика. – 2001. – 512 с.
5. Дергоусова, А. О. Визначення та класифікація залізничного туризму [Електронний ресурс] / А. О. Дергоусова. – Ефективна економіка. – 2012. – № 2. – 1 с. – Режим доступу: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=942>. – Назва з екрана. – Перевірено : 20.10.2015.
6. Передумови створення транспортно-логістичних кластерів у межах міжнародних транспортних коридорів / Є. С. Альошинський, Є. І. Балака, Г. О. Сіваконева, С. О. Світлична // Проблеми міжнар. трансп. коридорів та єдиної трансп. системи України : матер. 9-ї Міжнар. наук.-практ. конф. / УкрДАЗТ. – Коктебель, 2013. – С. 87–89.
7. Перспективи розвитку залізничного туризму України на вузькоколіїних лініях Закарпаття / В. Г. Кузнецов, П. О. Пшінько, І. В. Клименко [та ін.] // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. – 2015. – № 4 (58). – С. 23–33. doi: 10.15802/STP2015/49196.
8. Писаревський, І. М. Туризм як національний пріоритет : монографія / І. М. Писаревський. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 284 с.
9. Развитие железнодорожного туризма [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.0zd.ru/sport_i_turizm/razvitie_zheleznodorozhnogo_turizma.html. – Назва з екрана. – Перевірено : 28.09.2015.
10. Стрілець, В. І. Організація залізничного туризму в Україні як чинник підвищення прибутковості галузі / В. І. Стрілець, О. Ф. Ялбуган // Проблеми економіки трансп. : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 2. – С. 114–117.
11. American-rails.com [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.american-rails.com/gcry.html>. – Назва з екрана. – Перевірено : 28.09.2015.
12. Hannam, K. Developments and key issues in tourism nobilities / K. Hannam, G. Butler, C. M. Paris // Annals of Tourism Research. – 2014. – № 44. – P. 171–185. doi: 10.1016/j.annals.2013.09.010.
13. Hsu, Y. L. Global travel trend in rail tourism development / Y. L. Hsu, Y. S. Ting, K. Y. Chen // Актуальні проблеми економіки. – 2013. – № 11. – P. 536–541.
14. Khalipova, N. V. International logistics systems design and effectiveness evaluation / N. V. Khalipova / Наука та прогрес трансп. Вісн.

- Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 4 (58). – С. 142–152. doi: 10.15802-STP2015/49222.
15. Rail routes in France [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://about-france.com/sce-nic-railways.htm>. – Назва з екрана. – Перевірено : 28.09.2015.

Л. В. МАРЦЕНЮК^{1*}, Ю. М. ПРОСКУРНЯ^{2*}

^{1*}Каф. «Економіка и менеджмент», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (093) 934 18 03, эл. почта rwinform1@rambler.ru, ORCID 0000-0003-4121-8826

^{2*}Каф. «Економіка и менеджмент», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (063) 718 96 32, эл. почта yulia.proskurnya@yandex.ru, ORCID 0000-0001-6870-0415

РАЗВИТИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТУРИЗМА В УКРАИНЕ КАК СРЕДСТВА ОРГАНИЗАЦИИ ДОСТУПНОГО ОТДЫХА

Цель. В высокоразвитых странах большой популярностью пользуется железнодорожный туризм, благодаря которому туристы могут комфортно и в пределах своих финансовых возможностей путешествовать по миру. Украина столкнулась с проблемами существенного снижения объемов туристических потоков, старения основных фондов, отсутствия инвестиций на их обновление, снижения объемов пассажирских перевозок, резкого падения доходов граждан. Цель статьи заключается в обосновании необходимости развития железнодорожного туризма в Украине. **Методика.** Теоретическую и методологическую основу научного исследования составляют анализ проблем обеспечения конкурентоспособности туристической отрасли в сфере пассажирских железнодорожных перевозок и теоретические положения экономической науки в области эффективности железнодорожного туризма и управления туристическими потоками. Авторами предложены пути развития железнодорожного туризма в Украине. В том числе это касается внедрения новых услуг в сфере туризма, управления туристическими потоками и др. Акцентируется внимание и на развитии внутреннего железнодорожного туризма. **Результаты.** В результате выполнения поставленных задач должны быть достигнуты следующие результаты: повышение имиджа украинских железных дорог; создание привлекательного инвестиционного климата для широкого привлечения инвестиций в развитие туристической, инженерно-транспортной и коммунальной инфраструктур; повышение безопасности туристов; обеспечение действенной защиты их прав, законных интересов и сохранения имущества. **Научная новизна.** Авторами обоснована необходимость и возможности организации железнодорожного туризма на территории Украины с учетом опыта зарубежных развитых стран. **Практическая значимость.** Исследователями приведено теоретическое обобщение и новое решение научной задачи. Она проявляется в разработке теоретических и методологических подходов к необходимости развития железнодорожного туризма. Рационально примененные меры по предложенным авторами направлениям управления туристическими потоками позволят существенно повысить поступления в бюджет страны от туризма.

Ключевые слова: туризм; железнодорожный туризм; туристический поток; туристический маршрут; железнодорожный тур

L. V. MARTSENIUK^{1*}, YU. M. PROSKURNIA^{2*}

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

^{2*}Dep. «Economics and Management», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (063) 718 96 32, e-mail yulia.proskurnya@yandex.ru, ORCID 0000-0001-6870-0415

DEVELOPMENT OF RAILWAY TOURISM IN UKRAINE AS MEANS OF AVAILABLE REST ORGANIZATION

Purpose. In highly developed countries, railway tourism is very popular, through it the tourists can comfortably and within their financial capacity to travel all around the world. Ukraine has faced with the problem of significant reduction of the tourist volume flows, aging of fixed assets, lack of investments on their renewal, reduction in passenger traffic and a sharp drop in people income. The purpose of the article is to justify the development of railway tourism in Ukraine. **Methodology.** Theoretical and methodological basis of the research is built on analysis of problems to ensure the competitiveness of the tourism industry in the area of passenger transportation, theoretical principles of economic science in the field of railway tourism efficiency and management of tourist flows. The authors suggest the development of railway tourism in Ukraine. In particular it concerns the introduction of new services in the field of tourism, management of tourist flows and others. The attention is focused on the development of the internal railway tourism. **Findings.** As a result of the assigned tasks the following results should be achieved: improving the image of Ukrainian railways; creation of an attractive investment climate for the greater involvement of investments into the tourism, engineering, transport and municipal infrastructures; improving the safety of tourists; ensuring effective protection of their rights, legitimate interests and property maintenance. **Originality.** The authors justified the need and potential of rail tourism on the territory of Ukraine taking into account the experience of foreign developed countries. **Practical value.** Researchers presented theoretical generalization and new solution of scientific tasks. It manifests itself in the development of theoretical and methodological approaches to the development of railway tourism. Rationally applied measures of proposed by the authors ways of tourist flow management will significantly increase the revenues to the state budget from tourism.

Keywords: tourism; railway tourism; tourist flow; tourist route; railway tour

REFERENCES

1. Abramov V.V., Tonokoshkur M.V. *Istoriia turizmu* [The history of tourism]. Kharkiv, O. M. Beketov National University of Urban Economic Publ., 2010. 294 p.
2. Barash Yu.S., Kravchenko A.O., Yasnetsov O.S. Rozvytok zaliznychnoho turizmu v Ukraini [The development of railway tourism in Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana «Problemy ekonomiky transportu»* [Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan «Problems of the Transport Economics»], 2014, issue 8, pp. 7-11.
3. *V sviti* [In the world]. Available at: <http://vsviti.com.ua/collections/18902> (Accessed 28 September 2015).
4. Gulyaev V.G. *Organizatsiya turistskikh perevozok* [Organization of tourist traffic]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2001. 512 p.
5. Derhousova A.O. Vyznachennia ta klasyfikatsiia zaliznychnoho turizmu [Definition and classification of railway tourism]. *Efektivna ekonomika – Efficient Economy*, 2012, no. 2, 1 p. Available at: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=942> (Accessed 20 October 2015).
6. Alohynskiy Ye.S., Balaka Ye.I., Sivakoneva H.O., Svitlychna S.O. Peredumovy stvorennia transportno-lohistychnykh klasteriv u mezhakh mizhnarodnykh transportnykh korydoriv [Preconditions of creation of transport-logistic clusters in the framework of international transport corridors]. *Materialy deviatoi Mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsii «Problemy mizhnarodnykh transportnykh korydoriv ta yedynoi transportnoi systemy Ukrainy»* [Materials of the 9th Int. Sci. and Practical Conf. «Problems of Int. Transport Corridors and a Unified Transport System of Ukraine»]. Koktebel, UkrDAZT Publ., 2013, pp. 87-89.
7. Kuznetsov V.H., Pshinko P.O., Klimentenko I.V. Perspektyvy rozvytku zaliznychnoho turizmu Ukrainy na vuzkokoliinykh liniakh Zakarpattia [Perspectives of Ukrainian railway tourism development on narrow-gauge lines of Zakarpattia]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2015, no. 4 (58), pp. 23-33. doi: 10.15802/STP2015/49196.
8. Pysarevskiy I.M. *Turyzm yak natsionalnyi priorytet* [Tourism as a national priority]. Kharkiv, O. M. Beketov National University of Urban Economic Publ., 2010. 284 p.
9. *Razvitiye zheleznodorozhnogo turizma* [The development of railway tourism]. Available at: http://www.Ozd.ru/sport_i_turizm/razvitiye_zheleznodorozhnogo_turizma.html (Accessed 28 September 2015).
10. Strilets V.I., Yalbuhan O.F. Orhanizatsiia zaliznychnoho turizmu v Ukraini yak chynnyk pidvyshchennia prybutkovosti haluzi [Organization of railway tourism in Ukraine as a factor of increasing the profitability of

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

- the industry]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana «Problemy ekonomiky transportu»* [Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan «Problems of the Transport Economics»], 2011, issue 2, pp. 114-117.
11. Khalipova N.V. Proektuvannia ta otsinka efektyvnosti mizhnarodnykh lohistychnykh system [International logistics systems design and effectiveness evaluation]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2015, no. 4 (58), pp. 142-152. doi: 10.15802/stp2015/49222.
 12. American-rails.com. Available at: <http://www.american-rails.com/gcry.html> (Accessed 28 September 2015).
 13. Hannam K., Butler G., Paris C.M. Developments and key issues in tourism nobilities. *Annals of Tourism Research*, 2014, no. 44, pp. 171-185. doi: 10.1016/j.annals.2013.09.010.
 14. Hsu Y.L., Ting Y.S., Chen K.Y. Global travel trend in rail tourism development. *Aktualni problemy ekonomiky – Actual Problems of Economy*, 2013, no. 11, pp. 536-541.
 15. Rail routes in France. Available at: <http://about-france.com/scenic-railways.htm> (Accessed 28 September 2015).

Стаття рекомендована до публікації д.е.н., проф. Ю. С. Бараишом (Україна); д.е.н., проф. О. В. Каховською (Україна)

Надійшла до редколегії 04.08.2015

Прийнята до друку 12.10.2015

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 656.2.071

П. В. БЕХ¹, Г. І. НЕСТЕРЕНКО², С. І. МУЗИКІНА³, О. В. ЛАШКОВ⁴, М. І. МУЗИКІН^{5*}

¹Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (095) 225 38 64, ел. пошта Bekhrit@gmail.com, ORCID 0000-0002-1782-9224

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

³Каф. «Безпека життєдіяльності», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (066) 082 88 27, ел. пошта fufei@rambler.ru, ORCID 0000-0002-5832-6949

⁴Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (050) 964 58 18, ел. пошта lashkov56@mail.ru, ORCID 0000-0001-7380-987X

^{5*}Каф. «Безпека життєдіяльності», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (095) 251 53 14, ел. пошта grafmim@rambler.ru, ORCID 0000-0003-2938-7061

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Мета. У роботі необхідно провести аналіз видів конкуренції на транспортному ринку з метою пошуку шляхів підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту та визначити питання щодо забезпечення рівних умов для всіх учасників ринку шляхом усунення дискримінації у конкуренції. **Методика.** Авторами зроблений аналіз останніх досліджень і публікацій за даною проблематикою. Досліджено питання розвитку конкуренції, підвищення рівня конкурентоспроможності на залізничному транспорті. Звертається увага на те, що, у зв'язку зі спадом обсягів перевезень на всіх видах транспорту, конкуренція може істотно змінити сформовані раніше звичні сфери ефективного застосування різних видів транспорту. Кожен вид транспорту займає певний сегмент транспортного ринку з урахуванням своїх техніко-економічних особливостей, слабо конкуруючи, а в ряді випадків – і зовсім не конкуруючи, один із одним (крім автомобільного транспорту). Однак всередині цих сегментів цілком можлива конкуренція. **Результати.** Авторами виявлено проблеми управління конкурентоспроможністю, в тому числі на транспортному ринку, які вимагали всебічного аналізу та серйозного наукового обґрунтування. **Наукова новизна.** У результаті роботи були структуровані особливості транспорту та транспортної продукції в сучасних умовах. Наведені залежності пасажиро- та вантажообігів за видами транспорту за останні десять років. Розглянуто питання отримання додаткового прибутку шляхом надання вантажовласникові ряду сервісних оплачуваних послуг. Оптимальне поєднання вартості та якості даних послуг для кожного транспортного підприємства сприяє підвищенню його конкурентного статусу. **Практична значимість.** Конкуренція між підприємствами галузі поставила питання про підвищення конкурентоспроможності не тільки залізничних підсистем, безпосередньо задіяних у технологіях руху вантажів та пересування пасажирів, але й організації інфраструктури. Це стосується, в першу чергу, підсистем із розширення послуг та поліпшення сервісу для пасажирів і вантажовласників. Досягається забезпечення рівних умов для всіх учасників ринку завдяки забороні трьох ключових антиконкурентних дій: прийняття угод, що обмежують конкуренцію; зловживання домінуючим

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

(монопольним) становищем та злиття, що призводять до домінуючої позиції на ринку та обмежують конкуренцію.

Ключові слова: вантажообіг; пасажирообіг; види транспорту; конкурентоспроможність; види конкуренції; особливості транспорту

Вступ

В умовах ринкових відносин ступінь розвитку суспільства характеризують конкурентоспроможність і ефективність. Чим вище конкурентоспроможність країни, тим вище, стійкіше економічне зростання і життєвий рівень населення та економічна стабільність [3].

В Україні проблемам підвищення конкурентоспроможності стали приділяти увагу на вищому рівні управління тільки з 1999 р. Проте не слід забувати, що в період радянської влади в країні існував і розвивався різновид сучасної конкуренції – соціалістичне змагання, яке стимулювалося державою і мало на меті підвищення ефективності народного господарства.

Конкуренцію можна розглядати як елемент ринкового механізму, що забезпечує взаємодію ринкових суб'єктів господарювання у процесі виробництва та збуту продукції. Формою існування конкуренції є суспільна система норм і правил, що має в своїй основі державні директиви і ринкові методи функціонування структурних підрозділів національного господарства, залишаючись головним елементом механізму ринкової системи, одночасно є якимсь середовищем, де розташована ця система і поза якою вона функціонувати не може. Саме конкуренція забезпечує єдність дій всіх елементів ринкового механізму, об'єднуючи в єдине ціле всі господарюючі суб'єкти, що конкурують між собою, нав'язуючи їм одну і ту ж гру або зобов'язуючи їх грати за одними й тими ж, єдиними для всіх, правилами.

Проблема управління конкурентоспроможністю, в тому числі на транспортному ринку, вимагає всебічного аналізу і серйозного наукового обґрунтування. Дослідження питань розвитку конкуренції, підвищення рівня конкурентоспроможності ведуться багато десятиліть і особливо актуальні в сучасній економіці.

Мета

Тому в цій роботі було проаналізовано види конкуренції на транспортному ринку з метою пошуку шляхів підвищення конкурентоспро-

можності залізничного транспорту. Мета полягає в забезпеченні рівних умов для всіх учасників ринку шляхом усунення дискримінації у конкуренції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням питання забезпечення конкурентоспроможності залізничного транспорту на ринку транспортних послуг займалися такі вчені та практики, як А. П. Абрамов, Ю. С. Бараш, В. Г. Галабурда, І. О. Єловий, Г. Д. Ейтутіс, В. П. Ільчук, Н. М. Колесникова, М. В. Макаренко, Д. А. Мачерет, А. А. Сміхов, Н. П. Терьошина, Ю. М. Цветов та ін. [1–15]. Типологію ринків як елементів конкурентного середовища досліджували К. Р. Макконнелл і С. Л. Брю [6].

В дослідженні [5] під конкурентоспроможністю транспортної організації мається на увазі здатність задовольняти платоспроможний попит клієнтів у перевезеннях певного обсягу та якості, що дозволяє зайняти провідне місце на ринку транспортних послуг та отримати максимальний прибуток. Однією з основних конкурентних переваг компанії-оператора на транспортному ринку автори вважають наявність ефективно діючих маркетингових підрозділів.

Велика увага приділяється визначенню ефективності роботи транспорту в умовах нерівномірності виробничих процесів і побудові раціональної маршрутної мережі [9]. В статті подається аналіз сучасного стану у сфері управління вагонопотоками та поїздопотоками.

В дослідженні [8] розглянуто можливі шляхи розвитку вантажних перевезень залізничного транспорту України. Пропонуються три напрямки підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту: удосконалення існуючої технології перевезень та технології оснащення залізниць України; інтеграція транспортної системи України до міжнародних перевезень; впровадження комп'ютерних технологій на всій мережі залізниць.

Авторським колективом в роботі [7] розглядається розвиток досліджень, які пов'язані з роботою транспортних вузлів та вдосконаленням обслуговування вантажовласників

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

у них, а також підвищення якості виконання перевезень. На їх думку, взаємодія між представниками транспортних організацій та вантажовідправниками в більшості випадків відбувається в транспортних вузлах, тому безпосередньо в них потрібно впроваджувати нові підходи до формування структури транспортного обслуговування. Значною мірою це вплине на конкурентоспроможність залізничного транспорту України.

Викладено сучасний стан та проблеми транспортного обслуговування залізниць України в дослідженні [4]. Виконано порівняльний аналіз функціонування залізничного транспорту України та країн Європейського Союзу. На основі результатів аналізу запропоновані заходи з підвищення ефективності процесу перевезення вантажів та заходи з удосконалення технологічного процесу перевезень пасажирів. Не дивлячись на велику кількість виконаних за цим напрямком досліджень, проблема підвищення рівня конкурентоспроможності на залізничному транспорті досі не вирішена.

Методика

Транспортне виробництво є фундаментом ринкової економіки. У цьому значенні воно виступає як об'єкт ринкових відносин, від ефективної діяльності якого залежить нормальне функціонування і розвиток всіх галузей економіки, що обслуговуються транспортом [13].

Транспортне виробництво виступає в ролі суб'єкта регульованих ринкових відносин, особливо при формуванні попиту на перевезення і розподіленні їх між взаємодіючими видами транспорту, при встановленні взаємовигідних

господарсько-правових відносин між транспортом і вантажовласниками, транспортом та пасажирями.

Необхідність вдосконалення структури управління залізничним транспортом (реструктуризації) у нашій країні викликана сукупністю причин, серед яких можна виділити такі:

- чотириланкова система управління, що склалася в доперестроєвний період, формувалася в умовах засобів зв'язку та інформатизації, жорсткого централізованого планування і управління, а при недостатньому розвитку була громіздка і малоефективна;

- складне фінансове становище вимагало для збереження працездатності галузі максимально скоротити власні витрати, адаптуватися до зміни обсягів перевезень, зменшувати частку транспортної складової у вартості продукції;

- необхідно було скорочувати чисельність експлуатаційного персоналу, оскільки його утримання на існуючому рівні при забезпеченні індексації заробітної плати вимагало подальшого підвищення тарифів, що було утруднено через низьку платоспроможність вантажовідправників і вантажоодержувачів;

- робота залізниць у 80–90-ті рр. XX ст. здійснювалася в умовах перевищення пропозиції транспортних послуг над попитом;

- посилилася конкуренція з боку інших видів транспорту як на внутрішньому, так і на міжнародному ринку транспортних послуг.

На рис. 1 наведена характеристика транспорту.

Як самостійна галузь транспорт має свою продукцію, що володіє низкою особливостей (див. рис. 2).

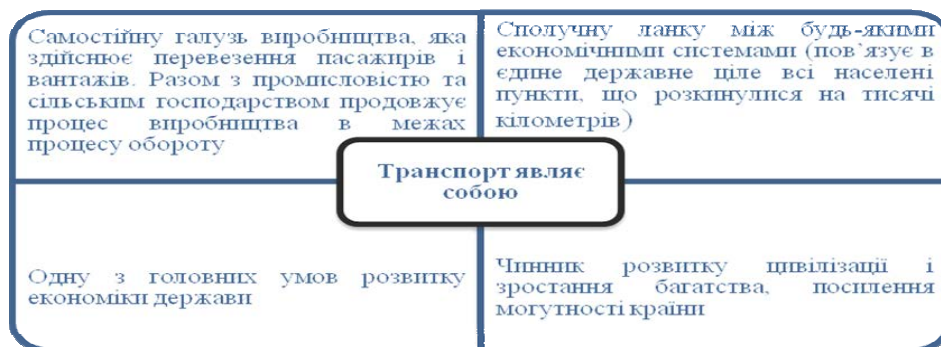


Рис. 1. Характеристика транспорту

Fig. 1. Transport characteristic

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

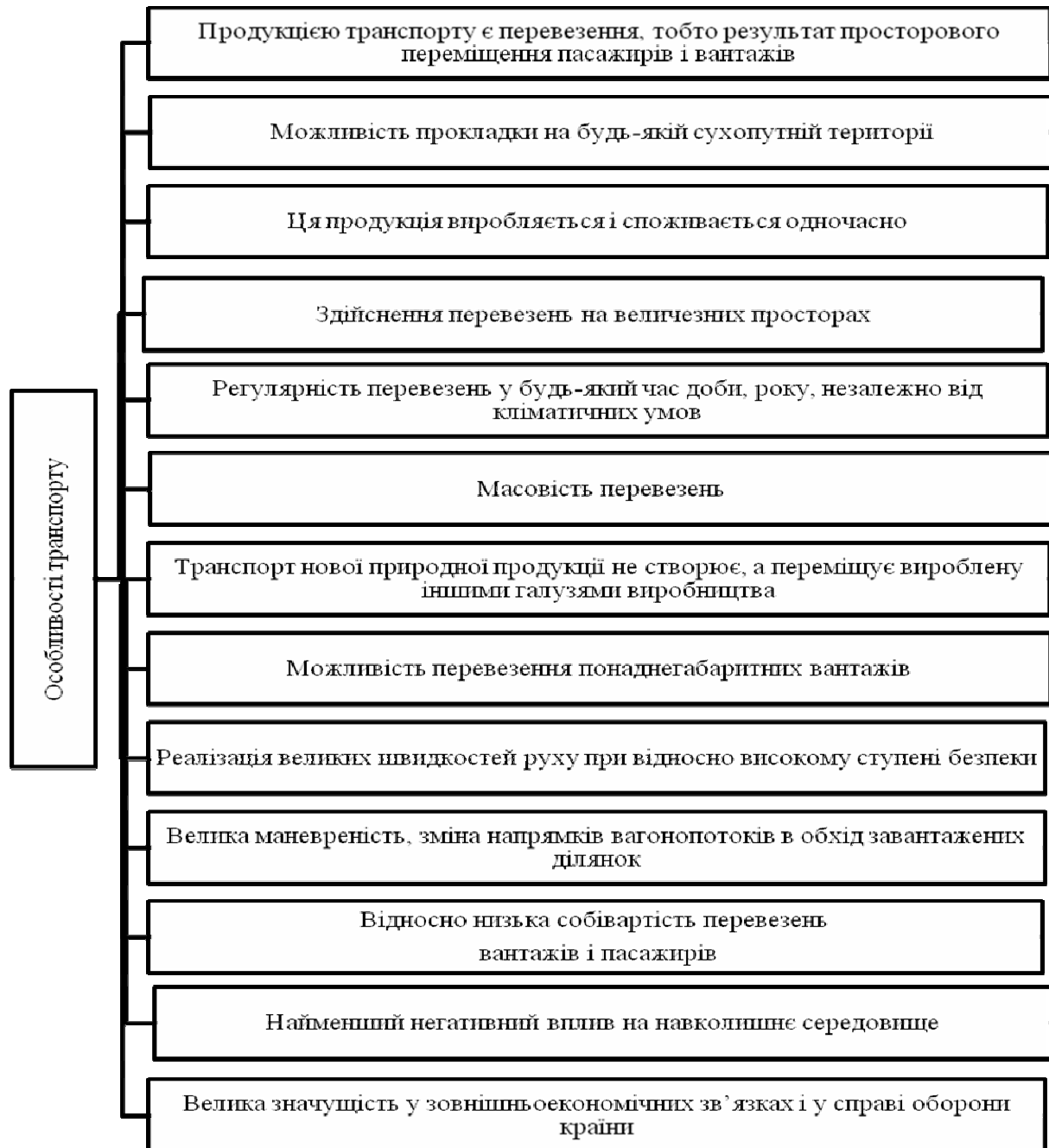


Рис. 2. Особливості транспорту та транспортної продукції

Fig. 2. Features of transport and transport products

Конкуренція на транспорті – це суперництво транспортних підприємств за кращі методи господарювання, тобто за найбільш вигідні умови здійснення перевезень і отримання максимальної вигоди [11]. Крім того, конкуренція на транспорті – це боротьба за вантажовласників і пасажирів, отримання максимально корисного

ефекту на основі застосування сучасних, більш ефективних технологій, підвищення якості перевезень, їх надійності і швидкості переміщення вантажів і пасажирів. Пасажирообіг за видами транспорту наведений на рис. 3, вантажообіг за видами транспорту наведений на рис. 4.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

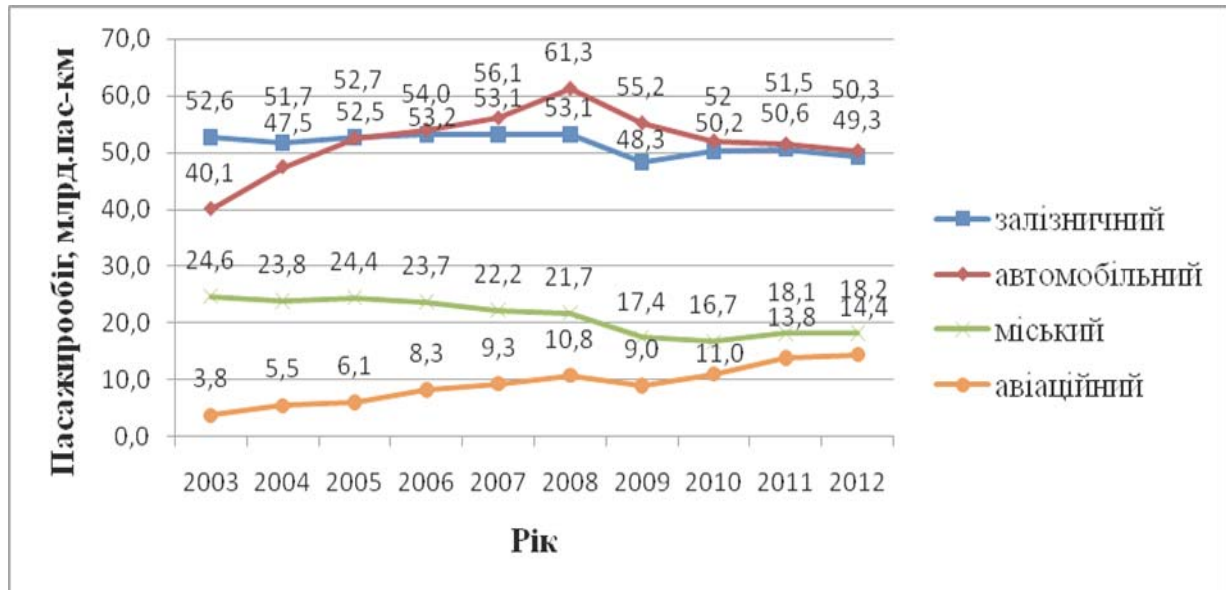


Рис. 3. Пасажи́рообі́г за видами транспорту

Fig. 3. Passenger traffic by mode of transport

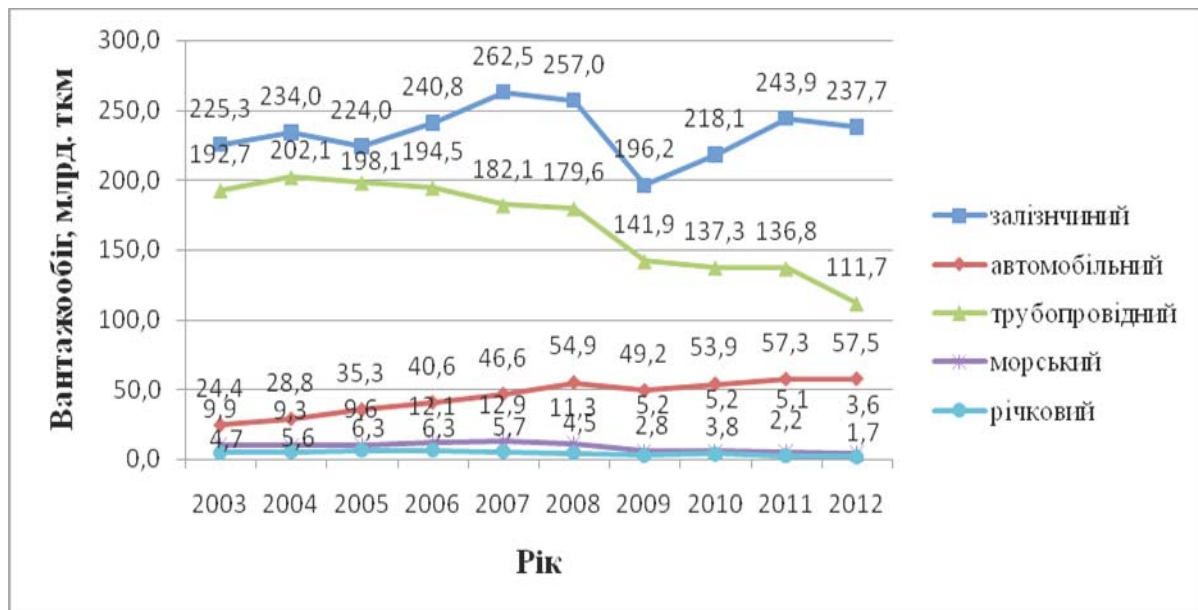


Рис. 4. Вантажообі́г за видами транспорту

Fig. 4. The freight turnover by types of transport

Якщо говорити про конкуренцію при високорозвиненій економіці, то тут вона характеризується не стільки прямим змаганням, скільки потенційним суперництвом досить великих фірм і ефективним розподілом сегментів ринку [15]. Потенційна конкуренція означає, що умови входження нових суб'єктів (фірм, країн) на ринок окремих товарів (послуг) та відповідного

переливу капіталу настільки досконалі, що достатньо наявності одного або двох прямих аналогів-виробників, щоб конкурентоспроможність товару (послуг) постійно підвищувалася.

Конкурентоспроможність транспортної продукції – здатність витримувати конкуренцію товарів-замінників робіт, послуг, з точки зору завоювання тієї частки ринку, яка забезпечує

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

сприятливу реалізацію транспортної продукції і необхідне зростання доходів транспортного підприємства.

Під транспортною продукцією розуміється не лише перевезення як процес, а й супутні роботи і послуги, що надаються транспортними організаціями [1]. З точки зору економічної теорії створювана в сфері транспорту продукція, з урахуванням постулату про продовження процесу виробництва в сфері обертання і для сфери обігу, перевезення – це особливий товар-послуга. Перевезення вантажів є основним видом послуг. Як додаткові послуги транспортних організацій можна виділити такі:

- вантажно-розвантажувальні послуги;
- послуги зі зберігання вантажів;
- послуги з підготовки вантажів до перевезення;
- надання рухомого складу в оренду;
- транспортно-експедиційні послуги;
- інші додаткові послуги (інформаційні, логістичний сервіс, послуги страхування та ін.).

У сучасних умовах одним з основних елементів ефективної конкурентної боротьби є саме надання вантажовласникові низки додаткових послуг. Оптимальне поєднання вартості та якості цих послуг у кожного транспортного підприємства сприяє підвищенню його конкурентного статусу.

Конкурентоспроможність транспортної продукції можна визначити як сукупність характеристик перевезення вантажів (пасажирів), що відображає її відмінність від перевезень іншими видами транспорту (або з використанням іншої комплексної технології переміщення) як за ступенем відповідності конкретної суспільної потреби, так і за рівнем транспортних витрат. Конкурентоспроможність товару (комплексу транспортних послуг), як і конкуренція, може бути ціновою та неціновою [10].

Цінова конкуренція визначається величиною витрат на виробництво і обіг товару, залежить від тарифної та інвестиційної політики, а також від здатності виробника своєчасно і в потрібному обсязі почати вимагати інновації в галузі техніки, технології та менеджменту.

Основними видами цінової конкуренції є відкрита і прихована. Відкрита цінова конкуренція як метод конкурентної боротьби передбачає зниження цін для освоєння нових сегмен-

тів ринку, а також встановлення демпінгових бар'єрів для входження нових контрагентів в ринок. Як правило, таке зниження цін короткочасне, і потім ціни підвищуються ще більше.

Прихована цінова конкуренція на залізничному транспорті недопустима по антимонопольному законодавству, проте можливе застосування знижок і формування гнучкої тарифної політики з метою залучення додаткових обсягів перевезень.

Одним із завдань реформи залізничного транспорту є забезпечення рівноправного (недискримінаційного) доступу незалежних транспортних організацій до інфраструктури, що практично виключає навіть тимчасове застосування зазначених прийомів.

На нецінову конкурентоспроможність транспортної продукції безпосередньо впливають три групи параметрів: попиту, пропозиції та взаємодії.

Параметри попиту відображають індивідуальні запити клієнтури, залежать також від розміщення та обсягів виробництва підприємств добувної та обробної промисловості, сільського господарства в районі тяжіння залізниці. Ці параметри формують платоспроможний попит на перевезення вантажів. Аналогічно, але з урахуванням соціальних факторів, визначається і попит на перевезення пасажирів.

Параметри пропозиції мають складнішу структуру і визначаються, у свою чергу, чотирма підгрупами показників: показниками розвитку і розміщення виробництва, показниками транспортної забезпеченості регіону, показниками якості роботи, показниками якості транспортної послуги. Тому важливо співвіднести фактичні характеристики якості конкретного перевезення з тими ж характеристиками аналогічних перевезень, що виконуються конкурентами. Базою для порівняння може бути світовий стандарт, кращий вітчизняний або інший сертифікований зразок.

Концентрація і використання ресурсів. Транспортне підприємство в своїй діяльності здійснює об'єднання і використання матеріальних, грошових і трудових ресурсів. Підприємству необхідно отримати їх у своє розпорядження, домігшись при цьому, щоб за своїми якісними і вартісними характеристикам вони були придатні для організації конкурентоспроможних перевезень.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Організація перевізного процесу. Вплив ринкової сфери на транспортну фірму позначається на «вході» у виробничий процес через ціни і якість споживчих ресурсів і на «виході» з нього через попит на запропоновані перевезення [14]. Але сама організація перевезень – вибір технології, технічний стан рухомого складу, створення стимулів до праці, контроль якості тощо – є суто внутрішньофірмовою проблемою. Надавати вирішального впливу на ринок транспортна організація, як правило, не може. Так, не можна нав'язати ринку окремі види перевезень або послуг підсобно-допоміжної діяльності, які не користуються попитом. Аналогічна ситуація складається із завищеними цінами на ресурси, що пропонуються на ринку. Але, організовуючи перевізний процес, транспортна фірма знаходить власний спосіб задоволення об'єктивних вимог ринку. Наприклад, найважливішим засобом поліпшення позицій залізниці в нинішній період є співпраця як з іншими видами транспорту, так і промисловими підприємствами. Як види співробітництва можна виділити кооперацію і концентрацію. Це важливо для приведення перевізних потужностей у відповідність зі зміненими умовами роботи та обсягами перевезень. У рамках кооперації підприємства співпрацюють на основі договору, залишаючись економічно незалежними. При концентрації підприємства об'єднуються для спільного виконання загальних виробничих завдань. Для транспортного підприємства це означає зростання прибутковості та фінансової стійкості в рамках діючих обмежень (наприклад, за рівнем тарифів, безпеки тощо).

Організація маркетингових досліджень. Сутність цієї функції полягає в доцільності пропонувати продукти, що користуються попитом (з урахуванням сегментації ринку та вивчення попиту), а не продавати те, що вироблено. До основних факторів, що впливає на ставлення споживачів до транспортної продукції, відносять: комерційні умови (можливість будувати відносини з вантажовласниками за договорами і довгостроковим контрактами з урахуванням гнучкого тарифного регулювання); організацію технічного обслуговування перевезень (залізниця повинна гарантувати доставку вантажів в цілості і точно в строк, безпеку ру-

ху, комфорт); уявлення про залізницю з боку вантажовідправників і вантажоодержувачів, її авторитет, інформованість потенційних клієнтів про суму знижок (надбавок), види послуг, що надаються, сервіс, фірмове обслуговування. Необхідно також стимулювати реалізацію транспортної продукції, для чого використовується широкий спектр маркетингових прийомів.

Зростання фінансових показників є однією з основних цілей всієї виробничо-фінансової діяльності транспортної організації. Це також дозволяє збільшити інвестиційні можливості, що сприяють розвитку підприємства. Обов'язковий, невід'ємний елемент ринкового механізму, де ніщо не може бути заплановано з абсолютною точністю, – економічні ризики. Для самого ж транспортного підприємства вибір обсягу та характеру прийнятих на себе ризиків є важливим елементом загальної стратегії, який відрізняє його ринкову поведінку від інших.

Здатність до самонавчання, до підвищення ступеня вдосконалення технології виробництва, впровадження сучасних засобів автоматизації визначає ефективність виконання всіх функцій, а значить, і ринковий успіх транспортної фірми. Для оцінки реальних можливостей у конкурентній боротьбі транспортні організації повинні надавати велике значення аналізу своїх сильних і слабких сторін, розробляти заходи і засоби, за рахунок яких вони могли б підвищити свою конкурентоспроможність.

Для залізничного транспорту проблема конкурентоспроможності багатопланова [12]. Залізничний транспорт конкурує з різними видами транспорту. Конкуренція може істотно змінити сформовані раніше звичні сфери ефективного застосування різних видів транспорту. Так, на першому етапі економічних реформ відбувся різкий перерозподіл пасажирських перевезень між повітряним і залізничним транспортом на користь останнього. Після виходу паливно-енергетичного комплексу на рівноважні ціни більшої актуальності набуває нецінова конкурентоспроможність суперників. Внутрішньогалузева конкуренція також буде серйозним фактором, що істотно впливає на діяльність залізничного транспорту. У перспективі загострення конкуренції очікується також між вантажними станціями, якщо плановані вантажопотоки будуть перерозподілятися між цими станціями

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

залежно від рівня витрат (собівартості вантажопереробки). Не всі вантажні станції будуть конкурентоспроможними з позицій участі в логістичному ланцюзі залізничних перевезень. Конкуренція між підприємствами галузі поставить питання про підвищення конкурентоспроможності не тільки залізничних підсистем, безпосередньо задіяних в технологіях руху товару і пересування пасажирів (наприклад, підсистеми ремонту рухомого складу), але й організацій інфраструктури і в першу чергу – підсистем з розширення послуг і поліпшення сервісу для пасажирів і вантажовласників.

При оцінці конкурентоспроможності характеристики, що використовуються, можуть бути якісними і кількісними.

Протягом XIX століття в практиці експлуатації залізниць поступово окреслилися пріоритети і склалася стійка система відносин державного і приватного капіталу. В Англії, наприклад, перевезення вантажів було справою приватної підприємливості і на відкриття кожної нової дороги було потрібно лише дозвіл парламенту. Конкуренція між підприємцями призвела до підкупів парламентських діячів. Залізничних товариств незабаром виникло до двохсот, причому лінії їх здебільшого конкурували між собою, а внаслідок цього почалося неприборкане суперництво тарифами. Тарифи для перевезення між кінцевими станціями, для яких переважно небезпечна конкуренція, знижувалися до мінімуму, тоді як для проміжних пунктів вони підвищувалися до максимуму. Така система тарифікації мала погані наслідки для торгівлі, промисловості і залізниці визвали в суспільстві обурення. У результаті уряд Англії вніс зміни в залізничну справу, товариства стали входити між собою в угоди і було утворено сім великих акціонерних компаній, які розділили між собою ринок.

У Північно-Американських Сполучених Штатах між залізничними товариствами спостерігалися «тарифні війни», від яких розорялися і самі залізниці. Державною владою були зроблені спроби впорядкувати ці процеси: призначалися урядові комісії, видавалися законодавчі акти. Але вжиті дії не сприяли поліпшенню ситуації на ринку залізничних перевезень.

Повну протилежність цій системі являла собою система спорудження та експлуатації залі-

зниць, прийнята в Бельгії. Бельгійський уряд зосередив залізничну справу в руках держави, яка будувала залізниці і управляла рухом на них. Згодом через брак коштів були залучені приватні підприємці, що викликало конкуренцію між приватними і державними дорогами. Пізніше уряд почав викупляти приватні лінії.

Країни Європейського Союзу (ЄС) традиційно мали унітарні, монопольні залізниці, що належать державі. Проте в результаті прийняття низки директив ЄС (№ № 91/440, 95/18, і 95/19) кожна держава-член ЄС зобов'язана:

- розділити облік витрат, що відносяться на обслуговування шляхів та іншої інфраструктури, і витрат на обслуговування залізничного рухомого складу;

- дозволити використання інфраструктури міжнародним групам залізничних підприємств і залізничним підприємствам, зайнятим у міжнародному комбінованому транспортуванні товарів у межах країн ЄС.

Це зроблено з метою подальшого об'єднання ринку шляхом забезпечення невинного транспортного коридору залізничних перевезень в рамках ЄС. Законодавство про конкуренцію та забезпечення його дотримання є ключовими напрямками діяльності Комісії ЄС. Європейська Комісія розпочала багато розслідувань щодо порушень законодавства про конкуренцію, а в деяких випадках великі штрафи були стягнені з компаній, які були визнані такими, що порушували закони. Крім того, Комісія прийняла заходи для забезпечення дотримання Положення державами-членами, а в залізничному секторі звернула увагу на ті сфери, у яких деякі держави не змогли виконати вимоги різних пакетів залізничних реформ, – поетапне запровадження законодавства.

Метою загальних законів про конкуренцію є зменшення негативних наслідків надмірного контролю ринків одним або кількома органами і обмеження вступу нових операторів. Мета полягає в забезпеченні рівних умов для всіх учасників ринку шляхом усунення дискримінації у конкуренції.

Це досягається завдяки забороні трьох ключових антиконкурентних дій:

- прийняття угод, що обмежують конкуренцію;

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- зловживання домінуючим (монопольним) становищем;
- злиття, що призводять до домінуючої позиції на ринку, яка обмежує конкуренцію.

Оцінка ринкових відносин включає ретельне вивчення ринку і розгляд загальних характеристик і особливостей функціонування конкретного ринку.

Ключові елементи включають:

- визначення відповідного ринку для розгляду;
- огляд розміру частки продукції на ринку, і його розвиток у часі;
- виявлення перешкод для вступу;
- вивчення спроможності покупців;
- аналіз ефективності регулювання ринку.

Проте зі звіту, підготовленого на замовлення Єврокомісії, випливає, що в середньому лише 46 % жителів ЄС задовольняють послуги залізниць, 71 % – виступає за більш відкриту

конкуренцію на ринку послуг. Жителі Фінляндії найбільше задоволені своїми залізницями (67 %), Австрії трохи менше – 66 %, Нідерландів – 64 %. Найменше послуги цього виду транспорту влаштовують громадян Болгарії (18 %), Румунії (23 %), Італії (27 %) та Польщі (29 %). Це опитування зображене на рис. 5. Також 45 % поляків заявили, що ніколи не подорожували поїздом, а кожен третій думає, що ніякі реформи не змусять його скористатися послугами залізничного транспорту. Найвідкритішу конкуренцію на залізничному ринку підтримують в Чехії (90 %), Словаччині (86 %), Італії (80 %). Найменшу – в Іспанії і Швеції, (по 60 % підтримки). Слід зазначити, що лібералізацію ринку охочіше підтримують в тих країнах, де жителі менш задоволені ситуацією, яка виникла на ринку залізничних послуг.

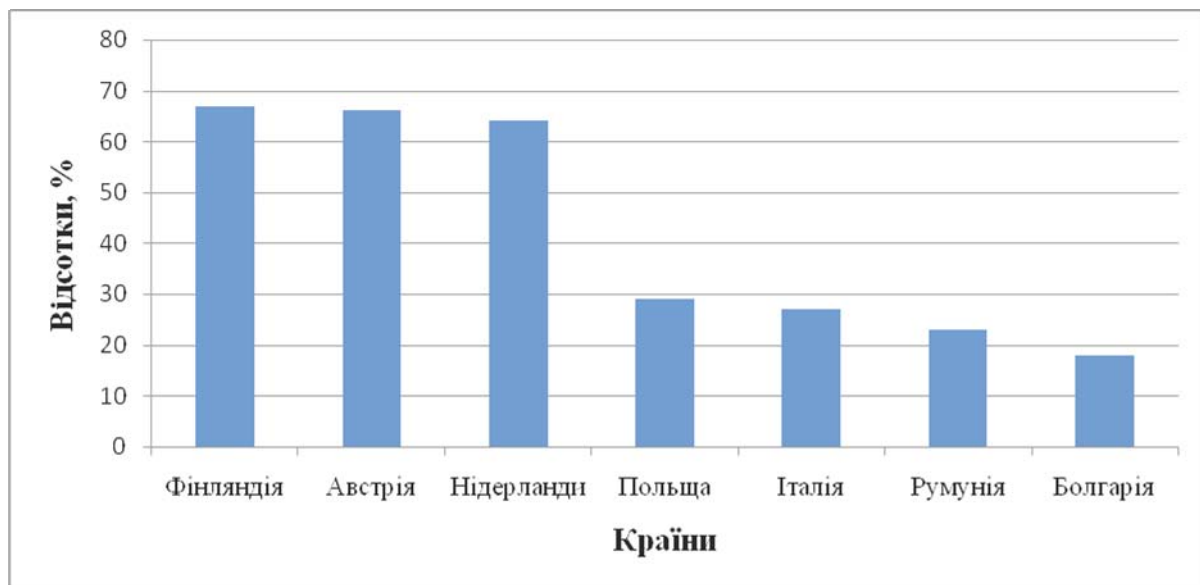


Рис. 5. Відсоток громадян країн-ЄС, задоволених роботою залізниць

Fig. 5. Percentage of citizens in the EU countries, satisfied with the railways operation

«Четвертий залізничний пакет» Єврокомісії відкриває національні ринки для конкуренції залізничного пасажирського сполучення та скорочує час виходу нового рухомого складу на ринок (за рахунок збільшення ролі Європейського залізничного агентства), а також вдосконалює управління залізничною інфраструктурою. Переважно європейці очікують, що зростання конкуренції на ринку залізничних пере-

везень принесе користь пасажиром (78 %), приватним залізничним операторам (68 %) та співробітникам залізничних компаній (55 %).

Намір тих, хто намагається застосувати систему ЄС в інших країнах, як правило, більш широкий. Він полягає в тому, щоб забезпечити вантажовідправникам вибір варіантів послуг залізничного перевезення, не втративши економію від масштабу, яка виникає при спільній

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

експлуатації поїздів та залізниць. Багато прихильників цієї системи вважають, що можливостей для великих вантажовідправників забезпечувати обслуговування власних складів при використанні монопольних залізничних колій буде достатньо, щоб довести тарифи інтегрованого підприємства до прийняттого конкурентоспроможного рівня. Регулювання тоді буде необхідне тільки для встановлення умов щодо доступу до інфраструктури, але не умов використання рухомого складу. Система ЄС зараз дуже популярна в політичних дебатах в усьому світі. І для цього є серйозні підстави: прозорість, яку вона забезпечує, і можливість потенційної або навіть реальної конкуренції між різними видами транспорту.

Автомобільний транспорт характеризується високою швидкістю доставки вантажів, здатністю здійснювати перевезення «від дверей до дверей» завдяки розгалуженості мережі автомобільних доріг. Але йому властиві великі трудові та матеріальні витрати на одиницю перевізної роботи. Собівартість перевезень на автомобільному транспорті на порядок вище, ніж на залізничному. Середня відстань перевезення вантажів на автомобільному транспорті складає близько 25 км (майже в 50 разів менше, ніж на залізничному). Автомобільний транспорт використовується переважно при перевезеннях вантажів на короткі та середні відстані. Проте все частіше він знаходить застосування при перевезенні дорогих вантажів і на порівняно далекі відстані (до 1 000 км і більше). Автомобільний транспорт є транспортом цілорічного користування.

Внутрішній водний транспорт характеризується здатністю освоювати великі вантажопотоки на певних напрямках, зумовлених територіально-географічними ознаками. За рівнем витрат на одиницю перевізної роботи він наближається до залізничного транспорту. Його використання обмежують сезонність роботи, відносно невисока швидкість перевезення, географічні особливості проходження водних шляхів.

Морський транспорт використовується головним чином для перевезень вантажів зовнішньоекономічного призначення. Він характеризується досить низькою собівартістю перевезень (близькою до показників залізничного

і внутрішнього водного транспорту), здатністю освоювати великі вантажопотоки і має надзвичайно високу середню дальність перевезень (близько 4 000 км). Його використання при цьому обмежується природно-кліматичними умовами конкретних морських басейнів.

Повітряний транспорт є унікальним видом транспорту, використовується для швидкісних перевезень. Його характеризує надзвичайно високий рівень витрат на одиницю перевізної роботи (у 50 разів більше, ніж на залізничному транспорті). Середня відстань перевезення вантажів цим видом транспорту в 3,5–4 рази більше, ніж залізничним.

Специфічним видом транспорту є магістральні трубопроводи. Ними перекачується майже весь обсяг природного газу, нафти, нафтопродуктів. Трубопровідний транспорт характеризується відносно невисокою собівартістю транспортування продукції, порівняно невисокими трудовитратами і великою відстанню перекачування продукції.

Кожен вид транспорту займає певний сегмент транспортного ринку з урахуванням своїх техніко-економічних особливостей, слабо конкуруючи, а в низці випадків і зовсім не конкуруючи один з одним (крім автомобільного транспорту). Однак всередині цих сегментів цілком можлива конкуренція. Тому вантажні тарифи є оптовими, а пасажирські тарифи – роздрібними цінами перевезення.

Залізничні вантажні та пасажирські тарифи за своєю економічною природою є цінами реалізації продукції залізничного транспорту (переміщення вантажів, пасажирів, багажу і вантажобагажу). Відмінності вантажних і пасажирських перевезень полягають в тому, що вантажні перевезення здійснюються для виробничих чи торгових підприємств. Пасажирські перевезення виконуються в основному для особистого споживання населення (за винятком виробничих і службових).

Принциповою відмінністю залізничного транспорту від інших галузей економіки є те, що з використанням одних і тих же виробничих потужностей він перевозить велику кількість найменувань вантажів, які не є взаємозамінними в різних умовах, а також здійснює і декілька видів пасажирських перевезень.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Результати

В ході виконання дослідження визначені проблеми управління конкурентоспроможністю, в тому числі на транспортному ринку, які вимагали всебічного аналізу і серйозного наукового обґрунтування.

Наукова новизна та практична значимість

В результаті роботи були структуровані особливості транспорту та транспортної продукції в сучасних умовах. Наведені залежності пасажиро- та вантажообігів за видами транспорту за останні десять років. Розглянуто питання отримання додаткового прибутку шляхом надання вантажовласникові низки сервісних оплачуваних послуг. Оптимальне поєднання вартості та якості цих послуг у кожного транспортного підприємства сприяє підвищенню його конкурентного статусу.

Конкуренція між підприємствами галузі поставити питання про підвищення конкурентоспроможності не тільки залізничних підсистем, безпосередньо задіяних в технологіях руху вантажів і пересування пасажирів, але й організації інфраструктури і в першу чергу – підсистем з розширення послуг і поліпшення сервісу для пасажирів і вантажовласників.

Висновки

Залізничний транспорт є складним багатогалузевим виробництвом. Крім того, рівень залізничних вантажних тарифів визначає ефективність розміщення виробництва в різних регіонах країни, а також ефективність виробництва вже діючих підприємств, оскільки від рівня тарифів залежать обсяг, сфера збуту і ціна їх продукції в пунктах споживання. Це враховується при встановленні тарифів. Так само, як і ціни в інших галузях економіки, тарифи і одержувані залізничним транспортом доходи повинні повністю покривати його витрати, забезпечувати його розвиток, фінансову стійкість та конкурентоспроможність в перспективі.

Для оцінки рівня монополізації транспортного ринку необхідно виявити сфери використання видів транспорту, які визначаються їх техніко-економічними особливостями, що дозволяють з найбільшою ефективністю реалізо-

увати транспортно-економічні зв'язки, зумовлені територіальним поділом праці та іншими чинниками економічного і соціального характеру. Необхідно постійно виконувати аналіз причин зниження значення окремих критеріїв конкурентоспроможності продукції і моніторинг факторів, що підвищують конкурентоспроможність. Як інструментарій слід застосовувати факторний аналіз, який є вагомим в діяльності підприємств-виробників і підприємств-продавців.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бараш, Ю. С. Роль залізничного транспорту України в забезпеченні сталого розвитку суспільства / Ю. С. Бараш, І. П. Корженевич // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 24. – С. 201–206.
2. Басманова, О. Е. Изучение процессов конкуренции и монополизации на рынке железнодорожных перевозок / О. Е. Басманова // Економіка. Фінанси. Право. – 2013. – № 5. – С. 7–9.
3. Куделя, В. В. Основні напрямки підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту / В. В. Куделя // Вісн. економіки трансп. і пром-сті : зб. наук.-практ. ст. / Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків, 2010. – Вип. 31. – С. 32–34.
4. Левицький, І. Ю. Про шляхи підвищення рівня інтегрованості та конкурентоспроможності залізниць України на європейському ринку транспортних послуг / І. Ю. Левицький, Г. І. Нестеренко, О. М. Пасічний // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2012. – № 6 (177), Ч. 1. – С. 81–86.
5. Луханин, Н. И. Перспективы развития украинского рынка транспортных услуг / Н. И. Луханин, Г. И. Музыкалина, П. В. Бех // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 15. – С. 88–92.
6. Макконелл, К. Р. Экономика / К. Р. Макконелл, С. Л. Брю. – Москва : Инфра-М, 2003. – 983 с.
7. Нагорний, Є. В. Дослідження розвитку системи транспортного обслуговування вантажовласників у транспортних вузлах / Є. В. Нагорний, А. М. Огороков, Г. І. Переста // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 38. – С. 58–62.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

8. Переста, Г. І. Основні шляхи розвитку вантажних перевезень залізниць України / Г. І. Переста, О. О. Мазуренко, М. І. Музикін // Транспортні системи і технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 2. – С. 80–83.
9. Переста, Г. І. Усовершенствование технологии организации перевозок: международный опыт и анализ существующей практики управления / Г. І. Переста, Ю. В. Чибисов, С. И. Музыкаина // Вісн. акад. мит. служби України. – 2011. – № 1. – С. 11–16.
10. Писаревський, І. М. Проблеми ціноутворення на залізничному транспорті / І. М. Писаревський // Зб. наук. пр. Київ. ун-ту економіки і технологій трансп. Серія: Економіка і управління. – Київ, 2007. – Вип. 9. – С. 231–235.
11. Пшинько, А. Н. Необходимость и пути повышения конкурентоспособности железно-дорожного транспорта / А. Н. Пшинько, Г. И. Музыкаина // Вагонный парк. – 2008. – № 9. – С. 9–13.
12. Чорний, В. В. Сутність і зміст конкурентоспроможності залізничного транспорту на ринку вантажних перевезень / В. В. Чорний // Зб. наук. пр. Держ. економ.-технолог. ун-ту трансп. Серія: Економіка і управління. – Київ, 2012. – Вип. 19. – С. 200–207.
13. Nesterenko, G. I. Optimal route selection when distributing the freight trainflow in the railway junction with the consideration of the level of the traffic capacity saturation / G. I. Nesterenko, Yu. V. Chibisov // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2012. – № 3 (174). – С. 138–143.
14. Time series analysis of rail freight services by the private sector in Europe / C. Woroniuk, M. Marinov, T. Zunder, Ph. Mortimer // Transport Policy. – 2013. – Vol. 25. – P. 81–93. doi:10.1016/j.tranpol.2012.09.004.
15. Williams, M. J. High-speed rail: will it change the dynamics of US intercity passenger travel? / M. J. Williams, D. L. Rhoades, Th. A. Simms // World Review of Intermodal Transportation Research. – 2013. – Vol. 4. – Iss. 1. – P. 73–95. doi: 10.1504/WRITR.2013.053374.

П. В. БЕХ¹, Г. І. НЕСТЕРЕНКО², С. І. МУЗЫКИНА³, А. В. ЛАШКОВ⁴,
М. І. МУЗЫКИН^{5*}

¹ Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (095) 225 38 64, эл. почта Bekhpit@gmail.com, ORCID 0000-0002-1782-9224

² Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 70, эл. почта galinamuzykina@rambler.ru, ORCID 0000-0003-1629-0201

³ Каф. «Безопасность жизнедеятельности», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (066) 082 88 27, эл. почта fufei@rambler.ru, ORCID 0000-0002-5832-6949

⁴ Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (050) 964 58 18, эл. почта lashkov56@mail.ru, ORCID 0000-0001-7380-987X

^{5*} Каф. «Безопасность жизнедеятельности», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (095) 251 53 14, эл. почта grafmim@rambler.ru, ORCID 0000-0003-2938-7061

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Цель. В работе необходимо провести анализ видов конкуренции на транспортном рынке с целью поиска путей повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта и определить вопросы обеспечения равных условий для всех участников рынка путем устранения дискриминации в конкуренции. **Методика.** Авторами проведен анализ последних исследований и публикаций по данной проблематике. Исследованы вопросы развития конкуренции, повышения уровня конкурентоспособности на железнодорожном транспорте. Обращается внимание на то, что в связи со спадом объемов перевозок на всех видах транспорта конкуренция может существенно изменить сложившиеся ранее привычные сферы эффективного применения различных видов транспорта. Каждый вид транспорта занимает определенный

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

сегмент транспортного ринку з урахуванням своїх техніко-економічних особливостей, слабо конкуруючи, а в ряді випадків – і взагалі не конкуруючи один з одним (крім автомобільного транспорту). Однак всередині цих сегментів повністю можлива конкуренція. **Результати.** В процесі дослідження виявлені проблеми управління конкурентоспособністю, в тому числі на транспортному ринку, які вимагали всебічного аналізу і серйозного наукового обґрунтування. **Наукова новизна.** В результаті роботи були структуровані особливості транспорту і транспортної продукції в сучасних умовах. Приведені залежності пасажиро- і вантажообороту за видами транспорту за останні десятиліття. Розглянуто питання отримання додаткової прибутку шляхом надання вантажовласцю ряду сервісних оплачуваних послуг. Оптимальне поєднання вартості і якості цих послуг для кожного транспортного підприємства сприяє підвищенню його конкурентного статусу. **Практична значимість.** Конкуренція між підприємствами галузі поставила питання про підвищення конкурентоспособності не тільки залізничних підсистем, безпосередньо задіяваних в технологіях руху вантажів і перевезення пасажирів, але і організації інфраструктури. Це стосується, в першу чергу, – підсистем по розширенню послуг і покращенню сервісу для пасажирів і вантажовласців. Забезпечення рівних умов для всіх учасників ринку досягається завдяки забороні трьох ключових антиконкурентних дій: прийняття угоди, обмежуючої конкуренцію; зловживання домінуючим (монополістичним) положенням і злиття, які призводять до домінуючої позиції на ринку і обмежують конкуренцію.

Ключові слова: вантажооборот; пасажирооборот; види транспорту; конкурентоспособність; види конкуренції; особливості транспорту

P. V. BECH¹, G. I. NESTERENKO², S. I. MUZYKINA³, O. V. LASHKOV⁴,
M. I. MUZYKIN^{5*}

¹Dep. «Management of Operational Work», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (095) 225 38 64, e-mail Bekhpit@gmail.com, ORCID 0000-0002-1782-9224

²Dep. «Management of Operational Work», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 70, e-mail galinamuzykina@rambler.ru, ORCID 0000-0003-1629-0201

³Dep. «Life Activity Safety», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 082 88 27, e-mail fufei@rambler.ru, ORCID 0000-0002-5832-6949

⁴Dep. «Management of Operational Work», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 964 58 18, e-mail lashkov56@mail.ru, ORCID 0000-0001-7380-987X

^{5*}Dep. «Life Activity Safety», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (095) 251 53 14, e-mail grafmim@rambler.ru, ORCID 0000-0003-2938-7061

WAYS TO INCREASE COMPETITIVENESS OF RAILWAY TRANSPORT IN MODERN CONDITIONS

Purpose. In this paper it is necessary to analyze the types of competition in the transport market in order to find ways to improve the competitiveness of railway transport and to determine the ensuring equal conditions for all market participants by eliminating discrimination in competition. **Methodology.** Analysis of recent research and publications on the subject was held by the authors. The question of the development of competition, increased competitiveness in railway transport was investigated. Attention is drawn to the fact that due to the decline in traffic volumes on all modes of transport competition may significantly change the usual sphere the effective use of different modes of transport. Every mode of transport occupies a particular segment of the transport market, taking into account its technical and economic features, weakly competing, and in some cases do not compete with each other (except the road transport). However, it is entirely possible competition inside these segments. **Findings.** The problems of management of competitiveness, including the transport market, which required extensive analysis and serious scientific study, were identified. **Originality.** As a result of this work the features of transport and production of transport in modern conditions were structured. The dependences of passenger turnover and freight turnover by mode of

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

transport over the past decade were shown. The question of additional profits by providing the cargo owners a range of service was examined. The optimal combination of cost and quality of such services at each transportation company promotes increasing its competitive status. **Practical value.** Competition between enterprises of the industry put the aim of improving the competitiveness of not only railway subsystems directly involved in technology movement of cargoes and the movement of passengers, but also the organization of infrastructure in the first place – subsystems to expand services and improve service for passengers and cargo owners. Ensuring of equal conditions for all market participants is achieved through a ban of three key anti-competitive actions: the adoption of agreements restricting competition; abuse of a dominant (monopolistic) position and mergers, which result in a dominant market position to restrict competition.

Keywords: freight turnover; passenger turnover; types of transport; competitiveness; types of competition; features of transport

REFERENCES

1. Barash Yu.S., Korzhenevych I.P. Rol zaliznychnogho transportu Ukrainu v zabezpechenni staloho rozvytku suspilstva [The role of railway transport of Ukrainian in ensuring a well-established development society]. *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 24, pp. 201-206.
2. Basmanova O.Ye. Izucheniye protsessov konkurentzii i monopolizatsii na rynke zheleznodorozhnykh perevozk [Study of the competition and monopolization processes on the railroad market]. *Ekonomika. Finansy. Pravo – Economy. Finance. Law*, 2013, no. 5, pp. 7-9.
3. Kudelia V.V. Osnovni napriamky pidvyshhennia konkurentospromozhnosti zaliznychnoho transportu [The main directions of improving the competitiveness of railway transport]. *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti* [Bulletin of Transport and Industry Economics], 2010, issue 31, pp. 32-34.
4. Levytskyi I.Yu., Nesterenko H.I., Pasichnyi O.M. Pro shliakhy pidvyshchennia ravnia interoperabelnosti ta konkurentospro-mozhnosti zaliznyts Ukrainy na yevropeiskomu rynku transportnykh posluh [About the ways of increasing the level of interoperability and competitiveness of the Ukrainian railways in the European transport service market]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia* [Bulletin of the East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl], 2012, issue 6 (177), pp. 81-86.
5. Lukhanin N.I., Muzykina S.I., Bekh P.V. Perspektivy razvitiya ukrainskogo rynku transportnykh uslug [The development prospects of Ukrainian market of transport services]. *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 15, pp. 88-92.
6. Makonell K.R., Bryu S.L. *Ekonomiks* [Economics]. Moscow, Infra-M Publ., 2003. 983 p.
7. Naghornyi Ye.V., Okorokov A.M., Peresta G.I. Doslidzhennia rozvytku systemy transportnoho obslughovuvannia vantazhovlasnykiv u transportnykh vuzlakh [The investigation of the transport system for freight owners servicing in the traffic centres]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 38, pp. 58-62.
8. Peresta G.I., Mazurenko O.O., Muzykin M.I. Osnovni shliakhy rozvytku vantazhnykh perevezen zaliznyts Ukrainy [The main ways of development of cargo transportation on railways Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana «Transportni systemy i tekhnologii perevezen»* [Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan «Transport Systems and Transportation Technologies»], 2011, issue 2, pp. 80-83.
9. Peresta G.I., Chibisov Yu.V., Muzykina S.I. Usovershenstvovaniye tekhnologii organizatsii perevozk: mezhdunarodnyy opyt i analiz sushchestvuyushchey praktiki upravleniya [Perfection of the logistics organization technology: experience and analysis of existing management practices]. *Visnyk akademii mytoi sluzhby Ukrainy* [Journal of the Ukrainian Academy of Customs Service], 2011, issue 1(45), pp. 11-16.
10. Pysarevskiy I.M. Problemy tsinoutvorennia na zaliznychnomu transporti [Problems of pricing for railway transport]. *Zbirnyk naukovykh prats Kyivskoho universytetutu ekonomiky i tekhnologii transportu : Seria Ekonomika i upravlinnia* [Proc. of the Kiev University of Transport Economics and Technology: Series «Economics and Management»], 2007, issue 9, pp. 231-235.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

11. Pshinko A.N., Muzykina G.I. Neobkhodimost i puti povysheniya konkurentosposobnosti zheleznodorozhnogo transporta [Necessity and ways to improve the competitiveness of railway transport]. *Vagonnyy park – Car Fleet*, 2008, no. 9, pp. 9-13.
12. Chornyi V.V. Sutnist i zmist konkurentospromozhnosti zaliznychnoho transportu na rynku vantazhnykh perevezhen [The essence and content competitiveness of railway transport in the freight market]. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho ekonomiko-tekhnologichnoho universytetu transportu: Seriiia Ekonomika i upravlinnia* [Proc. of the State Economic and Technological University of Transport: Series «Economics and Management»], 2012, issue 19, pp. 200-207.
13. Nesterenko G.I., Chibisov Yu.V. Optimal route selection when distributing the freight trainflow in the railway junction with the consideration of the level of the traffic capacity saturation. *Visnyk Skhidnoukrainskogo natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia* [Bulletin of the East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl], 2012, issue 3 (174), pp. 138-143.
14. Woroniuk C., Marinov M., Zunder T., Mortimer Ph. Time series analysis of rail freight services by the private sector in Europe. *Transport Policy*, 2013, vol. 25, pp. 81-93. doi:10.1016/j.tranpol.2012.09.004.
15. Williams M.J., Rhoades D.L., Simms Th.A. High-speed rail: will it change the dynamics of US intercity passenger travel? *World Review of Intermodal Transportation Research*, 2013, vol. 4, no. 1, pp. 73-95. doi: 10.1504/WRITR.2013.053374.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. І. Бобровським (Україна); д.т.н., проф. Т. В. Бутько (Україна)

Надійшла до редколегії 10.05.2015

Прийнята до друку 29.07.2015

УДК 629.42.016.2/5

Б. Є. БОДНАР¹, М. І. КАПІЦА², А. М. АФАНАСОВ³, Д. М. КИСЛИЙ^{4*}

¹Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (066) 059 39 91, ел. пошта bodnar@nz.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3591-4772

²Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, ел. пошта m.i.kapica@ua.fm, ORCID 0000-0002-3800-2920

³Каф. «Електрорухомий склад залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, ел. пошта afanasof@ukr.net, ORCID 0000-0003-4609-2361

^{4*}Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. + 38 (066) 625 18 59, ел. пошта dmitriy.kisliy@gmail.com, ORCID 0000-0002-4427-894X

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЗАОЩАДЖУЮЧИХ РЕЖИМІВ РОЗГОНУ ПОЇЗДІВ

Мета. В сучасних умовах експлуатації рухомого складу актуальним завданням є підвищення ефективності його використання за рахунок зниження витрат енергоресурсів, в тому числі й на тягу поїздів. Цього можливо досягти шляхом створення систем керування потужністю локомотивів, зокрема, використанням режимних карт та бортових апаратно-програмних комплексів. **Методика.** В статті розглянуто способи рушання з місця та набору швидкості поїзда. Тягові розрахунки з визначенням енергозаощаджуючих траєкторій передбачають пошук раціональної залежності витрат енергоресурсів від часу ходу поїзда. При виборі енергозаощаджуючих траєкторій руху поїзда та при розробці режимних карт ведення поїздів необхідно враховувати змінні параметри, такі як: профіль ділянки, масу складу, серію локомотива та ін. При передачі потужності від первинної силової установки до рушійних колісних пар відбуваються неминучі втрати, які описуються коефіцієнтом корисної дії (ККД). Для більшості елементів передачі локомотива залежності ККД описуються нелінійними рівняннями. Розглянуто отримання енергозаощаджуючої функції управління тягою при рушанні та розгоні з метою зменшення питомих витрат енергоресурсів за рахунок удосконалення алгоритму розрахунку багатоваріантних траєкторій руху поїзда. Запропоновано методику вибору енергозаощаджуючої траєкторії руху при розгоні поїзда та управління потужністю електровозів і тепловозів із електричною передачею, в основу якої покладено математичні методи рівномірного пошуку та параметричної оптимізації. **Результати.** Для змінних параметрів складу та поїзної ситуації побудовано двохпараметричну функціональну залежність управління потужністю локомотива та аналітично визначено ефективність запропонованого алгоритму. **Наукова новизна.** За результатами роботи авторами отримано енергозаощаджуючу функцію управління тягою, яка залежить від маси складу та ухилу. На відміну від існуючих розробок раціонального ведення поїздів дана функція потребує значно менше машинного часу при високій точності розрахунків, що дає можливість її впровадження в бортову систему керування локомотивом та економії енергоресурсів. **Практична значимість.** Експериментально визначений вченими алгоритм, який є складовою частиною бортового програмного комплексу визначення енергозаощаджуючих режимів ведення поїздів, сприятиме зниженню витрат енергоресурсів.

Ключові слова: тягові розрахунки; енергоефективність ведення поїздів; рушання з місця; розгін поїзда; управління потужністю; параметрична оптимізація

Вступ

Режим розгону поїзда характеризується вибором раціонального положення рукоятки контролера машиніста в період пуску. Машиніст перед вибором режиму розгону поїзда повинен врахувати відстань між пунктами зупинок, час, закладений в розкладі, пускові характеристики

локомотива, стан рейок, втрати в тягових двигунах і т. п.

Пуск та розгін важливо виконувати якомога більш плавно, не допускаючи надто швидкого нарощування сили тяги. Це необхідно для того, щоб не допустити розриву поїзда та боксування колісних пар локомотива. Зрушити вантажний поїзд з місця легше, якщо попередньо усунути

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

засори в пазах автосцепів. Якщо локомотив не має автоматичного пуску, поступово переводять рукоятку контролера машиніста на вищі позиції, втримуючи її на кожній з них приблизно 3 секунди, що необхідно для спрацювання електричних апаратів. Після того, як головна частина поїзда прийде до руху, продовжують набирати позиції, дотримуючись при цьому вимоги, щоб струм тягових двигунів не перевищував значень пускового струму для тягового рухомого складу певної серії та був близький до максимального допустимого значення за умовами зчеплення коліс з рейками. Для того щоб не відбулося розриву поїзда, подальший набір позицій контролера машиніста можна здійснювати після того, як весь поїзд разом з локомотивом прийде до руху.

Постановка проблеми. Під час роботи тягового електродвигуна або генератора в них відбуваються втрати енергії, що викликають нагрів їх частин і деталей. Нагрівання електричних машин залежить від втрат потужності, тривалості нагрівання та інтенсивності охолодження. Втрати в двигуні залежать від навантаження. Чим більший струм проходить через обмотки машини, тим більші втрати енергії в ній і тим сильніше нагріваються її частини (в першу чергу обмотки і колектор). Втрати в міді збільшуються пропорційно квадрату струму, й магнітні втрати в якорі та полюсах, що зростають зі збільшенням частоти обертання якоря, тобто із збільшенням швидкості руху локомотива. Отже, перші досягають значних величин під час розгону, другі – під час прямування в тяговому режимі з високими швидкостями.

Крім того, при передачі електричної потужності між тяговим генератором змінного струму та тяговими електродвигунами постійного струму відбуваються втрати при випрямленні напруги. Енергетичні показники випрямлячів – це коефіцієнт корисної дії (ККД), коефіцієнт потужності χ та $\cos \varphi$. Якість випрямленої напруги характеризує коефіцієнт пульсації.

Дизель тепловоза, як джерело механічної потужності, має свої характеристики, а саме: залежності моменту, ККД, витрати палива та ін., які мають більш складний характер щодо електричних машин та перетворювачів. Оскільки керування локомотивом здійснюється шля-

хом управління потужністю дизеля, то останній є найбільш впливовою частиною системи передачі потужності.

Вибір енергозощаджуючого режиму розгону локомотива передбачає узгоджені найбільш економічні режими роботи всіх послідовно включених елементів передачі. Складність полягає в тому, що більшість характеристик мають нелінійний характер.

Аналіз досліджень і публікацій. Рушання з місця та розгін поїзда описаний в багатьох роботах, в т.ч. й офіційних документах.

В [12] наведено спосіб, згідно з яким дотична сила тяги не має перевищувати силу зчеплення коліс з рейками

$$F_{\text{дом}} \leq F_{\text{зч}}.$$

Машиніст має реалізовувати частину тягової характеристики від 0 км/год до виходу на автоматичну.

Цей спосіб не враховує енергозбереження, але час розгону є мінімальним.

Метод Ейлера враховує зростаючу силу опору руху поїзда. Знаходження оптимального рішення рівняння виконується мінімізацією інтеграла [6, 16]

$$Q = \int_0^T R^2 dt = \int_0^T (\dot{v} + W)^2 dt.$$

Недоліками цього методу є:

- вплив профілю, що викликає змінні прискорюючо-сповільнюючі зусилля, які важко враховувати за цим методом;
- складність моделювання перехідних процесів та реальних режимів роботи тягових електричних машин.

В [4] Босов А. А. запропонував метод оптимальності за адитивним критерієм. В рівнянні руху поїзда складовою частиною є перегрів обмоток тягових електричних машин у вигляді

$$\frac{d\tau}{dt} = \frac{-\tau + \tau_{\infty}(v, u)}{T(v, u)},$$

де $T(v, u)$ – стала часу; u – функція управління тягою; τ_{∞} – перегрів при усталеному режимі.

В цьому методі алгоритм знаходження оптимального управління складається з елементарних операцій Δ_k , які складають область B .

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Для області B визначається оптимальна траєкторія X , яка перевіряється на якість управління $I = I[X, u]$. Опис елементарної операції

$\Delta(B_k)$ виконано нижченаведеними методами:

- метод різнісних рівнянь;
- оптимальний по швидкодії;
- ковзаючий режим (пилоподібний);
- ковзаючий режим з обмеженням амплітуди;
- метод лінеаризації.

В [5] авторами розглянуто оптимізацію тягових розрахунків за мінімальними значеннями двох показників – витрати часу t на переміщення поїзда та роботи сил опору руху A .

$$t = \int_{s_1}^{s_2} \frac{ds}{v(s)} \rightarrow \min;$$

$$A = \int_{s_1}^{s_2} \omega(v) ds \rightarrow \min.$$

Оскільки при управлінні тягою по швидкодії $u_1(s)$ витрата часу буде мінімальною, то існує управління $u_2(s)$ з загальної множини $u(s) \in U$, при якому робота є мінімальною $A_2[u_2] = \min A[u]$. При розгляді непорівнюваних варіантів рішення рівняння руху поїзда, V_α складається з множини траєкторій, серед яких існує оптимізована крива V^p . Отже, при $t_2 < \underline{t}$ множина $V_\alpha(t_2)$ обмежена, опукла та компактна. При цьому оптимізація зводиться до рішення двох задач:

- виконання тягових розрахунків при керуванні по швидкодії;
- мінімізації сил опору руху поїзда за заданого часу ходу.

Задачу раціоналізації тягових розрахунків за методом непорівнюваних варіантів розглянуто також в [2, 3, 8]. Умовою раціональності режиму виступає мінімізація функції управління тягою по двох параметрах: часу ходу поїзда та роботи сил опору руху (рис. 1).

$$\left(\begin{array}{l} t[v(s)] \\ A[v(s)] \end{array} \right) \rightarrow \min.$$

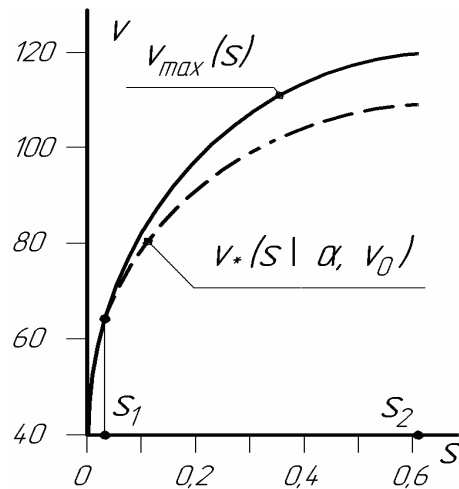


Рис. 1. Один з варіантів $v_*(s | \alpha, v_0)$ при фіксованому значенні α та v_0

Fig. 1. One of the variants $v_*(s | \alpha, v_0)$ at the fixed value α and v_0

Вибір раціональної траєкторії з множини непорівнюваних варіантів траєкторій виконується розв'язанням задачі на умовний екстремум [2]

$$\sum_{i=1}^n A_i(t_i) \rightarrow \min.$$

Цей метод дозволив створити апаратно-програмний комплекс визначення індивідуальних раціональних режимів ведення.

Дослідження перехідних режимів (рушення з місця, розгін) належать Лазаряну В. А., Блохіну Є. П., які базуються на моделюванні використання систем нелінійних диференціальних рівнянь. Модель дозволяє отримати поздовжні сили в поїзді, що поширюються хвилоподібним характером [9].

Якщо розглядати поїзд як лінійну поздовжно-динамічну систему, то існує модель, яку запропонували Гарг В. К. та Дуккіпаті Р. В. [18]. Модель враховує динамічні властивості окремих вагонів складу, які розташовані на певній відстані від центру мас. Поздовжні сили окремого вагона описуються рівнянням

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = F(t), \quad (7)$$

де m – маса вагона; c , k – коефіцієнти демпфування та жорсткості автзчепних пристроїв відповідно.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Недоліком цієї моделі є складність розрахунку поздовжніх прискорюючо-сповільнюючих сил всього поїзда.

Більшість вищевказаних методик розглядають рух поїзда з початковою та кінцевою швидкістю $V = 0$ км/год. Пропонуємо розглянути рух поїзда на етапах рушання з місця ($V_0 = 0$) та набору швидкості до $\bar{V} > 0$.

Мета

Отримання енергозаощаджуючої функції управління тягою при рушанні та розгоні з метою зменшення питомих витрат енергоресурсів за рахунок удосконалення алгоритму розрахунку багатоваріантних траєкторій руху поїзда.

Методика

Методика вибору енергозаощаджуючої траєкторії руху поїзда та управління потужністю електровозів та тепловозів з електричною передачею передбачає розрахунок багатоваріантних траєкторій з варіативними вихідними даними параметрів складу та поїзної ситуації. Методика враховує математичні методи рівномірного пошуку та параметричної оптимізації.

Основний матеріал. Для оцінки ефективності режимів рушання та розгону виконано розрахунок багатоваріантних траєкторій розгону поїзда з варіативними вихідними даними та оптимізацією їх по двох параметрах – витраті енергоресурсів g та часу ходу поїзда t .

Розгін може проходити по великій кількості траєкторій при різних параметрах:

- ухил;
- маса складу;
- потужність локомотива та ін.

Для можливості порівняння задаємо варіанти вихідних даних:

- локомотив тепловоз 2ТЭ116;
- маса складу 1 000, 1 500, ..., 3 000 т;
- ухил -3 %, -1,5 %, ..., 3 %.

Результатом має бути побудована крива швидкості при кожній варіації вихідних даних, яка проходить через точку з фазовими координатами $V = 50$ км/год та $S = 3000$ м. При цьому визначається відповідна витрата палива та час ходу поїзда.

Математична модель побудована на підставі Правил тягових розрахунків та базується на

інтегруванні рівняння руху поїзда

$$\frac{dV}{dt} = \xi [f(V) - \omega(V) - b_2(V)]$$

по шляху з кроком $\Delta S = 10$ м.

Для можливості узгодження режиму ведення з позицією контролера машиніста (ПКМ) математична модель обчислює потужність на підставі табл. 1 [14].

Таблиця 1

Відповідність позиції контролера машиніста та частоти обертання колінчастого валу дизеля

Table 1

The compliance of the driver controller position and the rotational speed of the diesel engine crankshaft

ПКМ	$n_{кв}$, хв ⁻¹	ПКМ	$n_{кв}$, хв ⁻¹
0	350±20	8	675±20
1	350±20	9	720±20
2	395±20	10	770±20
3	445±20	11	815±20
4	490±20	12	860±20
5	535±20	13	910±20
6	580±20	14	955±20
7	630±20	15	1 000±10

Оскільки потужність силової установки залежить від частоти обертання колінчастого валу, то ефективну потужність визначаємо з графіка $N_e = f(n_{кв})$ (рис. 2).

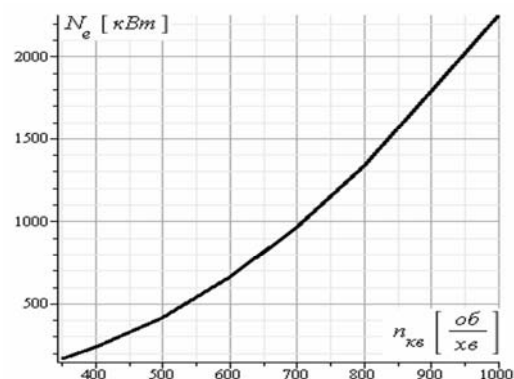


Рис. 2. Залежність ефективної потужності дизеля 1А-5Д49 від частоти обертання колінчастого валу

Fig. 2. The dependence of the effective power of a diesel engine 1A-5D49 from the rotational speed of the crankshaft

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Рівняння руху поїзда включає питому силу тяги локомотива. Її визначаємо з ефективної потужності дизельного двигуна з врахуванням ККД всіх послідовних ланок передачі: головного генератора, випрямної установки, тягових електродвигунів, механічних частин (тягові редуктори, моторно-осьові підшипники).

Коефіцієнт корисної дії генератора ГС-501 знаходиться в межах 95-96 %. Але при визначенні енергозощаджуючих режимів необхідно використовувати функцію $\eta_z = f(I_z)$, яка залежить від напруги генератора, співвідношення активного та реактивного навантаження $\cos\varphi$ та інших параметрів. Тому наводимо характеристику ККД генератора ГС-501 (рис. 3) [1].

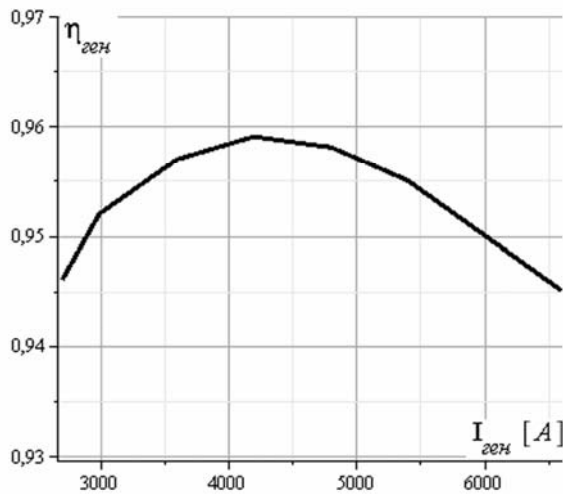


Рис. 3. Залежність ККД генератора від струму

Fig. 3. The dependence of the generator efficiency from the current

Основними параметрами, що характеризують випрямні установки, є: максимальний прямий струм; падіння напруги на діодах при заданому значенні прямого струму; максимально допустима зворотна напруга; зворотний струм при заданій зворотній напрузі; робочий діапазон температур [10].

Коефіцієнт корисної дії випрямної установки залежить від потужності, що передається, та потужності, що розсіюється. Потужність, що розсіюється, визначається падінням напруги на діодах, що включені послідовно в електричне коло та струмом, що протікає через діоди. Падіння напруги на діоді є сталою величиною для цього типу діода. Тяговий струм залежить від режиму роботи локомотива. Отже, характерис-

тика зміни ККД випрямної установки є пряма залежність від струму. Для тепловоза серії 2ТЭ116 вона наведена на рис. 4.

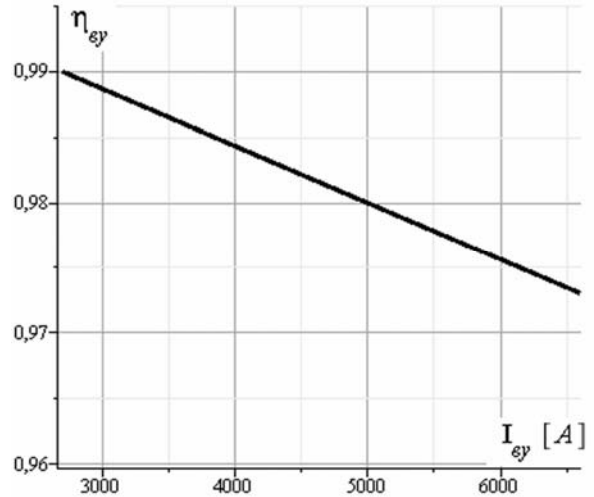


Рис. 4. Характеристика ККД випрямної установки тепловоза серії 2ТЭ116

Fig. 4. Characterization of the efficiency of the rectifier unit diesel locomotive 2TE116 series

Для тягових електродвигунів локомотивів характер зміни ККД є нелінійним. Залежність $\eta_{мед}$ задається на електромеханічних характеристиках, тому згідно з [13] наводимо її на рис. 5.

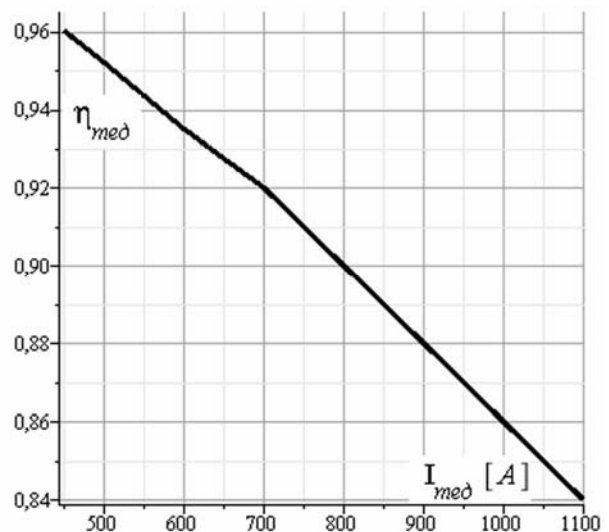


Рис. 5. Характеристика ККД тягових електродвигунів типу ЕД-118

Fig. 5. Characterization of the efficiency of traction motors type ED-118

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Значення ККД механічних частин менше залежить від навантаження, тому для розрахунків приймемо його значення сталою величиною $\eta_{мех} = 0,89$.

Для перевірки моделі використаємо коефіцієнт детермінації R^2 . Коефіцієнт детермінації R^2 приймає значення в діапазоні від нуля до одиниці $0 \leq R^2 \leq 1$. Він показує, яка частина дисперсії результативної ознаки пояснена рівнянням регресії. Чим більше значення R^2 , тим більша частина результативної ознаки пояснюється рівнянням і тим краще рівняння описує вихідні дані.

Під час перевірки достовірності розрахункової тягової характеристики локомотива 2ТЭ116 на підставі того, що потужність

$$N = F \cdot V / 3,6$$

та ККД передачі від дизеля до колісних пар

$$\eta_{\Sigma} = \eta_{ген} \cdot \eta_{бу} \cdot \eta_{мед} \cdot \eta_{мех}$$

та порівнянні її з тяговою характеристикою [12] за критерієм детермінації [17] в діапазоні швидкостей 20 ÷ 70 км/год значення $R^2 = 0,99$. Це свідчить про можливість застосування наведеного алгоритму.

Питома витратаю палива g_e називають витрату палива в одиницю часу, що віднесена до одиниці ефективної потужності дизеля. Чим менше значення g_e , тим вище ефективний коефіцієнт корисної дії дизеля, що являє собою відношення кількості теплоти, перетвореної в корисну роботу на валу, до кількості теплоти, підведеної для виконання цієї роботи; Цей показник враховує всі втрати – як механічні, так і теплові.

Для дизеля тепловоза 1А-5Д49 потужністю 2 250 кВт залежність питомої витрати палива від навантаження наведена на рис. 6 [15].

Зв'язок питомої витрати палива з керуючим впливом (позицією контролера машиніста) відбувається з використанням табл. 1 та рис. 2.

Алгоритм визначення енергозощаджуючих режимів передбачає визначення витрати палива та часу ходу поїзда за блок-схемою (рис. 7).

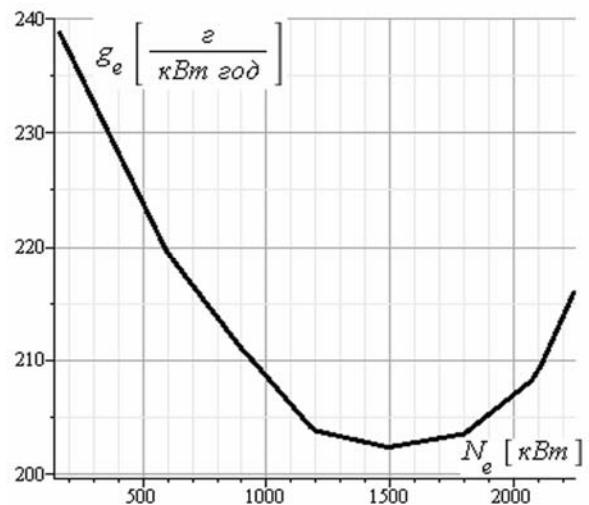


Рис. 6. Питома витрата палива дизеля 1А-5Д49

Fig. 6. Specific fuel consumption of diesel engine 1A 5D49

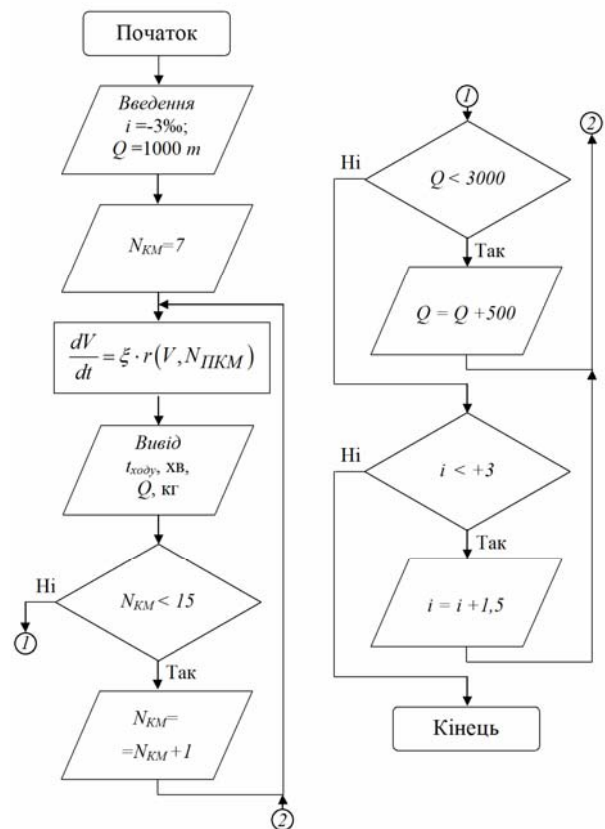


Рис. 7. Блок-схема алгоритму визначення витрати палива та часу ходу поїзда

Fig. 7. The block diagram of the algorithm for determining the fuel consumption and the operating time of the train

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Розрахунок багатоваріантних режимів ведення поїзда дозволяє отримати результати, які зводимо до табл. 2, 3.

Таблиця 2

Результати розрахунків часу ходу поїзда для багатоваріантних режимів ведення

Table 2

The calculation results of the operating time of the train for multivariate modes of input

Ухил, %	ПКМ	Час ходу поїзда для маси складу, хв				
		1 000	1 500	2 000	2 500	3 000
-3,0	7	4,26	4,45	4,62	4,76	4,90
	9	4,21	4,35	4,48	4,59	4,71
	11	4,18	4,25	4,35	4,46	4,57
	13	4,10	4,17	4,25	4,32	4,42
	15	4,12	4,22	4,30	4,39	4,48
-1,5	7	4,14	4,39	4,65	4,90	5,14
	9	4,01	4,20	4,39	4,58	4,76
	11	3,91	4,07	4,21	4,36	4,50
	13	3,86	3,99	4,11	4,23	4,34
	15	3,58	3,94	3,94	4,16	4,27
0,0	7	4,07	4,49	4,90	5,79	7,00
	9	3,80	4,15	4,45	4,76	5,05
	11	3,64	3,90	4,15	4,37	4,60
	13	3,56	3,76	3,98	4,16	4,32
	15	3,49	3,66	3,85	4,04	4,19
1,5	7	4,16	4,75	–	–	–
	9	3,70	4,25	4,69	–	–
	11	3,59	3,90	4,24	4,55	4,89
	13	3,47	3,71	3,96	4,22	4,47
	15	3,36	3,61	3,81	4,03	4,25
3,0	7	4,34	–	–	–	–
	9	3,89	4,45	–	–	–
	11	3,58	4,00	4,42	4,86	–
	13	3,41	3,73	4,04	4,38	4,74
	15	3,31	3,55	3,84	4,12	4,42

Таблиця 3

Результати розрахунків витрати палива для багатоваріантних режимів ведення

Table 3

The calculation results of fuel consumption for multivariate modes of input

Ухил, %	ПКМ	Витрата палива для маси складу, кг				
		1 000	1 500	2 000	2 500	3 000
-3,0	7	6,30	9,07	11,85	13,93	15,83
	9	6,36	8,93	11,74	13,99	16,03
	11	6,85	9,52	12,19	14,72	16,62
	13	7,49	10,81	14,00	16,32	18,63
	15	8,52	12,52	16,58	19,87	22,92
-1,5	7	9,86	14,45	18,19	21,64	25,13
	9	9,78	14,26	17,79	21,67	25,20
	11	10,29	14,71	18,67	21,93	25,68
	13	11,58	16,27	20,45	24,22	28,29
	15	13,32	18,96	22,84	27,60	32,33
0,0	7	14,48	19,21	24,14	30,67	38,43
	9	14,11	19,42	24,13	29,03	32,59
	11	14,36	19,86	25,13	29,88	34,71
	13	15,46	21,59	27,09	32,86	37,98
	15	17,08	24,85	30,86	37,71	43,72
1,5	7	17,70	23,92	–	–	–
	9	16,51	24,12	30,46	–	–
	11	17,25	24,47	31,35	37,49	44,39
	13	18,20	26,22	32,65	40,18	47,47
	15	20,23	29,22	37,43	45,98	55,16
3,0	7	20,78	–	–	–	–
	9	20,12	28,95	–	–	–
	11	20,13	29,04	37,36	45,20	–
	13	21,53	30,83	40,04	48,66	57,06
	15	25,27	36,41	47,67	57,47	65,86

Для обробки результатів та узагальнення отриманих даних вводимо коефіцієнт питомої витрати палива при розгоні b . Фізичний зміст –

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

витрата палива за хвилину, що припадає на тонну маси складу при певній потужності силової установки

$$b = \frac{1000 \cdot g}{Q \cdot t} = \left[\frac{z}{m \cdot \text{хв}} \right].$$

Розраховуємо коефіцієнт питомої витрати палива при розгоні b для заданих значень ухилів та позицій контролера машиніста. Для прикладу наводимо значення коефіцієнта для ухилу $i = +3\%$ та 7-ї позиції контролера машиніста на рис. 8.

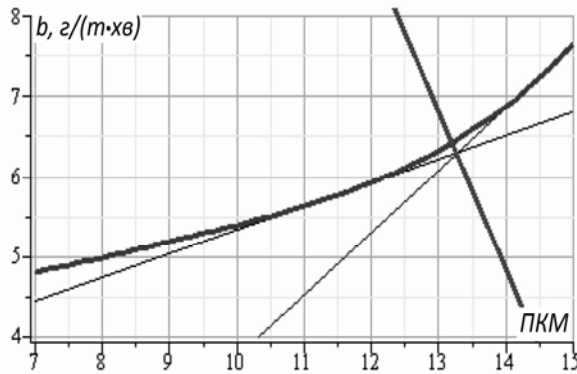


Рис. 8. Визначення раціонального значення коефіцієнта питомої витрати палива при розгоні

Fig. 9. Rational values determination of the ratio specific fuel consumption during acceleration

Раціональне значення коефіцієнта питомої витрати палива при розгоні знаходимо шляхом визначення точки максимальної кривизни кривої [7]. Для цього будуємо дотичні до кривої в точках з цілим значенням абсциси – позиції контролера машиніста. Знаходимо найбільший кут між дотичними в інтервалі чотирьох позицій та будуємо бісектрису. Точка перетину бісектриси з кривою коефіцієнта b є раціональною для цього режиму. Аналогічним чином визначаємо характерні точки для інших ухилів. Точки раціональних режимів з'єднуємо кривою (рис. 9).

Під час побудови функцій раціональних режимів для інших значень ухилів отримуємо подібні залежності коефіцієнта питомої витрати палива при розгоні. При цьому отримуємо тривимірну залежність дискретних значень раціональних позицій контролера машиніста залежних від маси складу та ухилу (рис. 10).

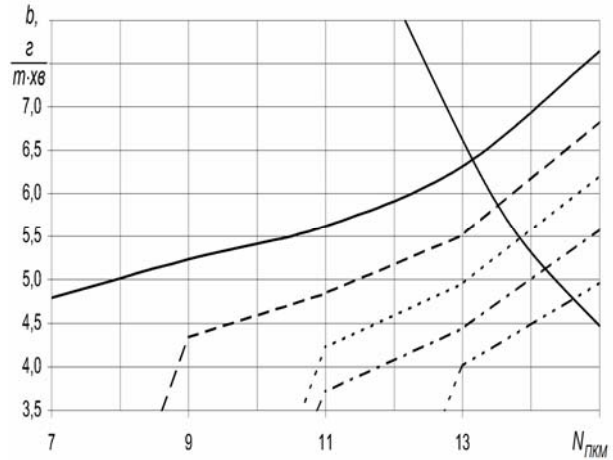


Рис. 9. Раціональні режими ведення поїзда для ухилу $i = +3\%$

Fig. 9. Rational modes of the train input for the slope $i = +3\%$

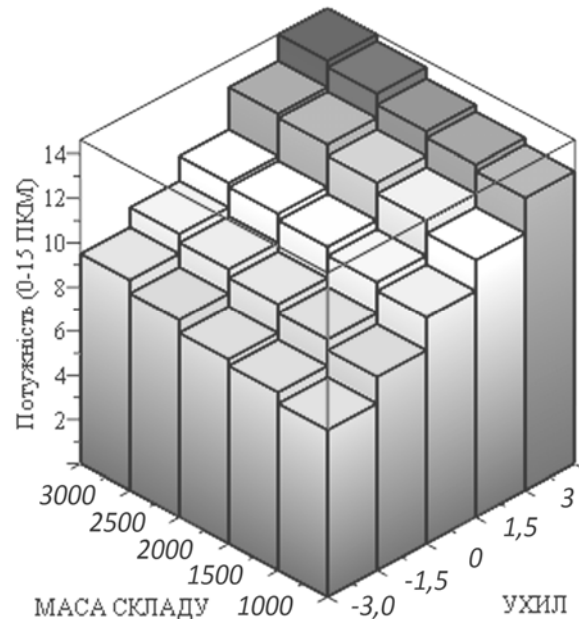


Рис. 10. Раціональні значення ПКМ

Fig. 10. Rational value of PDC

В реальних умовах при формуванні поїздів та прямуванні по ділянці значення ухилу та маси складу відрізняються від наведених. Тому для визначення проміжних значень раціонального керування локомотивом доцільно ввести інтерпольовану функціональну залежність позиції керування $N_{ПКМ} = f(Q, i)$ [11].

$$\begin{aligned}
N_{ПКМ} = & 0.038 \cdot i - 0.00136 \cdot Q + \\
& + 6.67 \cdot 10^{-14} \cdot Q^4 + 0,1128 \cdot i^4 - \\
& - 6.01 \cdot 10^{-10} \cdot Q^3 + 0.1606 \cdot i^3 + \\
& + 0.002163 \cdot i \cdot Q - 0.1836 \cdot 10^{-5} \cdot i \cdot Q^2 + \\
& + 6.97 \cdot 10^{-10} \cdot i \cdot Q^3 - 9.62 \cdot 10^{-14} \cdot i \cdot Q^4 + \\
& + 0.003621 \cdot i^2 \cdot Q - 0.2826 \times \\
& \times 10^{-5} \cdot i^2 \cdot Q^2 + 9.663 \cdot 10^{-10} \cdot i^2 \cdot Q^3 - \\
& - 1.185 \cdot 10^{-13} \cdot i^2 \cdot Q^4 - 3.618 \times \\
& \times 10^{-4} \cdot i^3 \cdot Q + 2.886 \cdot 10^{-7} \cdot i^3 \cdot Q^2 - \\
& - 1.021 \cdot 10^{-10} \cdot i^3 \cdot Q^3 + 1.317 \cdot 10^{-14} \times \\
& \times i^3 \cdot Q^4 - 0.0002212 \cdot i^4 \cdot Q + 1.613 \cdot 10^{-7} \times \\
& \times i^4 \cdot Q^2 - 5.388 \cdot 10^{-11} \cdot i^4 \cdot Q^3 + \\
& + 6.584 \cdot 10^{-15} \cdot i^4 \cdot Q^4 + 10.30 + \\
& + 0.1780 \cdot Q^2 - 1.676 \cdot i^2
\end{aligned}
\tag{1}$$

Графічна інтерпретація наведена на рис. 11. Відповідність функції (1) дискретним даним (рис. 9) складає 99,9 % в наведеному діапазоні значень мас складу та ухилу.

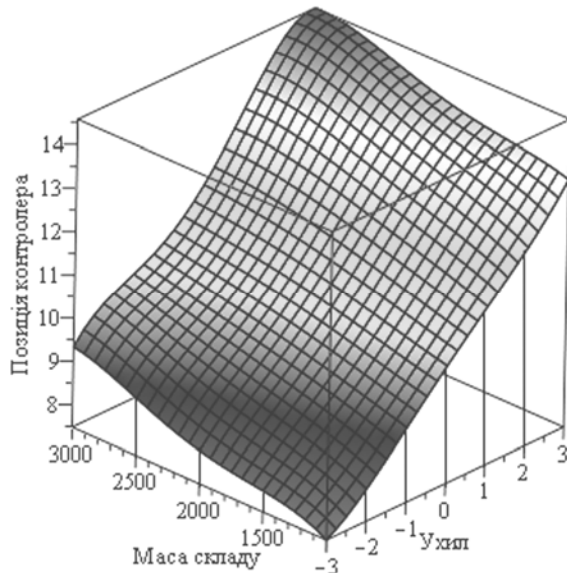


Рис. 11. Функція раціонального режиму керування локомотивом під час рушання та розгону

Fig. 11. The function of the rational mode of locomotive control during the start and acceleration

Результати

На підставі багатоваріантних розрахунків удосконалено алгоритм визначення енергозощаджуючих траєкторій руху поїзда під час рушання та розгону, побудовано багатопараметричну функцію управління потужністю локомотива, яка дозволяє зменшити витрату енергоресурсів від 13 до 25 % залежно від маси складу та ухилу порівняно з методикою [12].

Наукова новизна та практична значимість

Отримано енергозощаджуючу функцію управління тягою, яка залежить від маси складу та ухилу. На відміну від існуючих розробок раціонального ведення поїздів ця функція потребує значно менше машинного часу при високій точності розрахунків, що дає можливість її впровадження в бортову систему керування та економії енергоресурсів.

Висновки

Удосконалено алгоритм визначення енергозощаджуючої траєкторії руху поїзда під час рушання та розгону:

- визначено коефіцієнт хвилинної витрати палива на тону маси складу;
- розрахунком траєкторій при варіативних вихідних даних побудовано функції зміни коефіцієнта питомої витрати палива;
- визначено раціональну потужність локомотива та позиції контролера машиніста для розгону поїзда;
- побудовано аналітичну залежність раціональної позиції контролера машиніста залежну від маси складу та ухилу, перевірено її адекватність;
- аналітично визначено економію енергоресурсів при рушанні з місця та розгоні, яка складає від 13 до 25 % порівняно з методикою [12].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Балагуров, В. А. Проектирование специальных электрических машин переменного тока : учеб. пособие для студ. вузов / В. А. Балагуров. – Москва : Высш. шк., 1982. – 272 с.
2. Бобырь, Д. В. Усовершенствование режимов ведения грузового поезда с электрической тягой : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / Бобырь Дмитрий Валерьевич. – Дніпропетр. нац.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – 190 с.
3. Боднар, Б. Е. О несравнимых вариантах в задаче тяговых расчетов / Б. Е. Боднар, А. А. Босов, Д. В. Бобырь // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту. залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 12. – С. 57–59.
 4. Босов, А. А. Некоторые вопросы методики оптимальных тяговых расчетов на ЭЦВМ / А. А. Босов // Вопр. усовершенствования устройств электр. тяги : зб. наук. пр. / Днепр. ин-т инженеров ж.-д. трансп. – Днепропетровск, 1968. – Вып. 77. – С. 108–119.
 5. Босов, А. А. Параметризация в задачах векторной оптимизации / А. А. Босов, Г. К. Гетьман // Транспорт : зб. наук. пр. / Дніпропетр. держ. тех. ун-т залізн. трансп. – Дніпропетровськ, 2000. – Вип. 5. – С. 62–65.
 6. Гернет, Н. Об основной простейшей задаче вариационного исчисления / Н. Гернет. – Санкт-Петербург : Тип. Ю. Н. Эрлих, 1913. – 155 с.
 7. Гилев, В. Г. Исследование алгебраических функций без использования производной / В. Г. Гилев. – Москва : Илекса, 2012. – 162 с.
 8. Капіца, М. І. Автоматизація розв'язання рівняння руху поїзда при виконанні тягових розрахунків / М. І. Капіца, Д. В. Бобырь // Зб. наук. пр. Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Харків, 2012. – Вип. 132. – С. 96–104.
 9. К вопросу о математическом описании процессов, происходящих при переходных режимах движения поездов с зазорами в упряжи / В. А. Лазарян, Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин, Л. В. Белик // Тр. ДИИТа. – Москва, 1971. – Вып. 103. – С. 18–28.
 10. Москатов, Е. А. Электронная техника. Начало / Е. А. Москатов. – 3-е изд. – Таганрог, 2010. – 204 с.
 11. Половко, А. М. Интерполяция. Методы и компьютерные технологии их реализации / А. М. Половко, П. Н. Бутусов. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2004. – 320 с.
 12. Правила тяговых расчётов для поездной работы / П. Т. Гребенюк, А. Н. Долганов, О. А. Некрасов [и др.]. – Москва : Транспорт, 1985. – 287 с.
 13. Справочник по электроподвижному составу, тепловозам и дизель-генераторам / под ред. А. И. Тищенко. – Москва : Транспорт, 1976. – 432 с.
 14. Тепловоз 2ТЭ116 / С. П. Филонов, А. И. Гиба-лов, Е. А. Никитин [и др.]. – Москва : Транс-порт, 1996. – 334 с.
 15. Тепловозные дизели типа Д49 / Е. А. Никитин, В. М. Ширяев, В. Г. Быков [и др.] ; под ред. Е. А. Никитина. – Москва : Транспорт, 1982. – 255 с.
 16. Тракимус, Ю. В. Основы вариационного исчисления в примерах и задачах : учеб. пособие / Ю. В. Тракимус. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. – 48 с.
 17. Носко, В. П. Эконометрика для начинающих / В. П. Носко. – Москва : Изд-во Ин-та экономи-ки переход. периода, 2000. – 255 с.
 18. Garg, V. K. Dynamics of railway vehicle systems / V. K. Garg, R. V. Dukkipati. – Toronto : Academic press, 1984. – 422 p.
 19. Mahyar, V. Traction-Motor Power Ratio and Speed Trajectory Optimization for Power Split PHEVs Using Route Information / V. Mahyar, T. Amir, L. Nasser // Intern. Mechanical Engineering Congress and Exposition. Transportation Systems (9.11–15.11.2012). – Houston, 2012. – Vol. 11. – P. 301–308. doi: 10.1115/imece2012-86859.
 20. Peter, W. An Ensemble Empirical Mode Decomposition-Based Lossy Signal Compression Method for a Remote and Wireless Bearing Condition Monitoring System / W. Peter, W. Guo // Intern. Design Engineering Tech. Conf. and Computers and Inform. in Engineering Conf. (12.08–15.08.2012). – Chicago, USA, 2012. – Vol. 1. – P. 151–158. doi: 10.1115/detc2012-70495.
 21. Torben, O. A. Control of Oscillations in Electrically Driven Skid Steer Vehicles / O. A. Torben, M. R. Hansen, H. C. Pedersen // Intern. Mech. Engineering Congress and Exposition. Design Engineering (15.11.–21.11.2003). – Washington, DC, USA, 2003. – Vol. 1–2. – P. 17–23. doi: 10.1115/imece2003-41462.

Б. Е. БОДНАРЬ¹, М. И. КАПИЦА², А. М. АФАНАСОВ³, Д. Н. КИСЛЫЙ^{4*}

¹Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (066) 059 39 91, эл. почта bodnar@nz.diiit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3591-4772

²Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, эл. почта m.i.kapica@ua.fm, ORCID 0000-0002-3800-2920

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

³Каф. «Электроподвижной состав железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, эл. почта afanasof@ukr.net, ORCID 0000-0003-4609-2361

^{4*}Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 (066) 625 18 59, эл. почта dmitriykisliy@gmail.com, ORCID 0000-0002-4427-894X

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ РАЗГОНА ПОЕЗДОВ

Цель. В современных условиях эксплуатации подвижного состава актуальной задачей является повышение эффективности его использования за счет снижения расходов энергоресурсов, в том числе и на тягу поездов. Этого возможно достичь путем создания систем управления мощностью локомотивов, в частности, использованием режимных карт и бортовых аппаратно-программных комплексов. **Методика.** В статье рассмотрены способы трогания с места и набора скорости поездом. Тяговые расчеты с определением энергосберегающих траекторий предусматривают поиск рациональной зависимости расхода энергоресурсов от времени хода поезда. При выборе энергосберегающих траекторий движения поезда и при разработке режимных карт ведения поездов необходимо учитывать переменные параметры, такие как: профиль участка, массу состава, серию локомотива и др. При передаче мощности от первичной силовой установки к движущим колесным парам происходят неизбежные потери, которые описываются коэффициентом полезного действия (КПД). Для большинства элементов передачи локомотива зависимости КПД описываются нелинейными уравнениями. Рассмотрено получение энергосберегающей функции управления тягой при трогании и разгоне с целью уменьшения удельного расхода энергоресурсов за счет совершенствования алгоритма расчета многовариантных траекторий движения поезда. Предложена методика выбора энергосберегающих траекторий движения при разгоне поезда и управления мощностью электровозов и тепловозов с электрической передачей, в основу которой положены математические методы равномерного поиска и параметрической оптимизации. **Результаты.** Для переменных параметров состава и поездной ситуации построена двухпараметрическая функциональная зависимость управления мощностью локомотива и аналитически определена эффективность предложенного алгоритма. **Научная новизна.** В результате работы авторами получена энергосберегающая функция управления тягой, которая зависит от массы состава и уклона. В отличие от существующих разработок рационального ведения поездов данная функция требует значительно меньше машинного времени при высокой точности расчетов, что дает возможность ее внедрения в бортовую систему управления локомотивом и экономии энергоресурсов. **Практическая значимость.** Экспериментально установленный алгоритм, который является составной частью бортового программного комплекса определения энергосберегающих режимов ведения поездов, будет способствовать снижению расходов энергоресурсов.

Ключевые слова: тяговые расчеты; энергоэффективность ведения поездов; трогание с места; разгон поезда; управление мощностью; параметрическая оптимизация

В. YE. BODNAR¹, М. I. KAPITSA², А. М. AFANASOV³, D. N. KYSLYI^{4*}

¹Dep. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 059 39 91, e-mail bodnar@nz.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3591-4772

²Dep. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, e-mail m.i.kapica@ua.fm, ORCID 0000-0002-3800-2920

³Dep. «Electric transport of Railways», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, ORCID 0000-0003-4609-2361

^{4*}Dep. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 625 18 59, e-mail dmitriykisliy@gmail.com, ORCID 0000-0002-4427-894X

DEFINITION OF ENERGY SAVING ACCELERATION MODES OF TRAINS

Purpose. In modern conditions of rolling stock operation, the actual vital task is the increasing the efficiency of its use by reducing the cost of energy, including for the traction. It can be achieved by the way of locomotives power control systems creating, in particular the use of operating cards and on-board software and hardware. **Methodology.** The article discusses ways of starting and acceleration of the train. Traction calculations with the definition of energy-efficient trajectories provide the search of a rational consumption of energy with time of running trains. When selecting energy saving train trajectories and the development of operating trains of reference cards, it is necessary to consider the variables such as: the profile area, weight of the stock, series of the locomotive and others. When the transmission power from the primary power equipment to the driving wheel pairs the inevitable losses that are described by the efficiency factor occur. For the most part of the locomotive elements the dependences of the efficiency factor are described by the nonlinear equations. Getting the energy-saving function of traction control at starting and acceleration to reduce the specific consumption of energy by improving the algorithm for calculating the trajectories of multiple trains was considered. The method of selection of energy-efficient trajectories at dispersal trains and power control electric and diesel locomotives with electric transmission which bases on the mathematical methods for evenly search and parametric optimization was offered. **Findings.** For the variables of the train situation and rolling stock was built two-parameter functional dependence of the power control locomotive and analytically determined the effectiveness of the proposed algorithm. **Originality.** In the work result the authors received the power saving function of traction control, which depends on the mass of the rolling stock and slant. In contrast to existing development of rational management of trains, this function requires much less computer time with a high accuracy of the calculations, which makes it possible to incorporate it into the onboard control system of the locomotive and energy savings. **Practical value.** Experimentally established algorithm, which is part of the on-board software package definition of energy-saving modes of conducting trains, will contribute to the reduction of energy expenses.

Keywords: traction calculations; the energy efficiency of conducting trains; moving off; acceleration; power control; parameter optimization

REFERENCES

1. Balagurov V.A. *Proyektirovaniye spetsialnykh elektricheskikh mashin peremennogo toka* [Design of special electrical machines of AC]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1982. 272 p.
2. Bobyr D.V. *Usovershenstvovaniye rezhimov vedeniya gruzovogo poyezda s elektricheskoy tyagoy* [Improvement of a freight train operation with electric traction. Doct. Diss.]. Dnipropetrovsk, 2007. 190 p.
3. Bodnar B.Ye., Bosov A.A., Bobyr D.V. O nesravnimyykh variantakh v zadache tyagovykh raschetov [About the incomparable options in the problem of traction calculations]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2006, issue 12, pp. 57-59.
4. Bosov A.A. Nekotoryye voprosy metodiki optimalnykh tyagovykh raschetov na ETsVM [Some questions of optimal methods of traction calculations by computer]. *Zbirnyk naukovykh prats «Voprosy usovershenstvovaniya ustroystv elektricheskoy tyag»* [Proc. «Questions of electric traction devices improvements»]. Dnipropetrovsk, 1968, issue 77, pp. 108-119.
5. Bosov A.A., Getman G.K. Parametrizatsiya v zadachakh vektornoy optimizatsii [Parameterization in vector optimization problems]. *Transport – Transport*, 2000, issue 5, pp. 62-65.
6. Gernet N. *Ob osnovnoy prosteyshyey zadache variatsionnogo ischisleniya* [About the main simplest problem of variational calculus]. Saint-Petersburg, Tip. Yu. N. Erlikh Publ., 1913. 155 p.
7. Gilev V.G. *Issledovaniye algebraicheskikh funktsiy bez ispolzovaniya proizvodnoy* [The study of algebraic functions without the use of derivative]. Moscow, Ileksa Publ., 2012. 162 p.
8. Kapitsa M.I., Bobyr D.V. Avtomatyzatsiia rozviazannia rivniannia rukhu poizda pry vykonanni tiahovykh rozrakhunkiv [Automation solutions of the train motion equations at the performing of traction calculations] *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu* [Proc. of Ukrainian State Academy of Railway Transport]. Kharkiv, 2012, issue 132, pp. 96-104.
9. Lazaryan V.A., Blokhin Ye.P., Manashkin L.A., Belik L.V. K voprosu o matematicheskom opisani protsessov, proiskhodyashchikh pri perekhodnikh rezhimakh dvizheniya poezdov s zazorami v upryazhi [To the question about the mathematical description of the processes occurring during transient modes of trains

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- with gaps in harness]. *Trudy Dnepropetrovskogo instituta inzhenerov transporta* [Proc. of Dnepropetrovsk Institute of Transportation Engineers]. Moscow, Transport Publ., 1971, issue 103, pp. 18-28.
10. Moskatov Ye.A. *Elektronnaya tekhnika. Nachalo* [Electronic technic. Beginning]. Taganrog, 2010. 204 p.
 11. Polovko A.M., Butusov P.N. *Interpolyatsiya. Metody i kompyuternyye tekhnologii ikh realizatsii* [Interpolation. Methods and computer technology implementation]. Saint-Petersburg, BVH-Peterburg Publ., 2004. 320 p.
 12. Grebenyuk P.T., Dolganov A.N., Nekrasov O.A. *Pravila tyagovykh raschetov dlya poyezdnoy raboty* [The rules of traction calculations for train operation]. Moscow, Transport Publ., 1985. 287 p.
 13. Tishchenko A.I. *Spravochnik po elektropodvizhnomu sostavu, teplovozam i dizel-generatoram* [Handbook of electric rolling stock, locomotives and diesel generators]. Moscow, Transport Publ., 1976. 432 p.
 14. Filonov S.P., Gibalov A.I., Nikitin Ye.A. *Teplovoz 2TE116* [Diesel locomotive 2TE116]. Moscow, Transport Publ., 1996. 334 p.
 15. Nikitin Ye.A., Shiryayev V.M., Bykov V.G. *Teplovoznyye dizeli tipa D49* [Diesel locomotive engine D 49 type]. Moscow, Transport Publ., 1982. 255 p.
 16. Trakimus Yu.V. *Osnovy variatsionnogo ischisleniya v primerakh i zadachakh* [The foundations of calculation variations in examples and problems]. Novosibirsk, NGTU Publ., 2011. 48 p.
 17. Nosko V.P. *Ekonometrika dlya nachinayushchikh* [Econometrics for beginners]. Moscow, Izdatelstvo Instituta ekonomiki perekhodnogo perioda Publ., 2000, 255 p.
 18. Garg V.K., Dukkupati R.V. Dynamics of railway vehicle systems. Toronto, Academic press Publ., 1984. 422 p.
 19. Mahyar V., Amir T., Nasser L. Traction-Motor Power Ratio and Speed Trajectory Optimization for Power Split PHEVs Using Route Information. Intern. Mechanical Engineering Congress and Exposition. Transportation Systems (9.11–15.11. 2012). Houston, 2012, vol. 11, pp. 301-308. doi: 10.1115/imece2012-86859.
 20. Peter W., Guo W. An Ensemble Empirical Mode Decomposition-Based Lossy Signal Compression Method for a Remote and Wireless Bearing Condition Monitoring System. Intern. Design Engineering Tech. Conf. and Computers and Inform. in Engineering Conf. (12.08–15.08.2012). Chicago, USA, 2012, vol. 1, pp. 151-158. doi: 10.1115/detc2012-70495.
 21. Torben O.A., Hansen M.R., Pedersen H.C. Control of Oscillations in Electrically Driven Skid Steer Vehicles. Intern. Mech. Engineering Congress and Exposition. Design Engineering (15.11.–21.11. 2003). Washington, DC, USA, 2003, vol. 1-2, pp. 17-23. doi: 10.1115/imece2003-41462.

Стаття рекомендована до публікації, д.т.н., проф. А. В. Сохацьким (Україна); к.т.н., доц. В. Н. Сердюком (Україна)

Надійшла до редколегії 06.07.2015

Прийнята до друку 24.09.2015

UDC 629.424-82:004.031.2I. V. ZHUKOVYTSKYI^{1*}, I. A. KLIUSHNYK^{2*}, O. B. OCHKASOV^{3*}, R. O. KORENYUK^{4*}

^{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 ivzhuk@mail.ru, ORCID 0000-0002-3491-5976

^{2*}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 klugran@i.ua., ORCID 0000-0001-9939-0755

^{3*}Dep. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 733 19 61, e-mail oalexander@mail.ru, ORCID 0000-0002-7719-7214

^{4*}Dep. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 733 19 61, e-mail koroman@ua.fm, ORCID 0000-0003-1416-4770

INFORMATION-MEASURING TEST SYSTEM OF DIESEL LOCOMOTIVE HYDRAULIC TRANSMISSIONS

Purpose. The article describes the process of developing the information-measuring test system of diesel locomotives hydraulic transmission, which gives the possibility to obtain baseline data to conduct further studies for the determination of the technical condition of diesel locomotives hydraulic transmission. The improvement of factory technology of post-repair tests of hydraulic transmissions by automating the existing hydraulic transmission test stands according to the specifications of the diesel locomotive repair enterprises was analyzed. It is achieved based on a detailed review of existing foreign information-measuring test systems for hydraulic transmission of diesel locomotives, BelAZ earthmover, aircraft tug, slag car, truck, BelAZ wheel dozer, some brands of tractors, etc. The problem for creation the information-measuring test systems for diesel locomotive hydraulic transmission is being solved, starting in the first place from the possibility of automation of the existing test stand of diesel locomotives hydraulic transmission at Dnipropetrovsk Diesel Locomotive Repair Plant «Promteplovoz». **Methodology.** In the work the researchers proposed the method to create a microprocessor automated system of diesel locomotives hydraulic transmission stand testing in the locomotive plant conditions. It acts by justifying the selection of the necessary sensors, as well as the application of the necessary hardware and software for information-measuring systems. **Findings.** Based on the conducted analysis there was grounded the necessity of improvement the plant hydraulic transmission stand testing by creating a microprocessor testing system, supported by the experience of developing such systems abroad. Further research should be aimed to improve the accuracy and frequency of data collection by adopting the more modern and reliable sensors in tandem with the use of filtering software for electromagnetic and other interference. **Originality.** The authors developed the information-measuring system that improves the hydraulic transmission test process by automating and increasing the accuracy of measurements of control parameters. The measurement results are initial data for carrying out further studies to determine the technical condition of the hydraulic transmission UGP750-1200 during the plant post-repair tests. **Practical value.** The paper proposed the alternate design of microprocessor hydraulic transmission test system for diesel locomotives, which has no analogues in Ukraine. Automated data collection during the tests will allow capturing the fast processes to determine the technical condition of hydraulic transmission.

Keywords: hydraulic transmission; hydraulic testing; test stand; sensors; information-measuring system

Introduction

Most locomotives with hydraulic power transmission used in Ukraine need the overhaul repair or reconditioning. When performing the overhaul repair one of the complex and responsible diesel locomotive units is hydraulic transmission. After overhauls of locomotive hydraulic transmissions

one conducts their running-in testing without load as well as testing with load to check the basic parameters. Specifications of companies that repair hydraulic transmission recommend performing a certain amount of evaluation and adjustment tests to monitor their post-repair condition. According to the repair rules in the non-load and load running-in process mainly there is controlled the level

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

of noise, tightness, temperature, pressure in the oil system, turbine shaft acceleration, triggering of blocking devices, reverse clutch and modes engagement, body vibration magnitude, reliability and accuracy of the automatic control system [12]. The quality of these tests affects the transmission resource and its efficiency.

Purpose

In Ukraine today for hydraulic transmission testing, particularly at locomotive repair plants and other repair enterprises of the equipment with hydraulic transmission, there are used out-of-date stands developed in the USSR. These stands do not allow capturing the measured test parameters in dynamics and therefore drawing a full conclusion as to the repair flaws of the tested device. That often resulted in returning of not properly repaired hydraulic transmission for revision after such tests. Also there are no production standards for these stands.

Today in Ukraine there are almost no information-measuring test systems of diesel locomotive hydraulic transmission. Hence it is necessary to create a unique system of its kind that has no analogues in Ukraine based on the experience and development of foreign scientists. So the important is a detailed review of existing foreign information-measuring test systems of diesel locomotive hydraulic transmission and problem statement to create a national test system, based primarily on the automation capabilities of the existing test stand of locomotive hydraulic transmission at Dnipropetrovsk Diesel Locomotive Repair Plant «Promteplovoz».

Previous studies analysis

Analogues of test systems for locomotive hydraulic transmission and other vehicles exist in Russia [6, 14, 15] and some other countries [9]. The research works reviewed in [1, 3, 7] are dedicated to the problem of improvement of hydraulic transmission locomotive testing. Industry research laboratory «Technical maintenance and diagnostics of locomotives» of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V.Lazaryan is working to improve testing of locomotive hydraulic transmissions under the conditions of Diesel Locomotive Repair Plant [2, 16, 5, 8].

At the Ukrainian enterprises, which repair the hydraulic transmission for tests, they use typical stands

most of which were designed and have been used since 1980-s.

The Dnipropetrovsk Diesel Locomotive Repair Plant «Promteplovoz» uses UGP750-1200 stand for testing the unified hydraulic transmission. The hydraulic transmission of this type is installed on most locomotives with hydraulic transmission that operate at the industrial transport enterprises and «Ukrzaliznytsia».

The stand allows to measure the oil temperature before and after hydraulic transmission using sensors (range of 0-150°C, scale division – 5°C); oil pressure in the lubrication system (0-1.5 MPa, scale division – 0.2 MPa); drive motor current (0-600 A, scale division – 50 A); rotary speed of drive motor and generator (125-1500 min⁻¹, scale division – 50 min⁻¹).

Of course, the number of control parameters and measurement accuracy of the above stand (with analogue pointed indicators) do not correspond to the current level of computing. The stand does not record the process dynamics. The absence of automatic fixing of measured parameters and test protocol reduces the opportunities for analysing test results and those of the test stand.

The closest modern analogue of the stands existing in Ukraine (without computerized recording of parameters) is the test stand used by Special-purpose Equipment Plant «Standard» for testing the unified hydraulic transmission UGP 230 [15].

The stand is designed for acceptance testing of unified hydraulic transmission UGP 230 after repair for inspection and setting of the basic performance data.

While testing the hydraulic transmission there are checked build quality, tightness, oil system pressure, temperature control, reverse switch, assembly and operation quality of friction clutches, drive shaft speed.

Tests are conducted in two modes: train and shunting.

Hydraulic transmission test stands are used not only at the locomotive repair plants, but also at the enterprises that perform repair of quarry vehicles, track vehicles and other vehicles. For example, RDC «Technical diagnostics and precision measurement» created a computerized stand for hydraulic transmission testing and running-in (HMT) [6]. This stand is used to test hydraulic transmission of BelAZ earthmovers, aircraft tugs, slag cars, trucks, BelAZ wheel dozers, some brands of tractors, etc. Fig. 1 shows a block diagram of such a stand.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

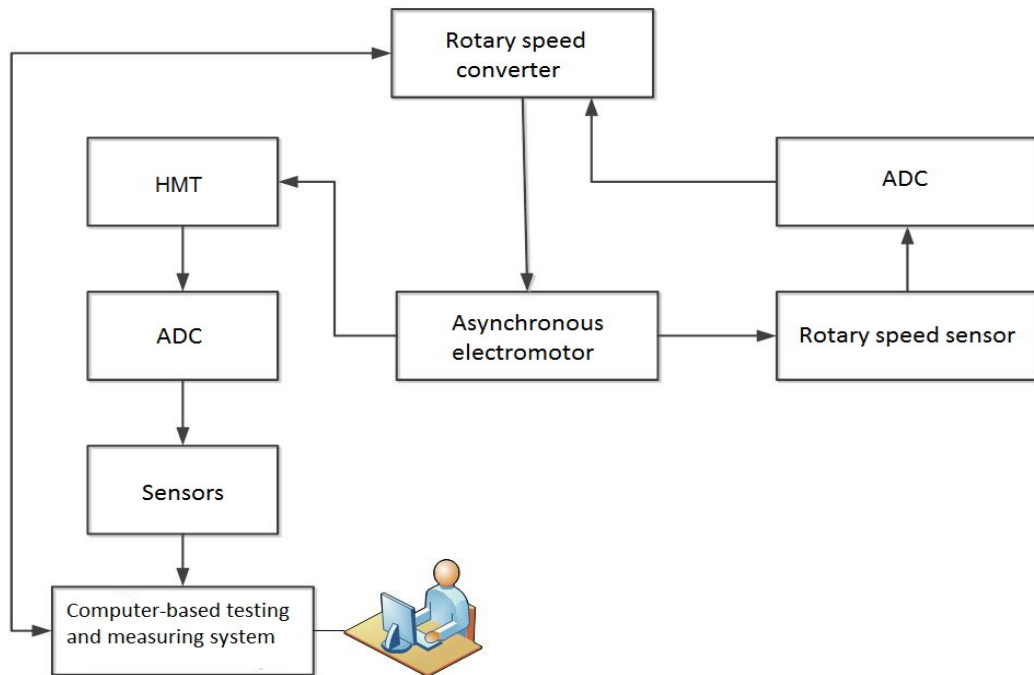


Fig. 1. – Block diagram of the computer stand for testing and running-in the hydromechanical transmission (HMT) [6]

The stand performs testing of HMT using an asynchronous electromotor. Data from the sensors are transmitted to the computer via ADC. The asynchronous electromotor has a feedback from the computer through the rotary speed converter that allows adjusting the motor rotary speed.

The considered stand controls the torque fixing the rotary speed of the input and output shafts, temperature and flow rate in the cooling system, the pressure in HMT oil systems (main passage, torque converter, lubrication system, lock friction clutch engagement channel). Also the test time is fixed.

Test is performed on this stand automatically by a computer: software selection of HMT type, selection and shifting of transmission, setting of running-in modes for each HMT transmission, setting of running-in time and automatic maintenance of speed mode. The measured parameters are monitored and displayed on the computer monitor. There is an option of emergency stop when the measured parameters exceed the set value. Furthermore there are options of documentation and archiving of test results, protocol printing.

The disadvantages of the stand include the absence of brake load (generator unit for hydraulic transmission testing in load mode).

The next development of the aforementioned plant is a stand for hydraulic transmission running-in and testing [14], which is in fact an improved version of the previously considered one.

Block diagram of the stand is shown in Fig. 2.

The main distinguishing feature of the stand is the use of asynchronous electromotors (AEM) paired with frequency converters, both as driving and braking load devices, and the use of the braking load generator. Herewith, the frequency converters are connected by means of DC bus that allows to transmit the power from braking AEM to drive AEM, and thus to provide power recuperation. Rotary speed and load are programmable. Sensor readings are recorded in the program and displayed on the screen in real time. After the test completion the report is formed.

The stand allows to check HMT build quality, the pressure in HMT oil systems in different temperature regimes, reverse clutch engagement in different temperature regimes, turbine shaft spin-up at different temperatures, the stability of the feed pump, transients, operation in stop mode.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

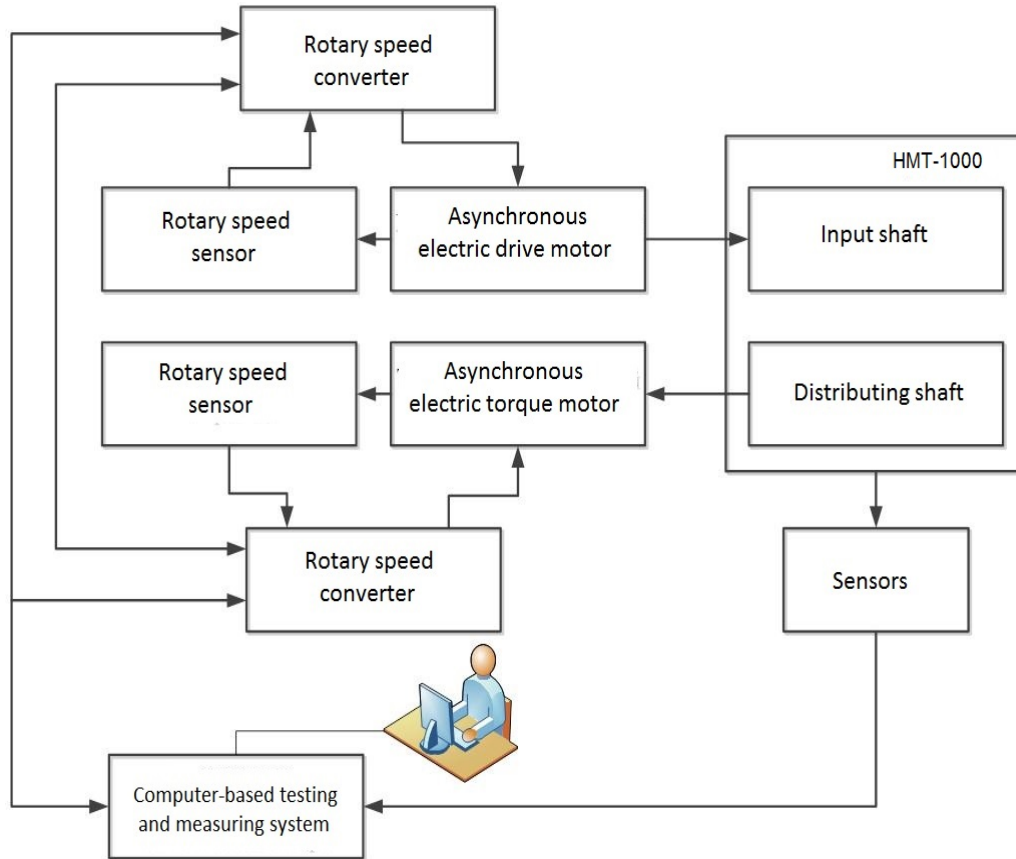


Fig. 2. Block diagram of the stand for testing and running-in the hydraulic transmission HMT-1000

Analysis of existing hydraulic transmission test systems in order to improve the technology of plant post-repair testing of hydraulic transmission by creating an information system of testing and diagnostics based on test stand of the locomotive repair plant.

Methodology

The measuring tools of the existing hydraulic transmission test stand at the plant DLRP «Promteplovoz» are analogue control devices that are obsolete. Control devices do not correspond to the current level of computing. The equipment has low accuracy and cannot collect and analyze data on the technical condition of hydraulic transmission. Thus information content of hydraulic transmission test is decreased and creation of a holistic view of the hydraulic transmission technical condition is complicated.

In order to eliminate these shortcomings the authors are working on development and implemen-

tation of information-measuring test system of locomotive hydraulic transmission [13] under the conditions of Diesel Locomotive Repair Plant DLRP «Promteplovoz.» Based on the experience of the above mentioned systems and hydraulic transmission test technology there are selected the types of sensors and their installation place.

In the first stage of development according to the plant test program there were selected the most essential and critical 13 process parameters, which include:

- Oil temperature in circulation circle of the first and second torque converters, and oil temperature before and after hydraulic transmission (0-120°C, scale division – 1°C);
- Oil pressure in circulation circle of the first (see. Fig. 3) and the second torque converters (0 ... 0.25 MPa, scale division – 0.01 MPa);
- Rotary speed of the turbine shaft of hydraulic transmission, drive motor and generator (up to 1500 min⁻¹, scale division – 1 min⁻¹);

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

– Current and voltage of drive motor and load generator (current – 500 A, scale division – (according to plant test program and expert opinion) – 1 A, voltage 600 V, scale division – 1 V); Sensor scanning must be made with a frequency of at least 2 Hz.

As pressure sensors there were selected MIDA-DI-02P [5]. The spaced design of sensors MIDA-DI-02P (primary converter is cable-connected with the processing unit) allows to use them in a wide range of measurement environment temperatures (50-150°C) while maintaining high performance.



Fig. 3. Pressure sensor installation in the circulation circle of hydro apparatus

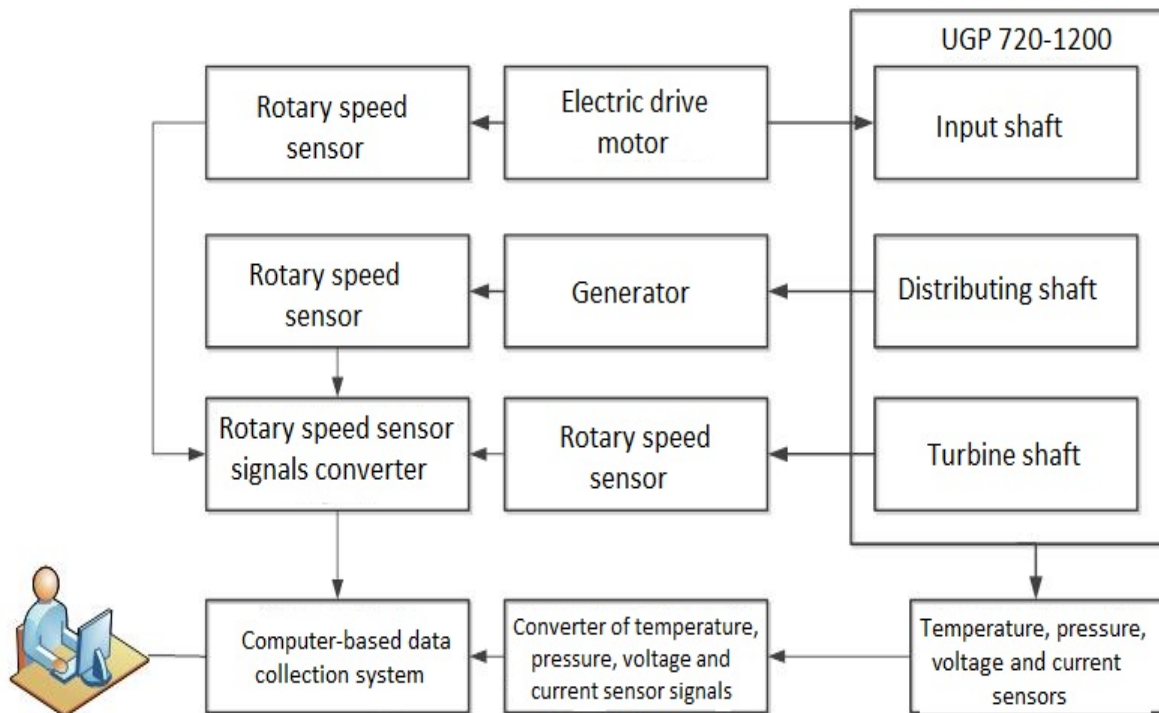


Fig. 4. – Block diagram of information and measuring testing system of diesel locomotives hydraulic transmissions within Diesel Locomotive Repair Plant DLRP «Promteplovoz»

There is measurement limits from 0 to 1 MPa. Permissible basic deviation is ± 0.25 . Output signals 4 ... 20 mA (or 0...5 V). Description of output signal – linearly increasing. Variation of output signal does not exceed 0.5.

As the temperature sensors there were selected resistance temperature transducers TSM-364-01. Working range of measured temperatures from 0 to + 150°C. Permissible deviations of indicators constitute $\pm |0.3 + 0.005t|^\circ\text{C}$. Switching-on is per-

formed by bridge circuit with the supply voltage (24 ... 36) V.

To register the characteristics deviations from the nominal sensor values the pressure and temperature sensors were calibrated in conjunction with converters.

As signal converters of temperature, pressure, voltage and current sensors the indicators of technological parameters «MicRA I3» and «MicRA I4» were used. These indicators convert the re-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ceived analogue signals into the digital ones and transmit them to the data collection system. According to the documentation [12,11] for measuring range the above mentioned devices fully satisfy the technical requirements for testing, because their built ADC bit capacity is 21 bit. Current and voltage are measured through the shunt, where the maximum voltage is 75 mV. Sensor scanning is performed at a speed of 2.5 Hz, which also satisfies the given conditions.

To implement this task all indicators are RS-485 standard networked, and using the specially designed by university IRL converter of RS-485 interface into USB 2.0 the data are transferred directly to the data collection system. The data exchange is performed using link layer protocol Modbus RTU [18], which gives additional protection against high electromagnetic fields produced during the tests at industrial enterprises. Modbus RTU protocol can detect logical errors, as well as errors in data transfer that when used as a communication line of shielded twisted pair and complete galvanic isolation in RS-485 to USB 2.0 interface converter provides the necessary protection of the above negative impacts.

Given the considerable electromagnetic interference during testing, one should use both hardware obstacles (shielded twisted pair, RS-485) and program digital filters, such as Kalman filter [17].

A separate development is the rotation velocity sensor data processing subsystem. In terms of plant testing the data on rotary speed of drive motor, generator, turbine shaft are measured using obsolete (to save money) tachometric sensors D-2MMU-2, which transmit pre-processed analogue signal to the special ATMEL microcontroller for further processing and transmission through USB 2.0 interface to the computer. However, D-2MMU-2 sensor characteristics do not allow to perform measurements in the low speed range of electric motors (due to the fact that the speed-voltage generator transfers imperfect sinusoidal signal as shown in Fig. 5, and the amplitude increases in proportion to rotary speed and therefore at the speed of up to 125 min^{-1} it is not possible to get reliable indicators at all). Herewith the measurement range made $125\text{-}1500 \text{ min}^{-1}$, and the accuracy is quite low (significant nonlinearity of indications when reducing scale division below 125 min^{-1}). However, work is underway on the use of modern

optical encoder to expand the measurement range, and to greatly improve the measurement accuracy.

At this stage of development it became possible to implement the check of temperature, turbine shaft acceleration, hydro device filling time, time measuring for switching transients of hydro devices (Fig. 6).

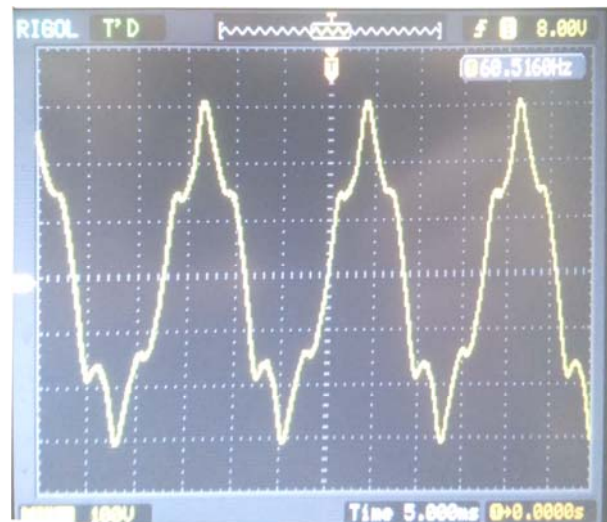


Fig. 5. Oscillogram of signal from tachometric sensor D-2 MMU-2

All data received from the sensors are recorded in an electronic test report with print option. When developing the information-measuring system the technical requirements for testing hydraulic transmission are met (except for the requirements for range and accuracy of rotary speed measurement), but for further research survey the suggested 2 Hz sensor scanning speed and the resulted after the system implementation 2.5 Hz speed is unsatisfactory and cannot follow the fast dynamic processes such as, for example, change in voltage and current values. Fig. 7 shows current and voltage graphs where it can be observed that transients are not clearly traced because of the low sampling frequency.

Therefore it is necessary to implement as rotary speed sensors the modern optical encoders, and in order to measure current and voltage to implement digital ammeters and voltmeters on microcontrollers to obtain the necessary and sufficient speed scanning.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

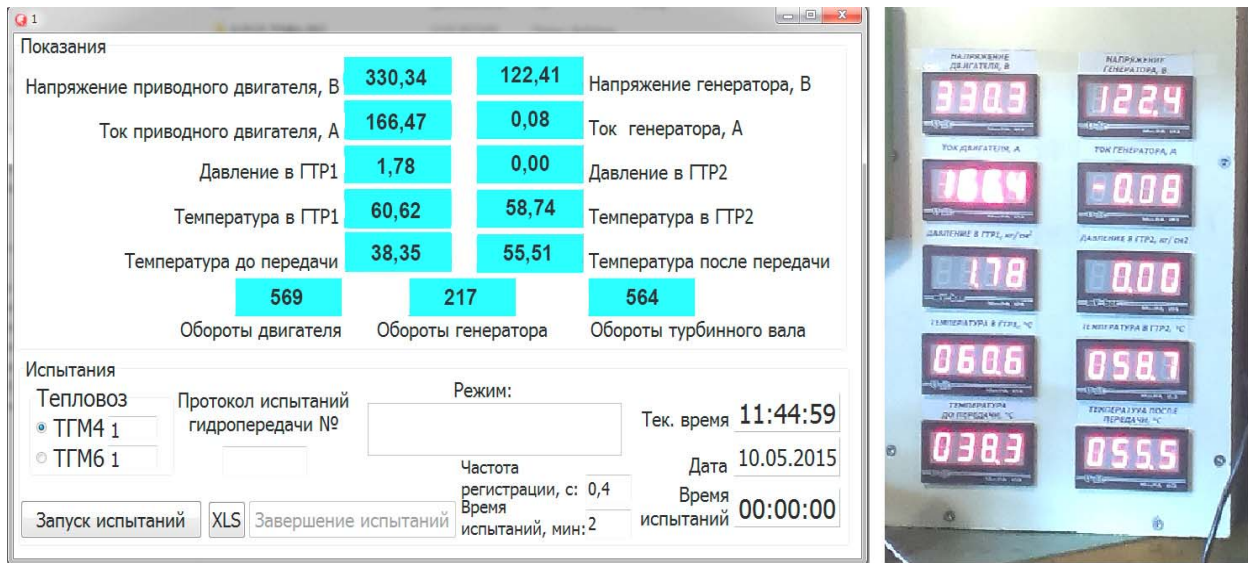


Fig. 6. Developed research system of testing the diesel locomotive hydraulic transmission

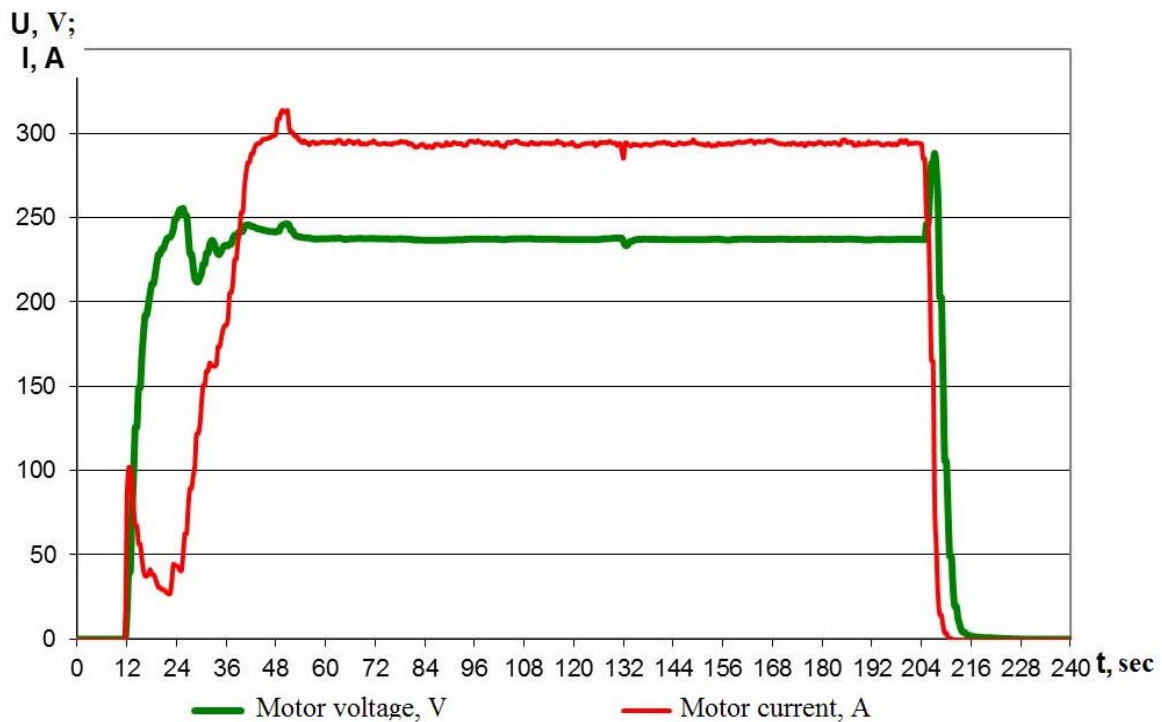


Fig. 7. Graph of current and voltage, obtained during designed system tests

Показания	Reading
Напряжение приводного двигателя, В	Voltage of drive motor, V
Ток приводного двигателя, А	Current of drive motor, A
Давление в ГТР1	Pressure in GTR1

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Температура в ГТР1	Temperature in GTR1
Температура до передачі	Temperature before transmission
Напряжение генератора, В	Voltage of generator, V
Ток генератора, А	Current of generator, A
Давление в ГТР2	Pressure in GTR2
Температура в ГТР2	Temperature in GTR2
Температура после передачі	Temperature after transmission
Обороты двигателя	Engine rpm speed
Обороты генератора	Generator rpm speed
Обороты турбинного вала	Turbine shaft rpm speed
Испытания	Tests
Тепловоз	Locomotive
ТГМ4	TGM4
ТГМ6	TGM6
Протокол испытаний гидропередачи №	Hydraulic transmission test report №
Режим	Mode
Частота регистрации, с	Frequency of registration, sec
Время испытаний, мин	Testing time, min
Тек. время	Current time
Дата	Date
Время испытаний	Testing time
Запуск испытаний	Test start
Завершение испытаний	Test completion

Findings

Based on the conducted analysis there was grounded the necessity of improvement the plant hydraulic transmission stand testing by creating a microprocessor testing system, supported by the experience of developing such systems abroad.

Originality and practical value

The paper proposed the alternate design of microprocessor test system of diesel locomotive hydraulic transmission, which has no analogues in Ukraine. The data collection was automated during the test in order to capture the transient processes to determine the hydraulic transmission technical condition. The designed information-measuring

system improves the hydraulic transmission test process by automating and increasing the accuracy of measurements of control parameters. The measurement results are initial data for carrying out further studies to determine the technical condition of the hydraulic transmission UGP750-1200 during the plant post-repair tests.

Conclusions

The existing hydraulic transmission test systems are reviewed. Based on the review the prototype of future microprocessor test system of locomotive hydraulic transmission was created according to test program of the plant «Promteplovoz». There was developed the information-measuring system enabling to raise and improve efficiency of

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

locomotive hydraulic transmission testing by automating and increasing the accuracy of measurements of control parameters. Further research should be aimed to improve the accuracy and frequency of data collection by adopting the more modern and reliable sensors in tandem with the use of filtering software for electromagnetic and other interference.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Боднар, Б. Є. Підвищення енергоефективності випробування гідравлічних передач тепловозів / Б. Є. Боднар, О. Б. Очкасов, Р. О. Коренюк // *Наук.-техн. прогрес на трансп. : тези Всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених, магістрантів та студентів.* – Дніпропетровськ : Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2015. – С. 60–61.
2. Боднар, Б. Е. Теоретические основы, опыт создания систем испытания и диагностирования тепловозов с гидродинамической передачей : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.07 / Боднар Борис Евгеньевич ; Днепропетр. гос. техн. ун-т ж.-д. трансп. – Днепропетровск, 1996. – 375 с.
3. Боднар, Є. Б. Основні вимоги та принципи створення бортових систем діагностування локомотивів / Є. Б. Боднар // *Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп.* – 2014. – № 1 (49). – С. 68–74. doi: 10.15802/stp2014-/22664.
4. Датчики давления МИДА-13П. Руководство по эксплуатации. – Ульяновск : Микроэлектронные датчики и устройства, 2011. – 74 с.
5. Капица, М. И. Определение величины тепловых потерь при испытании тепловозной гидродинамической передачи в режиме «выбега» / М. И. Капица, В. П. Минчук, Р. А. Коренюк // *Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля.* – Луганськ, 2013. – Вип. 18. – С. 13–16.
6. Компьютеризированный стенд для испытаний и обкатки гидромеханических передач (ГМП) автомобилей БелАЗ [Electronic resource] // ООО НТЦ «Техн. диагностика и прецизионные измерения». – 2014. – Available at: <http://www.diagmeas.ru/stendgmp.html>. – Title from the screen. – Accessed : 6.07.2015.
7. Ляшук, В. М. Информационно-диагностическая система испытаний тепловозов с гидродинамической передачей на базе микро-ЭВМ / В. М. Ляшук // *ЭВМ : межвуз. сб. науч. тр. / Днепропетр. ин-т инженеров трансп.* – Днепропетровск, 1987. – С. 44–52.
8. Очкасов, О. Б. Удосконалення випробування гідравлічних передач тепловозів / О. Б. Очкасов, Р. О. Коренюк, О. С. Парфьонов // *Наук.-техн. прогрес на трансп. : тези Всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених, магістрантів та студентів.* – Дніпропетровськ : Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2014. – С. 74–75.
9. Пат. 0043442 США, МПК G 06 F 19/00, G 01 M 17/03, G 06 G 5/00. Automated diagnostics for crawler transmission hydraulic circuits / Zopf W. D. (США). – № 890604 ; заявл. 07.08.2007 ; опубл. 12.02.2009, Бюл. № 11. – 8 с.
10. Программируемый индикатор технологических параметров – индикатор давления МикРА И4. Руководство по эксплуатации. – Киев : МикРА, 2010. – 15 с.
11. Программируемый индикатор технологических параметров МикРА И3. Руководство по эксплуатации. – Киев : МикРА, 2010. – 16 с.
12. Ремонт гидравлических передач тепловозов / под ред. Г. Ф. Яковлева. – Москва : Транспорт, 1975. – 264 с.
13. Розробка інформаційно-виміральної системи випробування гідравлічних передач тепловозів / Ю. І. Хмарський, О. Б. Очкасов, Р. О. Коренюк, І. А. Ключник // *Проблемы и перспективы развития ж.-д. трансп. : тез. 75 Междунар. науч.-практ. конф. (14.05–15.05.2015) / Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна.* – Днепропетровск, 2015. – С. 13–14.
14. Стенд для испытаний и обкатки гидропередачи [Electronic resource] // ООО НТЦ «Техническая диагностика и прецизионные измерения». – 2014. – Available at: <http://www.diagmeas.ru/stendgt.html>. – Title from the screen. – Accessed : 6.07.2015.
15. Стенд для проведения испытаний унифицированной гидропередачи УГП 230 [Electronic resource] // Завод специализированного оборудования «Стандарт». – 2014. – Available at: <http://inovcom.ru/catalog/stendy/stenddllyaispytaniya-unifitsirovannoy-gidropredachi-ugp-230>. – Title from the screen. – Accessed : 6.07.2015.
16. Удосконалення стенду випробування гідравлічних передач тепловозів / Б. Є. Боднар, В. П. Минчук, О. Б. Очкасов, Р. О. Коренюк // *Проблемы та перспективи розвитку залізн. трансп. : тези 75 Міжнар. наук.-практ. конф. / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна.* – Дніпропетровськ, 2015. – С. 23–24.
17. Isermann, R. Engine Modeling and Control: Modeling and Electronic Management of Internal Combustion Engines / R. Isermann. – Berlin : Springer-Verlag, 2014. – 637 p. doi: 10.1007/978-3-642-39934-3.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

18. Kuang, J. A Modbus Protocol Stack Compatible with RTU/TCP Frames and Embedded Application / J. Kuang, G. Wang, J. Bian // Business, Economics, Financial Sciences, and Management Advances in Intelligent and Soft Computing. – 2012. – Vol. 143. – P. 765–770. doi: 10.1007/978-3-642-27966-9_102.

И. В. ЖУКОВИЦКИЙ^{1*}, И. А. КЛЮШНИК^{2*}, А. Б. ОЧКАСОВ^{3*}, Р. А. КОРЕНЮК^{4*}

^{1*}Каф. «Электронные вычислительные машины», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 89, эл. почта ivzhuk@mail.ru, ORCID 0000-0002-3491-5976

^{2*}Каф. «Электронные вычислительные машины», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 89, эл. почта klugran@i.ua, ORCID 0000-0001-9939-0755

^{3*}Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 (056) 733 19 61, эл. почта oalexander@mail.ru, ORCID 0000-0002-7719-7214

^{4*}Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 (056) 733 19 61, эл. почта Koroman@ua.fm, ORCID 0000-0003-1416-4770

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ИСПЫТАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ ТЕПЛОВЗОВ

Цель. Статья предусматривает рассмотрение процесса разработки информационно-измерительной системы испытания гидравлических передач тепловозов, что даст возможность получения исходных данных для проведения дальнейших исследований по определению технического состояния гидравлических передач тепловозов. Необходимо проанализировать совершенствование технологии заводских послеремонтных испытаний гидропередач путем автоматизации существующих стендов испытаний гидравлических передач согласно техническим условиям тепловозоремонтных предприятий. Это достигается с учетом детального обзора уже существующих зарубежных информационно-измерительных систем испытания гидравлических передач тепловозов, карьерных самосвалов БелАЗ, аэродромных тягачей, шлаковозов, грузовиков, колесных бульдозеров БелАЗ, некоторых марок тракторов и т. п. Предполагается решение задачи создания информационно-измерительной системы испытаний гидравлических передач тепловозов, отталкиваясь, в первую очередь, от возможности автоматизации уже существующего стенда испытаний гидравлических передач тепловозов на Днепропетровском заводе по ремонту тепловозов «Промтепловоз». **Методика.** В работе исследователями была предложена методика создания микропроцессорной автоматизированной системы стендовых испытаний гидравлических передач тепловозов в условиях локомотиворемонтного завода. Она действует путем обоснования выбора необходимых датчиков, а также применения необходимых аппаратных и программных средств для создания информационно-измерительной системы. **Результаты.** На основании проведенного анализа обоснована необходимость совершенствования заводских стендовых испытаний гидравлических передач путем создания микропроцессорной системы испытаний, опираясь на опыт создания подобных систем за рубежом. Дальнейшие научные исследования должны быть направлены на увеличение точности и частоты сбора информации путем применения более современных и надежных датчиков в тандеме с использованием программных фильтров электромагнитных и других помех. **Научная новизна.** Авторами была разработана информационно-измерительная система, усовершенствующая процесс испытания гидравлических передач за счет автоматизации и повышения точности измерений контрольных параметров. Результаты измерений являются исходными данными для проведения дальнейших исследований с целью определения технического состояния гидравлической передачи УГП750-1200 во время заводских послеремонтных испытаний. **Практическая значимость.** В работе предложен вариант создания микропроцессорной системы испытаний гидравлической передачи тепловозов, который не имеет аналогов в Украине. Автоматизированный сбор данных при испытаниях позволит фиксировать быстропротекающие процессы для определения технического состояния гидравлической передачи.

Ключевые слова: гидравлическая передача; испытания гидропередач; испытательный стенд; датчики; информационно-измерительная система

І. В. ЖУКОВИЦЬКИЙ^{1*}, І. А. КЛЮШНИК^{2*}, О. Б. ОЧКАСОВ^{3*}, Р. О. КОРЕНЮК^{4*}

^{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 ivzhuk@mail.ru, ORCID 0000-0002-3491-5976

^{2*}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 klugran@i.ua, ORCID 0000-0001-9939-0755

^{3*}Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 733 19 61, ел. пошта oalexander@mail.ru, ORCID 0000-0002-7719-7214

^{4*}Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 733 19 61, ел. пошта koroman@ua.fm, ORCID 0000-0003-1416-4770

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ВИПРОБУВАННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ПЕРЕДАЧ ТЕПЛОВОЗІВ

Мета. Стаття спрямована на розгляд процесу розробки інформаційно-вимірювальної системи випробування гідравлічних передач тепловозів, що дасть можливість отримання вихідних даних для проведення подальших досліджень із визначення технічного стану гідравлічних передач тепловозів. Необхідно проаналізувати удосконалення технології заводських післяремонтних випробувань гідропередач шляхом автоматизації існуючих стендів випробувань гідравлічних передач згідно технічних умов тепловозоремонтних підприємств. Це досягається з урахуванням детального огляду уже існуючих закордонних інформаційно-вимірювальних систем випробування гідравлічних передач тепловозів, кар'єрних самоскидів БелАЗ, аеродромних тягачів, шлаковозів, ваговозів, колісних бульдозерів БелАЗ, деяких марок тракторів тощо. Передбачається вирішення задачі створення інформаційно-вимірювальної системи випробувань гідравлічних передач тепловозів, відштовхуючись, в першу чергу, від можливості автоматизації вже існуючого стенду випробувань гідравлічних передач тепловозів на Дніпропетровському заводі по ремонту тепловозів «Промтепловоз». **Методика.** В роботі дослідниками була запропонована методика створення мікропроцесорної автоматизованої системи стендових випробувань гідравлічних передач тепловозів в умовах локомотиворемонтного заводу. Вона діє шляхом обґрунтування вибору необхідних датчиків, а також застосування необхідних апаратних та програмних засобів для побудови інформаційно-вимірювальної системи. **Результати.** На підставі проведеного аналізу обґрунтовано необхідність удосконалення заводських стендових випробувань гідравлічних передач шляхом створення мікропроцесорної системи випробувань, спираючись на досвід створення подібних систем за кордоном. Подальші наукові дослідження повинні бути спрямовані на підвищення точності та частоти збору інформації шляхом застосування більш сучасних та надійних датчиків у тандемі з використанням програмних фільтрів електромагнітних та інших перешкод. **Наукова новизна.** Авторами була розроблена інформаційно-вимірювальна система, яка удосконалює процес випробування гідравлічних передач за рахунок автоматизації та підвищення точності вимірювань контрольних параметрів. Результати вимірювань є вихідними даними для проведення подальших досліджень із метою визначення технічного стану гідравлічної передачі УГП750-1200 під час заводських післяремонтних випробувань. **Практична значимість.** У роботі запропоновано варіант створення мікропроцесорної системи випробувань гідравлічної передачі тепловозів, який не має аналогів в Україні. Автоматизований збір даних при випробуваннях дозволить фіксувати швидкоплинні процеси для визначення технічного стану гідравлічної передачі.

Ключові слова: гідравлічна передача; випробування гідропередач; випробувальний стенд; датчики; інформаційно-вимірювальна система

REFERENCES

1. Bodnar V.Ye., Ochkasov O.B., Koreniuk R.O. Pidvyshchennia enerhoefektyvnosti vyprobuvannia hidravlichnykh peredach teplovoziv [Energy efficiency testing of hydraulic transmission of diesel locomotives]. *Tezy Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh vchenykh, mahistrantiv ta studentiv «Naukovo-tekhnichnyi prohres na transporti»* [Thesis of Ukrainian Sci. and Technical Conf. of

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- young scientists, undergraduates and students «Scientific and Technical Progress in Transport», 2015, pp. 60-61.
2. Bodnar B.Ye. *Teoreticheskiye osnovy, opyt sozdaniya sistem ispytaniya i diagnostirovaniya teplovozov s gidrodinamicheskoy peredachey*. Dokt. Diss. [Theoretical foundations, experience of systems testing and diagnostics of diesel locomotives with hydrodynamic transmission. Doct. Diss.]. Dnipropetrovsk, 1996. 375 p.
 3. Bodnar Ye.B. Osnovni vymohy ta pryntsyty stvorennia bortovykh system diahnostuvannia lokomotyviv [Basic requirements and principles of creation onboard 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. doi: 10.15802/stp2014/22664.
 4. *Datchiki davleniya MIDA-13P. Rukovodstvo po ekspluatatsii* [Pressure transmitters MIDA-13P. Manual]. Ulyanovsk, Mikroelektronnyye datchiki i ustroystva Publ., 2011. 74 p.
 5. Kapitsa M.I., Minchuk V.P., Korenyuk R.A. Opredeleniye velichiny teplovykh poter pri ispytanii teplovoznoy gidrodinamicheskoy peredachi v rezhime «vybega» [Determination of the heat losses when testing diesel hydrodynamic transmission in the «coasting»]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni V. Dalia* [Bulletin of East Ukrainian national University named after V. Dahl], 2013, issue 18, pp. 13-16.
 6. Kompyuterizovannyi stend dlya ispytaniy i obkatki gidromekhanicheskikh peredach (GMP) avtomobiley BelAZ [Computerized test bench and running the hydromechanical transmission (GMT) of BelAZ cars]. *OOO NTTs «Tekhnicheskaya diagnostika i pretsizionnyye izmereniya»* [LLC STC «Technical diagnostics and precision measurements»], 2014. Available at: <http://www.diag-meas.ru/stendgmp.html> (Accessed 6 July 2015).
 7. Lyashuk V.M. Informatsionno–diagnosticheskaya sistema ispytaniy teplovozov s gidrodinamicheskoy peredachey na baze mikro-EVM [Information and diagnostic system tests of locomotives with hydrodynamic transmission based on a micro-computer]. *EVM: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov* [Computer: interuniversity Proc.]. Dnipropetrovsk, 1987, pp. 44-52.
 8. Ochkasov O.B., Korenyuk R.O., Parfonov O.S. Udoskonalennia vyprovuvannia hidravlichnykh peredach teplovoziv [Improving of testing the hydraulic transmission of diesel locomotives]. *Tezy Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh vchenykh, mahistrantiv ta studentiv «Naukovo-tekhnichnyi prohres na transporti»* [Thesis of Ukrainian Sci. and Technical Conf. of young scientists, undergraduates and students «Sci. and Technical Progress in Transport»], 2014, pp. 74-75.
 9. Zopf W.D. Automated diagnostics for crawler transmission hydraulic circuits. Patent no. 890604.
 10. *Programmiruyemyi indikator tekhnologicheskikh parametrov – indikator davleniya MikRA 14. Rukovodstvo po ekspluatatsii* [Programmable indicator for process parameters – pressure indicator Micra 14. Manual]. Kyiv, MikRa Publ., 2010. 15 p.
 11. *Programmiruyemyi indikator tekhnologicheskikh parametrov MikRA 13. Rukovodstvo po ekspluatatsii* [Programmable indicator of technological parameters Micra I3. Manual]. Kyiv, MikRa Publ., 2010. 16 p.
 12. Yakovlev G.F. *Remont gidravlicheskikh peredach teplovozov* [Repair of hydraulic transmission of diesel locomotives]. Moscow, Transport Publ., 1975. 264 p.
 13. Khmarskyi Yu.I., Ochkasov O.B., Korenyuk R.O., Kliushnyk I.A. Rozrobka informatsiino-vymiriivalnoi systemy vyprovuvannia hidravlichnykh peredach teplovoziv [The development of information and measuring systems of testing hydraulic transmission of diesel locomotives]. *Tezisy 75 Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. «Problemy i perspektivy rozvitiya zheleznodorozhnogo transportu (14.05–15.05.2015)»* [Thesis of 75 Int. Sci. and Practical Conf. «Problems and prospects of development of railway transport (14.05–15.05.2015)»], 2015, pp. 13-14.
 14. Stend dlya ispytaniy i obkatki gidroperedachi [Stand for testing and running of hydraulic transmission]. *OOO NTTs «Tekhnicheskaya diagnostika i pretsizionnyye izmereniya»* [LLC STC «Technical diagnostics and precision measurements»], 2014. Available at: <http://www.diag-meas.ru/stendgt.html> (Accessed 6 July 2015).
 15. Stend dlya provedeniya ispytaniy unifikatsirovannoy gidroperedachi UGP 230 [Stand for testing of unified hydraulic transmission UGP 230]. *Zavod spetsializirovannogo oborudovaniya «Standart»* [The plant of specialized equipment «Standard»], 2014 Available at: <http://inovcom.ru/catalog/stendy/stend-dlya-ispytaniya-unifikatsirovannoy-gidroperedachi-ugp-230> (Accessed 6 July 2015).
 16. Bodnar B.Ye., Minchuk V.P., Ochkasov O.B., Korenyuk R.O. Udoskonalennia stendu vyprovuvannia hidravlichnykh peredach teplovoziv [Improvement of test bench hydraulic transmission of diesel locomotives]. *Tezy 75 Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Problemy ta prespektyvy rozvytku zaliznychnoho*

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- transportu*» [Thesis of 75 Int. Sci.-Practical Conf. «Problems and Prospects of Railway Transport Development»], 2015, pp. 23-24.
17. Isermann R. Engine Modeling and Control: Modeling and Electronic Management of Internal Combustion Engines. Berlin, Springer-Verlag Publ., 2014. 637 p. doi 10.1007/978-3-642-39934-3.
 18. Kuang J., Wang G., Bian J. A Modbus Protocol Stack Compatible with RTU/TCP Frames and Embedded Application. *Business, Economics, Financial Sciences, and Management Advances in Intelligent and Soft Computing*, 2012, vol. 143, pp. 765-770. doi: 10.1007/978-3-642-27966-9_102.

Prof. V. V. Skalozub, D. Sc. (Tech.), (Ukraine); Prof. V. V. Tkachov, D. Sc. (Tech.), (Ukraine) recommended this article to be published

Received: June 15, 2015

Accepted: Aug. 14, 2015

УДК 621.436:519.876.5

В. П. ЛИТВИНЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Експлуатація судових енергетических установок», Азовський морський інститут Одеської національної морської академії, ул. Чорноморська, 19, Маріуполь, Україна, 87517, тел. +38 (0629) 37 11 16, ел. пошта jltinski@mail.ru, ORCID 0000-0002-7814-4157

ФОРМАЛИЗАЦІЯ МОДЕЛІ РАБОТИ ДИЗЕЛЯ С УЧЕТОМ ОЦЕНКИ СКОРОСТІ ПРОЦЕССОВ СГОРАННЯ

Цель. В современных условиях используемые методы и модели проектирования и оценки эксплуатационных свойств дизелей не в полной мере учитывают специфику протекания процессов сгорания. Отчасти такое положение характеризуется сложностью учета многообразных по своей природе процессов, которые в полной мере не исследованы. В этой связи необходим поиск новых методов и моделей, которые бы обеспечивали относительно простые решения за счет применения обобщающих показателей, получаемых на основе анализа параметров используемых на транспорте дизелей. **Методика.** Предложенный алгоритм оценки процессов сгорания в виде объемной и линейной скоростей базируется на известных значениях мощности и среднего эффективного давления и обеспечивает возможность сопоставления эффективности их протекания в различных модификациях дизелей. **Результаты.** Автором установлено, что соотношение между линейной и объемной скоростями характеризуется некоторыми пределами и зависит от геометрических размеров цилиндропоршневой группы. За счет сделанных допущений представилось возможным рассматривать работу дизеля в виде системы, включающей в себя: 1) подсистему, обеспечивающую возможность получения тепловой энергии; 2) подсистему, обеспечивающую преобразование тепловой энергии; 3) подсистему, обеспечивающую поддержание необходимой мощности дизеля, в зависимости от условий сгорания топливовоздушной смеси. **Научная новизна.** Автором статьи предложены показатели объемной и линейной скоростей сгорания топливовоздушной смеси в цилиндре двигателя, которые обеспечивают возможность получения сопоставимых характеристик в двигателях различной модификации с учетом возможного выбора оптимальных соотношений. **Практическая значимость.** Использование показателей объемной и линейной скоростей протекания процессов сгорания в цилиндрах двигателей в сочетании с математической моделью позволяют упростить методику расчета дизелей. Параметрические значения отмечаемых скоростей в дальнейших исследованиях обеспечат возможность определения эффективных направлений развития конструкции дизеля, а также оценку режимов его нагружения в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: дизель; топливовоздушная смесь; процессы сгорания; объемная скорость сгорания; линейная скорость сгорания; система; подсистема; математическая модель

Введение

Получение функциональных зависимостей и связей между физико-химическими и термодинамическими процессами, протекающими в дизеле, является одной из фундаментальных задач теории и практики их эксплуатации. Это обусловлено сложностью учета многообразных по своей природе процессов, которые в полной мере не исследованы, что при разработке моделей приводит к необходимости принятия допущений, упрощающих описание работы дизеля, используя известные результаты исследований и законы. В определенном смысле можно отметить, что современные методы и модели с позиций адекватного описания процессов ди-

зеля относятся к разряду оценки гипотез, применение которых в последующем подвергается проверке на предмет соответствия расчетных значений с фактически полученными данными. В этой связи разработка новых моделей представляется актуальной, хотя бы с позиций накопления информационного материала, обработка которого окажется полезной в дальнейших работах.

Значимым моментом при разработке моделей является согласование условий тепловыделения с режимами нагрузки дизеля, которые зависят от скорости сгорания топливовоздушной смеси.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Цель

Целью данной работы является формулирование математической модели, отображающей условия работы дизеля в зависимости от изменения параметров сгорания топливовоздушной смеси в цилиндре с учетом режимов его нагружения.

В общем виде можно отметить большое количество работ, посвященных моделированию процессов сгорания работы дизеля. Условно они могут быть разделены на работы, отображающие общий характер работы дизеля и посвященные локальным внутрицилиндровым проблемам [1–14]. Анализ таких работ показывает, что скорость сгорания оказывает решающее влияние на процессы, связанные с образованием давления в цилиндре двигателя и условиями протекания тепло-массообмена. В тоже время в сложившейся теории и практике эксплуатации дизелей прослеживается не достаточное количество данных, в том числе и математических моделей, где скорость сгорания рассматривается как функция управления работой дизеля при изменяющихся условиях его нагрузки.

Методика

В работе рассматривалось соотношение в виде функциональной связи:

$$V_{л} = f(N_{ei}; P_{ei}; n; T; D; V_{об}),$$

$$V_{об} = f(N_{ei}; P_{ei}; n; T; D; V_{л}),$$

где N_{ei} – эффективная мощность на i -ых режимах работы дизеля, кВт; P_{ei} – среднее эффективное давление на i -ых режимах работы дизеля, бар; n – число оборотов двигателя, об/мин; T – длительность сгорания, с; D – диаметр цилиндра, м; $V_{об}$, $V_{л}$ – объемная и линейная скорости сгорания м³/с и м/с соответственно.

При этом объемная и линейная скорости сгорания определялись из соотношений:

$$V_{об} = 0,01 \frac{dN_{ei}}{m \cdot dP_{ei}},$$

$$V_{л} = \frac{0,013 \cdot dN_{ei}}{m \cdot D^2 \cdot dP_{ei}} = \frac{0,013 \cdot V_{об}}{k \cdot D^2}.$$

Длительность сгорания при этом определялась в виде соотношения:

$$T = 78,5 \cdot D^2 \cdot H \cdot m \frac{dP_{ei}}{dN_{ei}},$$

где m – коэффициент тактности. Для двухтактных двигателей принимается равным $m = 1$, для четырехтактных $m = 0,5$.

В основу разработки математической модели были положены методы системного анализа и системотехники, позволившие рассматривать дизель как некоторую условную большую систему, конструктивно состоящую из трех подсистем.

К первой из названных подсистем отнесена подсистема $\{A\}$, обеспечивающая возможность получения тепловой энергии. Ко второй отнесена подсистема $\{B\}$ – подсистема, обеспечивающая преобразование тепловой энергии в давление расширяющихся газов и получение механической работы. К третьей отнесена подсистема $\{C\}$ – подсистема, обеспечивающая поддержание необходимой мощности двигателя в зависимости от условий сгорания топливовоздушной смеси. Отмеченные подсистемы находятся в постоянном взаимодействии и влияют на эффективность работы всей системы – $\{\Sigma\}$. Так что можно записать некоторое общее соотношение, определяющее состояние системы $\{\Sigma\}$

$$\{\Sigma\} = f(\{A\}, \{B\}, \{C\}).$$

Функционирование подсистемы $\{A\}$ определяется ее способностью трансформировать (преобразовывать) определенное количество подводимой энергии в движущую поршень силу – F_A , в зависимости от режимов нагружения подсистемы $\{B\}$. Так что можно отметить, что между движущей поршень силой F_A и силой, препятствующей работе подсистемы $\{B\}$, которую обозначим F_B , должно существовать определенное соотношение F_A/F_B ,

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

которое при работающей системе, вероятно, должно быть больше единицы, $F_A / F_B \geq 1$. Движущая поршень сила зависит от физико-химических процессов, предопределяющих условия нарастания давления в цилиндре двигателя ΔP_A . Причем F_A определяется как произведение степени нарастания давления ΔP_A на площадь поршня S , $F_A = \Delta P_A \cdot S$.

В тоже время нарастание давления ΔP_A зависит от величины сопротивления перемещению поршня в цилиндре, так что можно допустить $\Delta P_A \sim F_B$.

По мере увеличения силы сопротивления (F_B) увеличивается длительность времени, необходимого для протекания физико-химических процессов, обеспечивающих объемное воспламенение топливоздушную смесь, что способствует повышению интенсивности нарастания давления ΔP_A . Как следствие, это приводит к увеличению среднего давления в цилиндре P . В частности, на такой результат указывают практические исследования [4], где отмечается изменение соотношений между давлением сгорания P_z и средним индикаторным давлением P_i . Вариационно такое соотношение P_z / P_i может достигать 7–10 единиц. Так что в теоретическом контексте можно пояснить такие вариации за счет полноты реакций, происходящих в цилиндре двигателя, благодаря увеличению периода времени, в течение которого они происходят. К аналогичному выводу можно прийти в результате рассмотрения индикаторных диаграмм, характеризующих работу двигателя, снятых на различных режимах его нагружения.

Наряду с рассматриваемыми процессами наиболее эффективным является экономичный режим работы двигателя, для которого минимальный расход топлива – $g_{e \min}$. Наличие такого режима является фактом, свидетельствующим о существовании резерва в оптимизации работы двигателя. В определенном смысле экономичный режим указывает на то, что регулирование работой дизеля на иных режимах достигается за счет ухудшения процессов сгорания. Эффект повышения мощности обеспе-

чивается исключительно благодаря большему количеству топлива, подаваемого в цилиндр двигателя, без изменения качественных составляющих, существенно влияющих на получение тепловой энергии. Такой подход обусловлен сложившимися и, на наш взгляд, не вполне оправданными представлениями о способности процессов, протекающих в дизеле, к саморегуляции.

В работе ставилась наиболее общая задача повышения эффективности работы дизеля, которая основывается на рассмотрении динамики изменения тепловыделения $dQ/d\tau$, скорости нарастания давления $dP/d\varphi$ и динамики изменения скорости сгорания dN/dP , что обуславливается параметрической взаимосвязанностью процессов.

Отмеченные соотношения характеризуют эффективность функционирования ранее выделенных подсистем – $\{A\}$, $\{B\}$ и $\{C\}$, входящих в систему $\{\Sigma\}$. Так что можно записать, что выделенные подсистемы отображают (\rightarrow) следующую связь:

$$\{A\} \rightarrow dQ/d\tau;$$

$$\{B\} \rightarrow dP/d\varphi;$$

$$\{C\} \rightarrow dN/dP.$$

Эти зависимости обособленно рассматриваются в известных работах [4, 10, 11] с целью получения частных характеристик дизеля. Однако их рассмотрение в виде некоторой системы уравнений рассмотрено в литературе явно недостаточно, хотя взаимообусловленность соотношений представляется оправданной. Таким образом, в случае рассмотрения системы $\{\Sigma\}$ представляется определить (\Rightarrow) некоторый наиболее общий показатель (Ω):

$$\{\Sigma\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \frac{dQ}{d\tau} = 6n \frac{B_0}{\mu_r V} \cdot \frac{dx}{d\varphi} \\ \frac{dP}{d\varphi} = \left(\frac{k-1}{A \cdot V} \Psi B_0 Q_H^p \frac{dx}{d\varphi} - k \frac{P_H}{V} \frac{dV}{d\varphi} \right) \\ \frac{dN}{dP} = \frac{\xi FH}{m} \frac{d\varphi}{d\tau} \end{array} \right\} \Rightarrow \Omega, (1)$$

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

где $dQ/d\tau$ – скорость тепловыделения, Дж/с; $dP/d\varphi$ – скорость нарастания давления, Па/п.к.в. и Па/с соответственно; $dN/d\varphi$ – скорость изменения мощности, Вт/°п.к.в.; n – число оборотов двигателя, с⁻¹; B_0 – цикловая подача топлива, кг; μ_T – кажущаяся молекулярная масса топлива, г/моль; V – текущее значение объема цилиндра, м³; $dx/d\varphi$ – интенсивность выгорания топлива, °п.к.в.⁻¹; k – показатель адиабаты; Ψ – коэффициент использования теплоты реального процесса; A – термический эквивалент работы; Q_P^H – низшая теплота сгорания топлива; Дж/кг; P_H – давление в начале процесса; Па; ξ – коэффициент пропорциональности; z – коэффициент тактности; $dV/d\varphi$ – скорость изменения объема, м³/°п.к.в.; F_{Π} – площадь поршня, м²; H – текущее значение хода поршня, м.

В структурно логическом отношении поставленная задача формулируется следующим образом. Требуется определить такой оптимальный интегральный показатель (Ω), который отображает характер интенсивности образования внутренней энергии сгорающих газов за счет интенсивности выделяемого тепла $dQ/d\tau$ в цилиндре двигателя во взаимосвязи с изменяющимся объемом $dV/d\varphi$ при нарастании давления $dP/d\varphi$ и изменении скорости сгорания dN/dP , в наибольшей степени соответствующий режиму нагружения двигателя.

Результаты

Исследование рассматриваемых зависимостей (1–3) производилось по результатам данных более 200 моделей двигателей, фрагмент которых приведен в табл. 1. При соответствующем ранжировании значений были получены кривые, отображающие функциональную связь между изменениями мощности двигателя в зависимости от линейной и объемной скоростями сгорания, $N_{ei}=f(V_{л})$ и $N_{ei}=f(V_{об})$, а также между линейной и объемной скоростями, $V_{л}=f(V_{об})$. Отмеченные функциональные связи показаны на рис. 1–3.

В результате рассмотрения приведенных зависимостей сделан вывод о том, что увеличение мощности двигателей связано с изменением скорости сгорания топливоздушная смеси. Причем характер влияния линейной скорости на мощность двигателя соответствует полиномиальной зависимости, см. рис. 1.

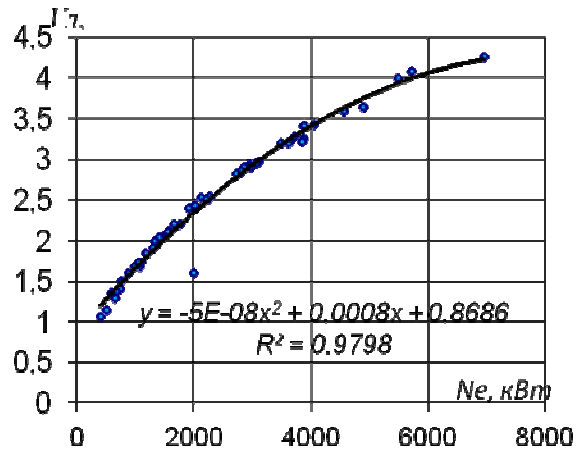


Рис. 1. Изменение мощности дизеля от линейной скорости сгорания

Fig. 1. Change the diesel power from the linear velocity of combustion

В тоже время, связь между объемной скоростью и мощностью выражается линейно, см. рис. 2., что свидетельствует о прямом влиянии количества поданного в цилиндр двигателя топлива на его мощность.

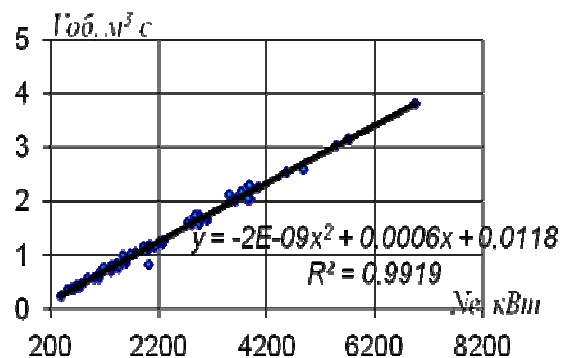


Рис. 2. Изменение мощности от объемной скорости сгорания

Fig. 2. Change the power from the volume velocity of combustion

Наряду с отмеченной специфичностью характера влияния линейной и объемной скоростей сгорания на мощность двигателя в ходе

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

исследования была отмечена закономерность их взаимообусловленности при высоком уровне доверительной вероятности, см. рис. 3.

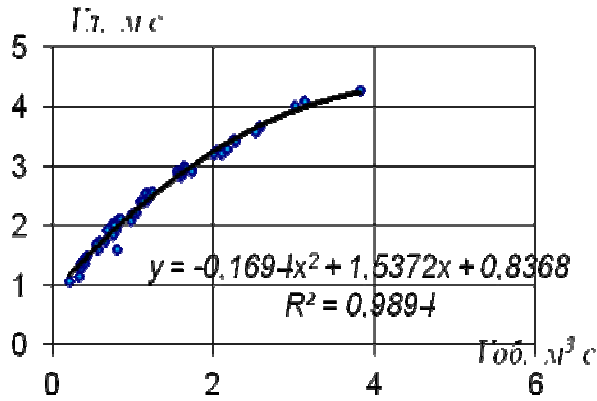


Рис. 3. Взаимосвязь линейной и объемной скоростей сгорания

Fig. 3. The relationship of the linear and volume velocities of combustion

При этом отмечалось варьирование соотношений между линейной и объемной скоростью сгорания, $V_{л}/V_{об}$. Они составили 4,5 при минимальных значениях и 1,12 при максимальных значениях. Таким образом, отмечалась целесообразность в дальнейших исследованиях влияния объемной и линейной скорости на эффективность работы дизеля и разработке математической модели.

Таблица 1

Фрагмент статистической обработки данных, используемых в исследовании

Table 1

Block of statistical data used in the study

Модель двигателя	Параметры			
	$V_{об}$, м ³ /с	$V_{л}$, м/с	H, м	T, с
RTA84T	3 880	18	74	840
S90MC-C	4 890	19	76	900
S80MC-C	3 880	19	76	800
S80MC	3 840	19	79	800
L90MC-C	4 890	19	83	900
S70MC-C	3 105	19	91	700

Окончание табл. 1

End of table 1

Модель двигателя	Параметры			
	$V_{об}$, м ³ /с	$V_{л}$, м/с	H, м	T, с
RTA84T	2,155	3,268	3 150	0,809
S90MC-C	2,573	3,642	3 188	0,787
S80MC-C	2,042	3,251	3 200	0,787
S80MC	2,021	3,218	3 056	0,759
L90MC-C	2,573	3,642	2 916	0,720
S70MC-C	1,634	2,974	2 800	0,659

Научная новизна и практическая значимость

В ходе исследования процессов сгорания были привнесены понятия объемной и линейной скорости распространения фронта пламени в цилиндрах дизеля. Использование этих понятий в качестве критериев обеспечивает возможность качественной оценки процессов сгорания, и, как следствие, эффективности работы дизеля. Используемый подход предопределялся известными положениями молекулярно-кинетической теории, в соответствии с которыми были сформулированы понятия объемной и линейной скоростей распространения фронта пламени в цилиндре дизеля.

Благодаря сделанным допущениям представилось возможным сформулировать общую задачу эффективной работы дизеля, выраженную в виде системы (1). Решение такой системы во многом упрощается за счет использования понятий скорости сгорания, в отличие от известных подходов расчета двигателей.

В инженерном отношении, при условии более глубокой проработке рассматриваемого вопроса, использование скорости сгорания обеспечивает возможность выполнения параметрических расчетов дизелей как при их проектировании, так и при соответствующей модернизации. В эксплуатационном плане эти параметры могут быть использованы для оценки эффективности работы дизеля в зависимости от режимов его нагрузки.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Выводы

1. Выполненные исследования позволяют осуществлять анализ эффективности процессов сгорания в дизеле. При этом процесс анализа в значительной мере упрощается.

2. Решение сформулированной модели работы дизеля в виде системы (1) обеспечивает возможность поиска оптимизационных решений в конструкции дизеля.

3. Проведенные исследования показали целесообразность использования комплексных подходов в решении проблемы дальнейшего совершенствования конструкции и эксплуатации дизеля. Одним из таких направлений является организация процессов сгорания топливовоздушной смеси в согласованном режиме с особенностями тепловыделения и режимов нагружения дизеля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Берестовой, И. О. К методу оценки взаимосвязи внутрицилиндровых процессов с эффективностью работы двигателей внутреннего сгорания / И. О. Берестовой, В. П. Литвиненко // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ, 2012. – № 6 (177), ч. 1. – С. 216–221.
- Боднар, Б. Є. Визначення методу фільтрації сигналу нерівномірності частоти обертання колінчастого вала дизеля / Б. Є. Боднар, О. Б. Очкасов, Д. В. Черняєв // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – № 1 (43). – С. 113–118. doi: 10.15802/stp2013/9583.
- Брилинг, Н. Р. Быстроходные дизели / Н. Р. Брилинг, М. М. Вихерт, И. И. Гутерман. – Москва : ОНТИ, 1951. – 521 с.
- Ваншейдт, В. А. Дизели : справочник / В. А. Ваншейдт, Н. Н. Иванченко, Л. К. Колеров. – Ленинград : Машиностроение, 1977. – 480 с.
- Вибе, И. И. Новое о рабочем цикле двигателей. Скорость сгорания и рабочий цикл двигателя / И. И. Вибе. – Москва ; Свердловск : Машгиз, 1962. – 270 с.
- Гаврилов, В. В. Моделирование процесса распыливания топлива в судовом дизеле / В. В. Гаврилов // Журн. ун-та водн. коммунікацій. – 2009. – Вып. 2. – С. 91–96.
- Литвиненко, В. П. О некоторых тенденциях параметрических соотношений в двигателях внутреннего сгорания / В. П. Литвиненко // Перспектива розвитку судноплавства в Азовському морі : матер. міжнар. наук.-практ. конф. (20.04.2012) / Азов. мор. ін-т Одес. нац. мор. акад. – Маріуполь, 2012. – С. 122–133.
- Литвиненко, В. П. Особенности исследования геометрических характеристик цилиндропоршневой группы двигателей с учетом условий зарождения и гибели цепных реакций / В. П. Литвиненко, Е. Н. Крючкова // Судові енергетичні установки: Експлуатація та ремонт : матер. наук.-тех. конф. / Одес. нац. мор. акад. – Одеса, 2012. – С. 47–49.
- Методи нерозбірного діагностування дизелів при експлуатації рухомого складу / Б. Є. Боднар, О. Б. Очкасов, Д. В. Черняєв, О. Я. Децюра // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 41. – С. 56–60.
- Рожанский, Г. С. Судовые двигатели внутреннего сгорания / Г. С. Рожанский. – Ленинград : Судостроение, 1989. – 423 с.
- Сомов, В. А. Судовые многопливные двигатели / В. А. Сомов, Ю. Г. Ищук. – Ленинград : Судостроение, 1984. – 240 с.
- A Physics and Tabulated Chemistry Based Compression Ignition Combustion Model: from Chemistry Limited to Mixing Limited Combustion Modes / N. Bordet, C. Caillol, P. Higelin, V. Talon // Oil & Gas Science and Technology : Rev. IFP Energies nouvelles. – 2011. – Vol. 66, № 5. – P. 823–843. doi: 10.2516/ogst/2011138.
- Berestovoy, I. Diesel operation efficiency improvement based on modeling of fuel carburetion process / I. Berestovoy, G. Aynagoz, M. Berestovoy // ТЕКА. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – 2013. – Vol. 13, № 3. – P. 9–14.
- Varbanets, R. Analyse of marine diesel engine performance / R. Varbanets, A. Karianskiy // J. of Polish CIMAC. Energetic Aspects. – 2012. – Vol. 7, № 1. – P. 269–275.

В. П. ЛИТВИНЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Експлуатація суднових енергетичних установок», Азовський морський інститут Одеської національної морської академії, вул. Чорноморська, 19, Мариуполь, Україна, 87517, тел. +38 (0629) 37 11 16, ел. пошта jltinski@mail.ru, ORCID 0000-0002-7814-4157

ФОРМАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ РОБОТИ ДИЗЕЛЯ З УРАХУВАННЯМ ОЦІНКИ ШВИДКОСТІ ПРОЦЕСІВ ЗГОРЯННЯ

Мета. У сучасних умовах методи та моделі, що використовуються у проектуванні й оцінці експлуатаційних властивостей дизелів, не у повній мірі враховують специфіку протікання процесів згоряння. Частково таке положення характеризується складністю обліку різноманітних за своєю природою процесів, які у достатній мірі не досліджені. Через це є необхідним пошук нових методів і моделей, які б забезпечували відносно прості рішення за рахунок застосування узагальнюючих показників, отриманих на основі аналізу параметрів дизелів, що використовуються на транспорті. **Методика.** Запропонований алгоритм оцінки процесів згоряння у вигляді об'ємної та лінійної швидкостей базується на відомих показниках потужності й середнього ефективного тиску та забезпечує можливість зіставлення ефективності їх протікання у різноманітних модифікаціях дизелів. **Результати.** Автором встановлено, що співвідношення між лінійною та об'ємною швидкостями характеризується деякими обмеженнями й залежить від геометричних розмірів циліндропоршневої групи. За рахунок зроблених припущень виявилось можливим розглядати роботу дизеля у вигляді системи, що включає в себе: 1) підсистему, яка забезпечує отримання теплової енергії; 2) підсистему, яка забезпечує перетворення теплової енергії; 3) підсистему, що забезпечує підтримання необхідної потужності дизеля, залежно від умов згоряння паливоповітряної суміші. **Наукова новизна.** Автором статті запропоновані показники об'ємної та лінійної швидкостей згоряння паливоповітряної суміші в циліндрі двигуна, які забезпечують можливість отримання зіставних характеристик у двигунах різноманітної модифікації із урахуванням можливого вибору оптимальних співвідношень. **Практична значимість.** Використання показників об'ємної та лінійної швидкостей протікання процесів згоряння в циліндрах двигунів у поєднанні з математичною моделлю дозволяє спростити методику розрахунку дизелів. Параметричні значення відзначених швидкостей у подальших дослідженнях забезпечать можливість визначення ефективних напрямів розвитку конструкції дизеля, а також оцінки режимів його навантаження у процесі експлуатації.

Ключові слова: дизель; паливоповітряна суміш; процеси згоряння; об'ємна швидкість згоряння; лінійна швидкість згоряння; система; підсистема; математична модель

V. P. LITVINENKO^{1*}

^{1*}Dep. «Ship's Power Plants Operation», Azov Maritime Institute of Odesa National Maritime Academy, Chernomorskaya St., 19, Mariupol, Ukraine, 87517, tel. +38 (0629) 37 11 16, e-mail jltinski@mail.ru, ORCID 0000-0002-7814-4157

FORMALIZATION OF DIESEL ENGINE OPERATION CONSIDERING THE EVALUATION OF VELOCITY DURING THE COMBUSTION PROCESSES

Purpose. Under modern conditions the applying methods and design models as well as the evaluation of the operational characteristics of diesel engines do not completely take into consideration the specifics of the combustion processes. In part, such situation is characterized by the complexity of considering of varied by its nature processes that haven't been completely investigated. In this context it is necessary to find the new methods and models which would provide relatively simple solutions through the use of integrated factors based on the analysis of parameters of diesel engines. **Methodology.** The proposed algorithms for the estimating of the combustion process in the form of volumetric and linear velocities is based on the well-known parameters of power and mean effective pressure and allows to compare the efficiency of their behavior in various versions of diesel engines. **Findings.** The author specified that the volumetric / linear velocity ratio is characterized by some strength and depends on the geometric di-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

mensions of the cylinder-piston group. Due to the assumptions it has become possible to consider the operation of a diesel engine as a system comprising: 1) the subsystem that provides the possibility of obtaining the thermal energy; 2) the subsystem providing the thermal energy transformation; 3) the subsystem that provides the necessary diesel engine power depending on terms of combustion of air-fuel mixture. **Originality.** The author of the paper proposed the indices of volumetric and linear combustion velocity of air-fuel mixture in the engine cylinder, that allow to obtain the comparative value in different modifications taking into account the possible choice of optimum ratio. **Practical value.** The usage of indices of volumetric and linear velocities of the combustion processes in the engine cylinder combined with a mathematical model will simplify the method of diesels calculating. Parametric indices of the mentioned velocities will provide the following effective researches in diesel engine design as well as the evaluation of their loading during the operation.

Keywords: diesel; fuel-air mixture; combustion processes; volumetric combustion velocity; linear combustion velocity; system; subsystem; mathematical model

REFERENCES

1. Berestovoy I.O., Litvinenko V.P. K metodu otsenki vzaimosvyazi vnutritsilindrovyykh protsessov s effektivnostyu raboty dvigateley vnutrennego sgoraniya [The method of assessing the relationship within the cylinder processes with the efficiency of internal combustion engines]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni V. Dalia* [Bulletin of East Ukrainian National University named V. Dahl], 2012, no. 6 (177), part 1, pp. 216-221.
2. Bodnar B.Ye., Ochkasov O.B., Chernyayev D.V. Vyznachennia metodu filtratsii syhnalu nerivnomirnosti chastoty obertannia kolinchastoho vala dyzela [Definition method signal filtering irregularity crankshaft speed of diesel]. *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. 113-118. doi: 10.15802/stp2013/9583.
3. Briling N.R., Vikhert M.M., Guterman I.I. *Bystrokhodnyye dizeli* [High-speed diesel engines]. Moscow, ONTI Publ., 1951. 521 p.
4. Vansheydt V.A., Ivanchenko N.N., Kolerov L.K. *Dizeli* [The diesel engines]. Leningrad, Mashinostroeniye Publ., 1977. 480 p.
5. Vibe I.I. *Novoye o rabochem tsikle dvigateley. Skorost sgoraniya i rabochiy tsikl dvigatelya* [New about the working cycle of engines. The speed of combustion and working cycle of the engine]. Moscow; Sverdlovsk, Mashgiz Publ., 1962. 270 p.
6. Gavrilov V.V. Modelirovaniye protsessa raspylivaniya topliva v sudovom dizele [The modeling of the atomization of fuel in marine diesel engine]. *Zhurnal universitetata vodnykh kommunikatsiy – Journal of Water Communications University*, 2009, issue 2, pp. 91-96.
7. Litvinenko V.P. O nekotorykh tendentsiyakh parametricheskikh sootnosheniy v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya [About some parametric trends of the ratios in internal combustion engines]. *Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Perspektyva rozvytku sudnoplavstva v Azovskomu mori (20.04.2012)»* [Materials of the Intern. Sci. and Practical Conf. «The Prospect of the Development of Navigation in the Azov sea» (20.04.2012)]. Mariupol, 2012, pp. 122-133.
8. Litvinenko V.P., Kryuchkova Ye.N. Osobennosti issledovaniya geometricheskikh kharakteristik tsilindroporshnevoy gruppy dvigateley s uchetom usloviy zarozhdeniya i gibeli tsepnykh reaktsiy [Features of the study of geometric characteristics of cylinder piston engine, taking into account the conditions of the birth and death of chain reactions]. *Materialy naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Sudovi enerhetychni ustanovky: Ekspluatatsiia ta remont»* [Materials of the Sci. and Technical Conf. «Ship power plants : Operation and maintenance»]. Odesa, 2012, pp. 47-49.
9. Bodnar B.Ye., Ochkasov O.B., Cherniaiev D.V., Detsiura O.Ya. Metody nerozbirmoho diahnostuvannia dyzeliv pry ekspluatatsii rukhomoho skladu [Methods of nonseparable diagnostics of diesel engines in operation of 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], 2012, issue 41, pp. 56-60.
10. Rozhanskiy G.S. *Sudovyye dvigateli vnutrennego sgoraniya* [Marine internal combustion engines]. Leningrad, Sudostroyeniye Publ., 1989. 423 p.
11. Somov V.A., Ishchuk Yu.G. *Sudovyye mnogotoplivnyye dvigateli* [Multi-fuel marine engines]. Leningrad, Sudostroyeniye Publ., 1984. 240 p.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

12. Bordet N., Caillol C., Higelin P., Talon V. A Physics and Tabulated Chemistry Based Compression Ignition Combustion Model: from Chemistry Limited to Mixing Limited Combustion Modes. *Oil & Gas Science and Technology: Rev. IFP Energies nouvelles*, 2011, vol. 66, no. 5, pp. 823-843. doi: 10.2516/ogst/2011138.
13. Berestovoy I., Aynagoz G., Berestovoy M. Diesel operation efficiency improvement based on modeling of fuel carburetion process. *ТЕКА. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 2013, vol. 13, no. 3, pp. 9-14.
14. Varbanets R., Karianskiy A. Analyse of marine diesel engine performance. *Journal of Polish CIMAC. Energetic Aspects*, 2012, vol. 7, no. 1, pp. 269-275.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. А. М. Берестовым (Украина); д.т.н., проф. В. А. Габринцом (Украина)

Поступила в редколлегию: 02.07.2015

Принята к печати: 10.10.2015

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

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ ПРИ ДЕФОРМАТИВНІЙ РОБОТІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

Мета. Наукова робота має за мету визначення основних закономірностей процесу розповсюдження коливань від збуджень рухомого складу в системі конструкцій верхньої та нижньої будов 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 теорій пружності та розповсюдження хвильового процесу при описі взаємодії колії та рухомого складу. **Результати.** Встановлено, які види коливань та яку систему необхідно використовувати при розгляді процесу коливань при деформативній роботі залізничної колії. Визначено загальний вид функції переміщень. **Наукова новизна.** Обґрунтовано теоретичні положення та принципи розгляду коливань системи конструкцій верхньої та нижньої будов колії, що збуджуються рухомим складом. Це дозволить дослідити процес деформативної роботи зазначеної системи, при якому відбуваються зміни її станів протягом деякого напрацювання, що, в свою чергу, дозволить визначити параметри функціональної надійності руху поїздів як складової безпеки пропуску рухомого складу по ділянці колії із урахуванням її технічного стану. **Практична значимість.** Зазвичай для безпечного пропуску рухомого складу визначаються параметри процесу коливань системи «екіпаж – колія». Існуючі моделі або дуже ретельно розглядають коливання рухомого складу при узагальнених характеристиках системи конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії, або розглядають квазідинамічні коливання рейок при загальних характеристиках підрейкової основи. Такий розгляд процесу коливань, що збуджуються рухомим складом та передаються на всі елементи систем конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії, не дає можливості визначення ані параметрів надійності елементів систем конструкцій колії, ані параметрів функціональної надійності руху поїздів (як складової безпеки пропуску рухомого складу по ділянці колії із урахуванням її технічного стану). Тому для розглядання питань із надійної роботи елементів системи конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії запропоновано основні засади розглядання процесу її деформативної роботи. Це дасть можливість розглядати безпосередньо динамічний процес, локалізований як у часі, так і в просторі.

Ключові слова: моделювання; тверде тіло; суцільне середовище; деформативна робота; вимушені коливання; вільні коливання; хвильове розповсюдження; частота коливань; надійність колії; дисипативність

Вступ

Колівальним рухом або просто коливаннями називають будь-який рух або зміну стану, що характеризується повторюваністю в часі значень фізичних величин, які визначають цей рух або стан.

Оскільки тіла є не «абсолютно твердими», то будь-який вплив на них передається не миттєво в усі точки, а за законами фізики з певною швидкістю, тобто відповідно певному процесу розповсюдження коливань.

Деформативна робота елементів конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

є роботою, виконаною при коливанні системи тіл, складених з середовищ із певними характеристиками.

Питання вивчення динаміки системи тіл зводиться до питання вивчення розповсюдження коливань в певних контактуючих обмежених середовищах.

З процесом розповсюдження коливань зустрічаються при вивченні дуже різних явищ: звук, світло, змінний струм, хитання маятника, сейсмічні хвилі та інші. Всі перелічені явища різні, але існує спільність закономірностей цих явищ та математичних методів їх дослідження [9, 12, 13].

При вивченні коливань системи «екіпаж-колія» сформовано два напрями досліджень: вивчення коливань рухомого складу та вивчення коливань колії. Обидва напрями вивчають коливання дослідного об'єкту за умови, що партнер по взаємодії задається певним збуджуючим коливанням. Обидва напрями не враховують відклик партнера від взаємодії.

Дослідження коливань з конструкцій верхньої та нижньої будови колії зводяться до вивчення коливань рейки при певних впливах рухомого складу та певних характеристиках підрейкової, а іноді підшпальної, основи. Результатами таких досліджень є напружено-деформований стан, що характеризує міцність та витривалість.

Колівання рухомого складу вивчаються ширше. Але при їх дослідженні коливання системи конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії представляють як набір збуджуючих коливань. Функції, що описують ці коливання, навіть не мають чіткої залежності від характеристик елементів системи конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії.

Експериментальні дослідження зводяться до визначення станів рухомого складу та колії в конкретних перетинах [10] та відповідності цих станів нормативам. Вивчення взаємодії рухомого складу та колії за допомогою тензометричних пар не набуло розвитку з причин необхідності розробки нових підходів, методів і параметрів оцінки цього процесу та відсутності задач, що спонукають для розробки нових впроваджень. У той же час сучасні методи зйомки просторової геометрії колії [14] дозволяють отримувати всі дані стосовно розташуван-

ня колії, але вони не використовуються для наукових досліджень.

У всіх виданнях, що присвячені коливанням системи «екіпаж-колія», зазначено, що коливання рухомого складу приносять багато збитків. Вони призводять до розладів колії, порушують плавність ходу, іноді можуть призвести до сходу екіпажу з рейок. Коливання екіпажу зумовлюються багатьма причинами: нерівностями колії; нерівнопружністю рейкових опор; режимом тяги та її силою; нерівностями на колесах рухомого складу.

Види та розмах коливань рухомого складу, їх наростання або згасання залежать як від конструктивних особливостей рухомого складу, так і систем конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії. При цьому досі досліджуються нерівності рейок, як першопричини цих коливань, але з точки зору появи нерівностей як абразивного, так і адгезивного зносу рейок.

Вважається, що резонансні явища в рейці між суміжними колесами візків при динамічній взаємодії ходових частин з верхньою будовою колії виникають завжди, але вони є лише необхідною, але не достатньою умовою утворення та подальшого розвитку хвилеподібних нерівностей при експлуатації. Достатньою умовою для утворення хвилеподібних нерівностей рейок є експлуатація на ділянці колії однотипного рухомого складу у вузькому діапазоні швидкостей руху, що включає резонансні швидкості руху [1]. Навіть методи боротьби з цим явищем пропонують за рахунок застосування розрахункових інтервалів оптимальних швидкостей руху, при яких відсутні резонансні швидкості. Оскільки вважається, що наявність резонансних швидкостей руху є основною умовою утворення хвилеподібних нерівностей при динамічній взаємодії рухомого складу і колії [1]. При цьому не дається обґрунтування, чому такі заходи по зміні експлуатаційних умов системи конструкції верхньої та нижньої будов залізничної колії не призведуть до зміни характеристик у зазначеній системі і до тих же проблем, з якими проводилась боротьба.

Тому необхідно провести дослідження процесу розповсюдження коливань при деформативній роботі систем конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії. Існує декілька основних теоретичних моделей для досліджен-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

ня зазначених проблем: балка на півпросторі, балка на двошаровій основі, конструкція колії за канонами методу кінцевих або граничних елементів. Але ці методи не дозволяють отримати дані щодо експлуатаційної надійності колії, тому пропонується інший підхід при дослідженні роботи колії.

Мета

Метою дослідження є визначення основних закономірностей процесу розповсюдження коливань від збуджень рухомого складу у системі конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії для дослідження розвитку процесів деформативності як основи створення нормативної бази роботи колії за умов забезпечення надійності залізниць.

Методика

В теоретичній механіці розглядають механічні коливання, які дуже різноманітні за своєю природою. Розрізняють вільні, вимушені, параметричні коливання, автоколивання та різні випадки змішаних коливань.

Коливання, що виникають в системі, не підданій дії змінних зовнішніх сил, в результаті будь-якого початкового відхилення цієї системи від стану стійкої рівноваги, називають вільними. Вільні коливання зумовлені дією сил відновлення: пружних сил, що пропорційні зміщенню та направлені до положення рівноваги. Енергію в таку систему було вкладено один раз, під час тимчасового зовнішнього збурення.

Вимушені коливання, коливання, що виникають в будь-якій системі під дією змінної зовнішньої сили. Енергія в систему поступає через зовнішню силу.

Параметричні коливання – це особливий тип вимушених коливань, відрізняється тим, що зовнішня сила періодично замінює який-небудь фізичний параметр системи (наприклад, масу маятника, довжину його підвісу, таке інше). Енергія поступає до системи через зовнішню силу, але залежно від фазових співвідношень зовнішня сила або виконує додатну роботу, тоді амплітуда коливань зростає, або від’ємну – тоді амплітуда зменшується.

Автоколивання – це нелінійний квазіперіодичний рух, що виникає у системі внаслідок самозбудження, за умов відсутності зовнішньої

сили. Характер автоколивання визначається структурою коливальної системи та побудовою внутрішнього джерела та системи зворотного зв’язку. Ці коливання не загасають з часом, хоч у системі є суттєві втрати енергії, які компенсуються тим, що до системи порціями надходить енергія від внутрішнього джерела, яке є частиною системи. Автоколивання самі регулюють періодичність надходження та кількість енергії, яка компенсує втрати через дисипативні процеси.

Якщо при коливаннях не відбувається розсіювання енергії, то система має назву консервативна та коливання мають незгасаючий характер. Якщо ж при коливаннях відбувається розсіювання енергії, то система неконсервативна. Неконсервативні системи поділяються на дисипативні системи, в яких повна енергія з часом зменшується, та автоколивальні системи, в яких енергія надходить до системи від внутрішнього джерела. Для розгляду реальних фізичних систем застосовують неконсервативні системи. Якщо розглядати коливання системи конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії, то необхідно розглядати неконсервативну дисипативну систему, де мають місце вільні та вимушені коливання.

Результати

В зоні контакту колеса з рейкою виникають сили F , що передаються як рухомому складу, так і системі конструкцій верхньої та нижньої будов колії. За третім законом Ньютона значення їх однакові, але напрям протилежний. Таким чином, якщо обидва учасники контакту (рухомий склад і система з конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної безстиківної колії) були б ідеальними та твердими, то не було б коливань ані рухомого складу, ані самої системи. Тільки наявність сил інерції (що виникають внаслідок недоскональності системи з конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії, коліс та коливання необресорених мас) є джерелом коливань і рухомого складу, і системи з конструкцій. Це відбувається внаслідок зміни контактуючих сил, що стають залежними від сил інерції та через це мають змінні значення. У зв’язку з цим пружні прогини системи з конструкцій s від впливу коліс рухомого складу є змінними. Таким чином іс-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

нують швидкість та прискорення переміщень системи з конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії.

Зазвичай в практичних розрахунках вважають, що сила інерції пов'язана з коливаннями необресореної маси колеса m_k та коливань маси системи з конструкцій $m_{зк}$, які пропорційні між собою та сконцентровані в точці контакту:

$$m_{зк} = \alpha_{зк} m_k.$$

Значення коефіцієнта пропорційності $\alpha_{зк}$ рекомендують приймати для колії з дерев'яними шпалами $\alpha_{зк} = 1,31$, для колії з залізобетонними шпалами – $\alpha_{зк} = 1,48$ [4]. Значення мас колії з дерев'яними шпалами $m_{зк} = 1,52$ кНс²/м [5].

Виникаючу силу інерції визначають як:

$$P_{ин} = (1 + \alpha_{зк}) m_k \ddot{s}.$$

Крім вказаних сил інерції, в системі конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії діють сили опору. Вони в свою чергу поділяються на пружні, що мають назву сили відновлення

$$F_T = ks,$$

де k – жорсткість; а дисипативні, до яких відносяться:

– сили тертя, що залежать тільки від характеристик контактуючих поверхонь

$$F_{TP} = fV,$$

де f – коефіцієнт тертя; $V = ds/dt$ – швидкість переміщення;

– сили в'язкого тертя

$$F_{TP} = bV$$

де b – коефіцієнт опору середовища.

Загальне рівняння руху має вигляд:

$$F - ks - b \frac{ds}{dt} - f \frac{ds}{dt} = m \frac{d^2s}{dt^2} \quad (1)$$

$$F = F_A \sin \omega t,$$

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, контактна площа взаємодії колеса та рейки передає весь цикл впливу на колію: тиск з'являється, поступово збільшується до максимального та згасає.

Основною перевагою застосування теорії розповсюдження коливань порівняно з існуючими теоріями є наявність чіткого значення мас m , що задіяні в процесі деформування на кожний момент часу.

Під час розв'язання рівняння (1) застосовано метод спеціальної правої частини та метод невизначених коефіцієнтів, за якими отримано залежність прогинів:

$$s = A e^{-\frac{bt}{2m}} \sin \left(t \sqrt{\omega_0^2 - \frac{b}{2m}} + \alpha \right) + B \sin(\omega t + \beta), \quad (2)$$

де ω_0 – власна частота системи конструкцій верхньої та нижньої будов, на певний момент часу; A , B – амплітуди внутрішніх власних та вимушених коливань відповідно; α , β – фази відповідності зовнішніх та внутрішніх власних та вимушених коливань відповідно.

Таким чином, власні коливання є затухаючими. А коливання, що встановилися, є синусоїдальні. І як зазначено у [2, 3], вони є сферичними хвилями.

Враховуючи особливості контакту колеса з рейкою, а саме нерівномірність розташування напружень, для формування коректних умов навантаження [2, 3], що адекватно описують реальні умови, було вивчено діючі стандарти та сучасні дослідження [6–8, 11, 15]. Тому площа контакту розбивається спочатку на полоси, які в свою чергу розділено на ділянки. На кожну ділянку прикладається сила, що адекватно описує зміну напружень за час контакту. Таким чином, на поверхні катання рейки задаються навантаження від рухомого складу в кожний момент часу. Та за рівнянням (1) із застосуванням залежності переміщень (2) та принципу суперпозиції визначаються параметри деформативності. Площі контактів та навантаження на них для інших елементів формуються процесом розповсюдження хвиль, але підхід опису розповсюдження залишається таким же. Крім опису вільних та вимушених збуджуючих коливань, процес розповсюдження включає той же підхід для опису відображених коливань.

Наукова новизна та практична значимість

Обґрунтовано теоретичні положення і принципи для розгляду коливань системи конструкцій верхньої та нижньої будов колії, що збуджуються рухомим складом, які дозволять дослідити процес деформативної роботи зазначеної системи, при якому відбуваються зміни її станів протягом деякого напрацювання, що в свою чергу дозволить визначити параметри функціональної надійності руху поїздів, як складової безпеки пропуску рухомого складу по ділянці колії з урахуванням її технічного стану.

Зазвичай для безпечного пропуску рухомого складу визначаються параметри процесу коливань системи «екіпаж – колія». Існуючі моделі або дуже ретельно розглядають коливання рухомого складу при узагальнених характеристиках системи конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії, або розглядають квазідинамічні коливання рейок при загальних характеристиках підрейкової основи. Такий розгляд процесу коливань, що збуджується рухомим складом та передається на всі елементи систем конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії, не є можливості визначення ані параметрів надійності елементів системи конструкцій колії, ані параметрів функціональної надійності руху поїздів, як складової безпеки пропуску рухомого складу по ділянці колії з урахуванням її технічного складу. Тому для розгляду питань з надійної роботи елементів системи конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії запропоновано основні засади розглядання процесу її деформативної роботи, що дають можливість розглядати безпосередньо динамічний процес локалізований як в часі, так і в просторі.

Висновки

Обізнаність в процесах взаємодії колії та рухомого складу призводить до розглядання нових задач. Одним з нових аспектів цього процесу є розв'язання задач надійності колії. Складовою надійності колії є функціональна безпека колії. Таким чином, напрямок досліджень є актуальним, але таким, що потребує нового підходу при вирішенні поставленої проблеми і не може застосовувати існуючі моделі для її вирішення.

При дослідженні процесу деформативності в елементах системи конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії необхідне точне визначення цього процесу як в часі, так і в просторі. Таким чином необхідне правильно описати процес розповсюдження збуджень від рухомого складу, що протікає в зазначених елементах. Основні теоретичні положення і принципи щодо опису особливостей деформативної роботи елементів системи конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії полягають у такому:

- питання вивчення динаміки суцільних тіл – це питання вивчення розповсюдження коливань в певних контактуючих обмежених середовищах;
- деформативна робота елементів системи конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії є роботою, що виконується при коливанні суцільної системи;
- елементи системи конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії є системою суцільних тіл, що володіють властивістю дисипації;
- передача збуджень рухомого складу елементам системи конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії передається за рахунок розповсюдження вільних та вимушених коливань;
- при будь-яких початкових умовах рух точки протягом часу буде складатись тільки з вимушених коливань. Початкові умови виводяться разом з вільними коливаннями, які поступово затухають;
- не звертаючи уваги на наявність опору руху, вимушені коливання є гармонічними та відбуваються з частотою вимушених коливань, тобто частотою зовнішньої сили.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алижан, А. Влияние динамических процессов в системе колесо-рельс на образование волнообразных неровностей на поверхности катания рельсов : автореф. дис.... канд. техн. наук : 05.22.07 / Алижан Алмас ; Мос. гос. ун-т путей сообщения. – Москва, 2010. – 24 с.
2. Бондаренко, І. О. Особливості дослідження процесу деформативної роботи елементів залізничної колії / І. О. Бондаренко // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

- заліз. трансп. – 2015. – № 4 (58). – С. 87–98. doi: 10.15802/stp2015/49212.
3. Бондаренко, І. О. Стосовно питань моделювання життєвого циклу деформативної роботи елементів залізничної колії / І. О. Бондаренко // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2015. – № 1 (55). – С. 78–89. doi: 10.15802/stp2015/38247.
 4. Вериго, М. Ф. Общие положения для корректировки правил расчетов железнодорожного пути на прочность и предложения по изменению этих правил / М. Ф. Вериго, С. С. Крепкогорский // Тр. ЦНИИ МПС. – Москва, 1972. – Вып. 97. – С. 4–50.
 5. Гасанов, А. М. О приведенной массе пути / А. М. Гасанов // Вестн. ЦНИИ МПС. – 1968. – № 6. – С. 52–54.
 6. Исследование напряжений в контакте колесо-рельс // Ж.-д. мира. – 2011. – № 1. – С. 54–58.
 7. Конечно-элементное моделирование и исследование эволюции контактных напряжений при страгивании железнодорожного колеса / И. Д. Арсеньев, А. И. Боровков, Д. Ю. Сараев, Д. В. Шевченко // Вестн. Перм. нац. исслед. политех. ун-та. Механика. – Пермь, 2011. – Вып. 2. – С. 5–13.
 8. Соотношения между сопротивлениями качению и скольжению при движении локомотива по кривым и при извилистом движении колесной пары / Н. П. Довбня, Л. М. Бондаренко, Д. В. Бобырь, Р. А. Кореньюк // Проблемы трибологии. – 2013. – № 1. – С. 43–46.
 9. Advancements in Noise and Vibration Abatement to Support the Noise Reduction Strategy of Deutsche Bahn / B. Schulte-Werning, B. Assen, W. Behr [et al.] // Proc. of the 10th Intern. Workshop on Railway Noise. – Nagahama, Japan, 2010. – P. 9–16.
 10. Field monitoring on the train-induced vibration response of track structure in the Beiluhe permafrost region along Qinghai–Tibet railway in China / X.-Zh. Ling, Sh.-J. Chen, Zh.-Y. Zhu [et al.] // Cold Regions Science and Technology. – 2010. – Vol. 60. – Iss. 1. – P. 75–83. doi: 10.1016/j.coldregions.2009.08.005.
 11. Kik, W. A fast Approximate Method to Calculate Normal Load at Contact between Wheel and Rail and Creep Forces During Rolling / W. Kik, J. Piotrowski // Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems : Proc. of 2nd Mini Conf. (29.07–31.07.1996) / Techn. Univ. of Budapest. – Budapest, 1996. – P. 52–61.
 12. Lakušić, S. Rail traffic noise and vibration mitigation measures in urban areas / S. Lakušić, M. Ahac // Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette. – 2012. – № 19 (2). – P. 427–435.
 13. Planning and Controlling Railway Noise in a Metropolis: Our Practical Experience / B. Lee, W. Chau, J. Lam, M. Yeung // Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design. – 2012. – Vol. 118. – P. 17–23. doi: 10.1007/978-4-431-53927-8_3.
 14. Rail and Contact Line Inspection Technology for Safe and Reliable Railway Traffic / T. Hisa, M. Kanaya, M. Sakai, K. Hamaoka // Hitachi Review. – 2012. – Vol. 61, № 7. – P. 325–330.
 15. Srolarski, T. A. Rolling contacts / T. A. Srolarski, S. Tobe. – London : John Wiley & Sons, Ltd, 2000. – 445 p. doi: 10.1002/9781118903001.

И. А. БОНДАРЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 42, эл. почта irina_bondarenko@ua.fm, ORCID 0000-0003-4717-30

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ДЕФОРМАТИВНОЙ РАБОТЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Цель. Научная работа своей целью имеет определение основных закономерностей процесса распространения колебаний от возбуждений подвижного состава в системе конструкций верхнего и нижнего строений железнодорожных путей для исследования развития процессов деформативности как основы создания нормативной базы работы пути в условиях обеспечения надежности железных дорог. **Методика.** Для достижения цели использованы принципы теории упругости и распространения волнового процесса при описании взаимодействия пути и подвижного состава. **Результаты** Установлено, какие виды колебаний и какую систему необходимо использовать при рассмотрении процесса колебаний при деформационной работе железнодорожного пути. Определен общий вид функции перемещений. **Научная новизна.** Обоснованы теоретические положения и принципы рассмотрения колебаний системы конструкций верхнего и нижнего строений пути, возбуждаемых подвижным составом. Это позволит исследовать процесс деформативной работы

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

указанной системы, при котором происходят изменения ее состояний в течение некоторой наработки, что, в свою очередь, позволит определить параметры функциональной надежности движения поездов как составляющей безопасности пропуска подвижного состава по участку пути с учетом его технического состояния.

Практическая значимость. Обычно для безопасного пропуска подвижного состава определяются параметры процесса колебаний системы «экипаж – путь». Существующие модели или очень тщательно рассматривают колебания подвижного состава при обобщенных характеристиках системы конструкций верхнего и нижнего строений железнодорожных путей, или рассматривают квазидинамические колебания рельсов при общих характеристиках подрельсовой основы. Такое рассмотрение процесса колебаний, возбуждаемых подвижным составом и передающимся на все элементы систем конструкций верхнего и нижнего строений железнодорожных путей, не дает возможности определения ни параметров надежности элементов систем конструкций пути, ни параметров функциональной надежности движения поездов (как составляющей безопасности пропуска подвижного состава по участку пути с учетом его технического состояния). Поэтому для рассмотрения вопросов надежной работы элементов систем конструкций верхнего и нижнего строений железнодорожных путей предложены основные принципы рассмотрения процесса ее деформативной работы. Это дает возможность рассматривать непосредственно динамический процесс, локализованный как во времени, так и в пространстве.

Ключевые слова: моделирование; твердое тело; сплошная среда; деформативная работа; вынужденные колебания; свободные колебания; волновое распространение; частота колебаний; надежность пути; диссипативность

I. O. BONDARENKO^{1*}

^{1*}Dep. «Track and Track Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 373 15 42, e-mail irina_bondarenko@ua.fm, ORCID 0000-0003-4717-30

PROCESS FEATURES OF FLUCTUATIONS PROPAGATION AT STRESS-STRAIN WORK OF THE RAILWAY TRACK

Purpose. Scientific work aims at the determination the basic laws of fluctuations propagation process from exitation of rolling stock in the design system of permanent way and substructures of the railway lines for studing the deformation processes as the basis for a regulatory framework of the track operation in the conditions of ensuring the reliability of railways. **Methodology.** To achieve the aim the principles of elasticity theories and wave propagation process in describing the interaction track and rolling stock were applied. **Findings.** The kinds of fluctuations and system which should be used when considering the fluctuations in the deformation process of rail track were established. The general view of the displacement function was determined. **Originality.** The theoretical concepts and principles to consider fluctuations of a structures system of permanent way and substructures of the railway track, energised by rolling stock were grounded. This will allow studing the process of deformation work of the mentioned system, which changes its state. That in turn will allow us to determine the parameters of the trains functional reliability, as part of the security passes of rolling stock on the track section with regard to its technical condition. **Practical value.** Usually for safe crossing of rolling stock parameters of fluctuation process in the system «vehicle-track» are determined. Existing models or carefully consider fluctuations of rolling stock in generalized characteristics of the structures of permanent way and substructures of the railway tracks or view of quasi-dynamic fluctuations rails with general characteristics of under rail base. This review process of oscillations, energised by rolling stock and delivered to all the elements of the permanent way and substructures of the railway track do not allow determining both the reliability parameters of elements in the system of track construction and parameters of functional reliability of trains as part of security checkpoints in the area of rolling stock gauge because of its technical state. Therefore, for examining issues of reliable performance elements of the permanent way and substructures of the railway track are proposed its stress-strain work. It gives the possibility to consider a dynamic process, localized both in time and space.

Keywords: modeling; solid; solid medium stress-strain work; forced fluctuations; free fluctuations; wave propagation; fluctuations frequency; reliability of a track; dissipativity

REFERENCES

1. Alizhan A. *Vliyaniye dinamicheskikh protsessov v sisteme koleso-rels na obrazovaniye volnoobraznykh nerovnostey na poverkhnosti kataniya relsov*. Avtoreferat Diss. [Influence of dynamic processes in the wheel-rail system to formation of undulations on the surface of riding the rails. Author's abstract]. Moscow, 2010. 24 p.
2. Bondarenko I.O. Osoblyvosti doslidzhennia protsesu deformatyvnoi roboty elementiv zaliznychnoi kolii [Features of the research work elements deformability of railway track]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2015, no. 4 (58), pp. 87-98. doi: 10.15802/stp2015/49212.
3. Bondarenko I.O. Stosovno pytan modeliuvannia zhyttievoho tsykladu deformatyvnoi roboty elementiv zaliznychnoi kolii [To the modeling issues of life cycle of deformation work of the railway track elements]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2015, no. 1 (55), pp. 78-89. doi: 10.15802/stp2015/38247.
4. Verigo M.F., Krepkogorskiy S.S. Obschchiye polozheniya dlya korrektyrovki pravil raschetov zheleznodorozhnogo puti na prochnost i predlozheniya po izmeneniyu etikh pravil [General provisions for adjusting the rules for calculating the strength of the railway track and proposals to change the rules]. *Trudy Tsentralnogo nauchno issledovatel'skogo instituta tochnogo mashinostroeniya. Ministerstvo putey i soobshcheniya* [Proc. of the Central Scientific Research Institute of Precision Engineering. The Ministry of Transport and Communications], 1972, issue 97, pp. 4-50.
5. Gasanov A.M. O privedennoy masse puti [About the reduced mass of the way]. *Vestnik Tsentralnogo nauchno issledovatel'skogo instituta tochnogo mashinostroyeniya. Ministerstvo putey i soobshcheniya* [Bulletin of the Central Scientific Research Institute of Precision Engineering. The Ministry of Transport and Communications], 1968, no. 6, pp. 52-54.
6. Issledovaniye napryazheniy v kontakte koleso-rels [The study of stresses in the contact wheel-rail]. *Zheleznyye dorogi mira – Railways of the World*, 2011, no. 1, pp. 54-58.
7. Arsenev I.D., Borovkov A.I., Sarayev D.Yu., Shevchenko D.V. Konechno-elementnoye modelirovaniye i issledovaniye evolyutsii kontaknykh napryazheniy pri stragivanii zheleznodorozhnogo kolesa [Finite element modeling and study of the evolution of the contact stresses in the breakaway railway wheel]. *Vestnik Permskogo natsionalno issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mekhanika* [Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Mechanics], 2011, issue 2, pp. 5-13.
8. Dovbnya N.P., Bondarenko L.M., Bobyr D.V., Korenyuk R.A. Sootnosheniya mezhdru soprotivleniyami kacheniyu i skolzheniyu pri dvizhenii lokomotiva po krivym i pri izvilistom dvizhenii kolesnoy pary [The ratio between the rolling resistance and slip during motion of the locomotive on curves and twisting motion of the wheelset]. *Problemy trybolohii – Problems of Tribology*, 2013, no. 1, pp. 43-46.
9. Schulte-Werning B., Asmussen B., Behr W., Degen K.G., Garburg R. Advancements in Noise and Vibration Abatement to Support the Noise Reduction Strategy of Deutsche Bahn. Proc. of the 10th Intern. Workshop on Railway Noise, Nagahama, Japan, 2010, pp. 9-16.
10. Ling X.Zh., Chen S.-J., Zhu Zh.-Y., Zhang F. Field monitoring on the train-induced vibration response of track structure in the Beiluhe permafrost region along Qinghai–Tibet railway in China. *Cold Regions Science and Technology*, 2010, vol. 60, issue 1, pp. 75-83. doi: 10.1016/j.coldregions.2009.08.005.
11. Kik W., Piotrowski J. A Fast Approximate Method to Calculate Normal Load at Contact between Wheel and Rail and Creep Forces During Rolling. Proc. of 2nd Mini Conf. Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems (29.07–31.07.1996). Budapest, 1996, pp. 52-61.
12. Lakušić S., Ahac M. Rail traffic noise and vibration mitigation measures in urban areas. *Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette*, 2012, no. 19 (2), pp. 427-435.
13. Lee B., Chau W., Lam J., Yeung M. Planning and Controlling Railway Noise in a Metropolis: Our Practical Experience. *Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design*, 2012, vol. 118, pp. 17-23. doi: 10.1007/978-4-431-53927-8_3.
14. Hisa T., Kanaya M., Sakai M., Hamaoka K. Rail and Contact Line Inspection Technology for Safe and Reliable Railway Traffic. *Hitachi Review*, 2012, vol. 61, no. 7, pp. 325-330.
15. Srolarski T.A., Tobe S. Rolling contacts. London, John Wiley & Sons, Ltd. Publ., 2000. 445 p. doi: 10.1002/9781118903001.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

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

Поступила в редколлегию 13.08.2015

Принята к печати 01.10. 2015

УДК 625.161.6:625.1.033

М. Б. КУРГАН¹, Д. М. КУРГАН^{2*}, О. Ф. ЛУЖИЦЬКИЙ³

¹Каф. «Проектування і будівництво доріг», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 48, ел. пошта kunibor@mail.ru, ORCID 0000-0002-8182-7709

^{2*}Каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, ел. пошта kurgan@brailsys.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

³Каф. «Проектування і будівництво доріг», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 48, ел. пошта oleg-luzhickii@ukr.net, ORCID 0000-0001-6519-7447

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕРІВНОСТЕЙ КОЛІЇ В МЕЖАХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕЇЗДІВ

Мета. Перетин автомобільних доріг із залізницею в одному рівні – залізничний переїзд – є зоною підвищеної небезпеки для залізничного та автомобільного транспорту. Майже половина всіх переїздів розташовані на маршрутах основних пасажирських перевезень. Звідси виникає проблема утримання й обслуговування місць перетину залізниці та автодороги. Метою даної роботи є оцінка процесів виникнення та розвитку нерівностей колії у зоні переїзду й виявлення факторів, що їх спричиняють. **Методика.** Наявність відступів у плані й профілі в межах залізничного переїзду та на підходах до нього знижують плавність їзди і комфорт пасажирів. На сьогодні існують різні можливості для зйомки натурної геометрії залізничної колії. Для проведення досліджень значної кількості ділянок за тривалий термін експлуатації найбільш зручним, перш за все, враховуючи регулярність заїздів, залишається стрічка колієвимірювального вагону. Однак цей засіб спрямовано для оцінки стану залізничної колії, а не для визначення точного геометричного положення. Так, при спробі визначити за колієвимірювальною стрічкою дійсні обриси нерівностей колії виникає низка складностей. **Результати.** Проведений статистичний аналіз показав стійку тенденцію накопичення нерівностей колії у зоні розташування переїзду. Як правило, рівень нерівностей у вертикальній площині зростає в 1,3–3,2 рази, та в 1,2–2,0 рази – в горизонтальній площині (у порівнянні з ділянками за межами переїзду). Під час прогину колії від дії рухомого складу в зоні переїзду залізобетонні плити працюють як ребра жорсткості, обмежуючи прогини рейкошпальної решітки. При розташуванні коліс візка до (або після) і в межах переїзду розрахункові модулі пружності підрейкової основи, приведені до точки контакту колеса, можуть відрізнятися до 3 разів. **Наукова новизна.** Набули подальший розвиток питання оцінки та дослідження розвитку нерівностей колії. Отримано статистичні дані щодо накопичення нерівностей колії у зоні переїзду. Надано аналітичні обґрунтування зміни характеристик напружено-деформаційної роботи колії в місці укладання переїзду. **Практична значимість.** Отримані результати будуть корисні для проведення заходів щодо поліпшення плавності руху поїздів і підвищення рівня комфортабельності їзди.

Ключові слова: залізничний переїзд; верхня будова колії; нерівності колії; розрахунок колії на міцність; деформації колії; допустимі швидкості руху

Вступ

Нещодавно Україна підписала угоду про асоційоване членство України в Європейському Союзі (ЄС) [14]. Співробітництво між Україною та Європою має на меті сприяння реструктуризації, оновленню транспортного сектору України та входження його в європейську мережу залізниць, поступову гармонізацію чинних стандартів та політики до прийнятих у ЄС. Основним нормативним документом залізниць

Країн-членів є технічна специфікація інтероперабельності. Цей документ передбачає взаємодію між залізницями ЄС та встановлює жорсткі вимоги безпеки руху.

На сьогодні однією з умов розвитку економіки держави є підвищення ефективності функціонування транспортної системи. Першим кроком щодо підвищення якості транспортних послуг було введення прискореного руху поїздів на ділянках від Києва до Харкова, Донецька, Львова, а з 2014 року – на напрямках Київ – Одеса, Київ – Тернопіль, Дарниця – Трускавець

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

[4]. Разом з підвищенням швидкості руху поїздів виникла й інша проблема, пов'язана з обслуговуванням місць перетину залізничних і автомобільних транспортних потоків.

Перетин автомобільних доріг із залізницею в одному рівні – залізничний переїзд – є зоною підвищеної небезпеки для залізничного та автомобільного транспорту. Майже половина всіх переїздів розташовані на маршрутах основних пасажирських перевезень. Звідси виникає проблема утримання й обслуговування місць перетину залізниці і автодороги.

Відомо, що при реконструкції залізниці для впровадження швидкісного руху поїздів виконуються роботи з виправки колії в профілі і в плані. Якщо на ділянках між переїздами корегування плану виконується у межах основної площадки земляного полотна, то в зоні переїзду такі зсуви виконати складно, а тому часто перед і за переїзним настилом утворюються нерівності в плані, що призводить до зниження комфортабельності їзди. Іншою проблемою є додаткове навантаження на колію від автомобільного транспорту в зоні переїзду. У зв'язку з чим виникають ще й вертикальні нерівності. Якщо вони і не створюють небезпеки для руху поїздів, то впливають на плавність руху і знижують рівень комфортабельності їзди. Такі нерівності виявляються під час аналізу колієвимірвальних стрічок після проходження колієвимірвального вагона.

Мета

Метою цієї роботи є аналіз процесів виникнення і розвитку нерівностей в зоні переїзду та виявлення факторів, що їх спричиняють. А також розробка методики оцінювання характеру нерівностей в плані і профілі в зоні залізничного переїзду.

Методика

Під час здійснення модернізації колії повинні виконуватись такі роботи, як виправлення з постановкою колії у проектне положення в профілі, виправлення кривих в плані з відновленням проектних радіусів, ремонт або перевлаштування переїздів [9]. Але за різних причин, перш за все фінансових, вищезазначені роботи не виконуються в повному обсязі, що впливає на плавність руху поїздів і не дозволяє

забезпечити якісний комфорт пасажиром. Запропоноване дослідження надає можливість порівнювати і оцінювати характер нерівностей в плані і профілі в зоні залізничного переїзду.

Аналіз проектів капітальних ремонтів і модернізації колії, а також натурні обслідування показали, що на підходах в зоні розташування переїздів виникають нерівності в плані, так звані «злами», які в деяких проектах не показують із-за відсутності відповідної нормативної бази. В той же час «злами», або кутове з'єднання прямих ділянок колії дозволяються на більшості залізниць світу. Наприклад, в Бельгії прийнято показувати «злами» з кутом до 2'4", в Німеччині – до 5'24". При куту повороту більше вказаних значень в нього повинна бути вписана кругова крива максимального радіуса з перехідними кривими. В Росії нормативи по кутових з'єднаннях є тільки на Октябрьській залізниці, на ділянці С-Петербург–Москва – при куті більше 7' вписується крива радіусом 10 000 м.

В нормативних документах Російської Федерації, наприклад у Технічних умовах на роботи з реконструкції (модернізації) і ремонту залізничної колії [12], рекомендуються малі кути повороту, що виникають під час експлуатації залізниці, усувати за умови збереження осі колії. У разі неможливості усунення «зламів» улаштовують криві радіусом не більше 4 000 м і довжиною не менше 20 метрів. В багатьох випадках, щоб виконати цю вимогу, вимушені улаштовувати S-подібні злами з вписуванням кривих радіусом по 4 000 м для виходу на малий кут повороту.

В нормативному документі ЦПТ-46/2 (РФ) [8] рекомендується криволінійні ділянки між прямими довжиною не менше 200 м і кутом повороту від 5 до 30 кутових мінут класифікувати як «кути повороту осі колії», а повороти більш коротких відрізків класифікувати як «нерівності плану колії». У другому випадку оцінку відступів в плані і профілі можна виконувати за технічними вказівками щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірвальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії (ЦП-0267) [13]. Аналіз колієвимірвальних стрічок у межах переїздів і виконані розрахунки показали, що наявність нерівностей

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

у межах залізничного переїзду та на підходах до нього погіршують бальність залізничної колії: при III ступені відступу в плані і профілі – на 40 балів, при IV ступені – до 550 балів. Наявність відступів в плані і профілі в межах залізничного переїзду та на підходах до нього знижують плавність їзди і комфорт пасажирів з гарного на помірний.

При можливості вписування кривих максимального радіуса (в дослідженні прийнято радіуси від 4 000 до 10 000 метрів при мінімальній довжині кривої 20 м) і кутах повороту відповідно від 17 до 7 хвилин перехідні криві улаштувати неможливо. В такому випадку настає обмеження швидкості руху по критерію зміни непогашеного прискорення на довжині бази екіпажа [6, 10], а це означає, що максимальна швидкість руху не перевищує 125, 140, 155 і 165 км/год при радіусах кривої 4 000, 6 000, 8 000 і 10 000 метрів відповідно.

Зміна конструкції колії в межах переїзду буде впливати на умови взаємодії колії і рухомого складу, плавність руху і комфортабельність їзди. Такі задачі, як правило, вирішуються засобами сучасного математичного моделювання. Наприклад, відповідна модель взаємодії саме для умов наявності переїзду описана в роботах [19, 20]. Але для можливості таких розрахунків необхідні вихідні дані, що адекватно описують геометрію колії.

На сьогодні існують різні можливості для зйомки натурної геометрії залізничної колії. Для виконання досліджень за значною кількістю ділянок і за тривалий термін експлуатації найбільш зручним, перш за все враховуючи регулярність заїздів, залишається стрічка колієвимірювального вагона. Однак слід зазначити, що цей засіб спрямовано для оцінки стану залізничної колії [13], а не для визначення точного геометричного положення. Так, при спробі визначити за колієвимірювальною стрічкою дійсні обриси нерівностей колії виникає низка труднощів [5, 11, 15, 16].

Нерівності в плані колієвимірювальний вагон визначає виміром стріли від несиметричної хорди. Якщо розглядати окрему локальну нерівність в колії з обрисом напівхвилі, то на стрічці вона буде відображатися трьома напівхвилями зі знаками, що чергуються. Причому амплітуда навіть центральної напівхвилі на запису,

а також її початок та кінець можуть не співпадати з дійсною нерівністю. В загальному вигляді обрис запису стріли при вимірюванні хордою можна подати як функцію відносно обрису нерівності

$$f(x) = y(x) - y(x+a) \frac{b}{a+b} - y(x-b) \frac{a}{a+b}, \quad (1)$$

де $y(x)$ – обрис нерівності в колії; a , b – довжини пліч хорди.

Співвідношення обрису нерівності в колії і її запису на стрічці перш за все буде залежати від відношення довжини нерівності до довжин пліч хорди. Для несиметричної хорди можливі чотири варіанти. Числові приклади наведені в табл. 1. Розміри плечей хорди були прийняті округлено 4 і 17 метрів (a і b у рівнянні (1) відповідно). Нерівність в колії задавалася у вигляді рівняння

$$y(x \in [0..e]) = A \sin^2 \left(\frac{x\pi}{e} \right), \quad (2)$$

де A і e – амплітуда і довжина нерівності відповідно.

Для вимірювання нерівності у вертикальній площині в колієвимірювальних вагонах зазвичай застосовується система з трьох роликів, яку можна подати як симетричну вимірювальну хорду. Числові приклади співвідношення обрису вертикальної нерівності на колії і обрису запису на колієвимірювальній стрічці наведено у табл. 2. Розміри плечей хорди було прийнято по 2,7 м.

Наведені у табл. 1 і 2 приклади показують відсутність однозначних правил повернення реального обрису нерівності в колії відносно запису на колієвимірювальній стрічці.

Результати

На колієвимірювальних стрічках, що були прийняті до аналізу, відокремлювались ділянки довжиною 30 м в зоні переїзду та на відстані 100 м до і після нього. Обчислення виконувались для нерівностей в горизонтальній (в плані) і у вертикальній площині. Приклад такої обробки наведено на рис. 1 і 2.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

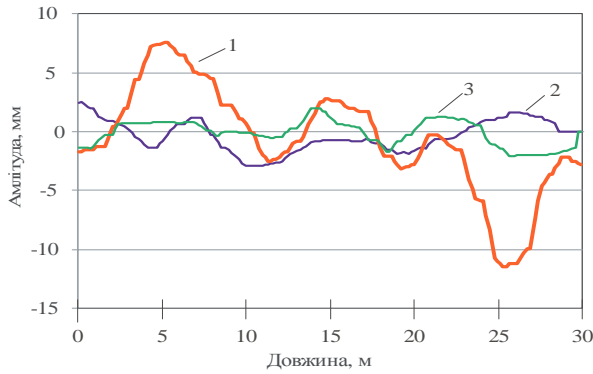


Рис. 1. Приклад запису нерівності в вертикальній площині:

1 – в зоні переїзду; 2, 3 – на відстані 100 м до і після переїзду відповідно

Fig. 1. An example of entry irregularities in the vertical plane:

1 – in the area of relocation; 2, 3 – at a distance of 100 m before and after moving accordingly



Рис. 2. Приклад запису нерівності в плані:

1 – в зоні переїзду; 2, 3 – на відстані 100 м до і після переїзду відповідно

Fig. 2. An example of entry inequality in terms of:

1 – in the area of relocation; 2, 3 – at a distance of 100 m before and after moving accordingly

Таблиця 1

Варіанти співвідношення обрису горизонтальної нерівності на колії і обрису запису на колісвимірвальній стрічці

Table 1

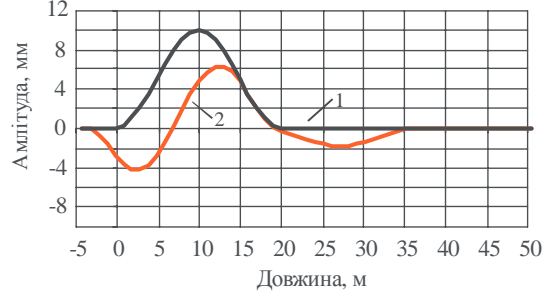
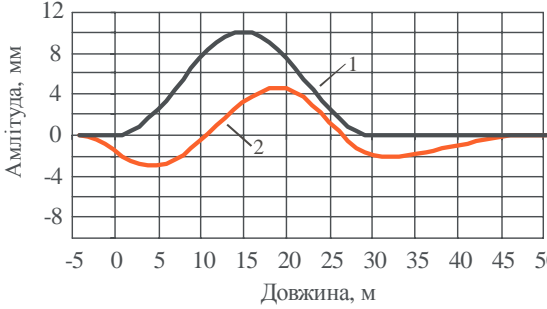
Variants of outlines ratio of the horizontal bumps in the road to outline recording on the track measuring tape

Варіант	Відношення довжини нерівності до хорди	Параметри нерівності	Обрис нерівності на колії і запису на стрічці
1	$e < a$	$A = 10 \text{ мм}$ $e = 3 \text{ м}$	
2	$e > a, e < b$	$A = 10 \text{ мм}$ $e = 10 \text{ м}$	

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Закінчення табл. 1

End of table 1

Варіант	Відношення довжини нерівності до хорди	Параметри нерівності	Обрис нерівності на колії і запису на стрічці
3	$e > b, e < a + b$	$A = 10 \text{ мм}$ $e = 20 \text{ м}$	
4	$e > a + b$	$A = 10 \text{ мм}$ $e = 30 \text{ м}$	

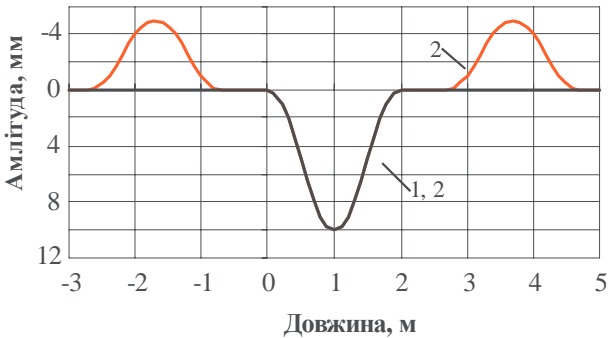
Примітка: 1 – обрис горизонтальної нерівності на колії; 2 – обрис запису на колієвимірювальній стрічці.

Таблиця 2

Варіанти співвідношення обрису вертикальної нерівності на колії і обрису запису на колієвимірювальній стрічці

Table 2

Variants of outlines ratio the vertical bumps in the road to outline recording on the track measuring tape

Варіант	Відношення довжини нерівності до хорди	Параметри нерівності	Обрис нерівності на колії і запису на стрічці
1	$e < a/2$	$A = 10 \text{ мм}$ $e = 2 \text{ м}$	

Варіант	Відношення довжини нерівності до хорди	Параметри нерівності	Обрис нерівності на колії і запису на стрічці
2	$e > a/2, e < a$	$A = 10$ мм $e = 5$ м	
3	$e > a$	$A = 10$ мм $e = 10$ м	

Примітка: 1 – обрис вертикальної нерівності на колії; 2 – обрис запису на колієвимірвальній стрічці.

Відповідно до Технічних вказівок щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірвальних вагонів [13] для якісної оцінки стану колії використовується бальна оцінка кілометра в цілому, для встановлення обмеження швидкості руху – окремі відступи або їх поєднання за ступенями. Для вирішення деяких задач, особливо пов'язаних з дослідними напрямками, такого підходу недостатньо [15, 16]. Для вирішення задачі дослідження впливу наявності переїзду на стан колії аналізувався такий показник, як площа, що обмежується нерівністю, записаною на стрічці колієвимірвального вагона, приведена до 1 м довжини. Надалі будемо називати цю характеристику показником відхилення.

Як приклад, для трьох ділянок з різними значеннями вантажонапруженості на рис. 3 і 4 наведено показники відхилення для вертикальної і горизонтальної площини.

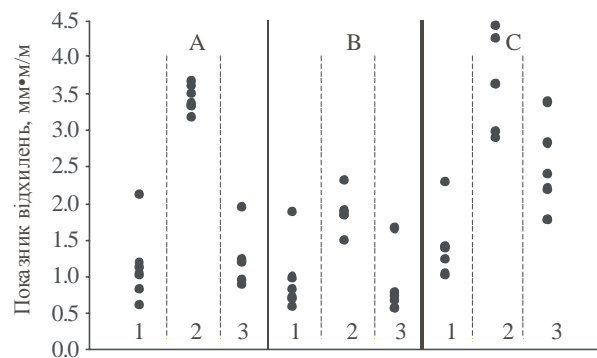


Рис. 3. Показник відхилення у вертикальній площині: 2 – в зоні переїзду; 1, 3 – на відстані 100 м до і після переїзду відповідно; A, B, C – ділянки з вантажонапруженістю 75, 72 і 84 млн ткм/км брутто

Fig. 3. The rate of deviations in the vertical plane: 2 – in the area of relocation; 1, 3 – at a distance of 100 m before and after the move, accordingly; A, B, C – areas with working capacity 75, 72 and 84 million tkm/km gross

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

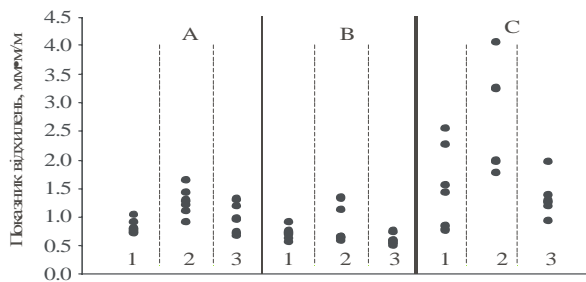


Рис. 4. Показник відхилень у горизонтальній площині:
2 – в зоні переїзду;
1, 3 – на відстані 100 м до і після переїзду відповідно;
A, B, C – ділянки з вантажонапруженістю 75, 72 і 84 млн ткм/км брутто

Fig. 4. The rate of deviations in the horizontal plane:
2 – in the area of relocation;
1, 3 – at a distance of 100 m before and after the move, accordingly;
A, B, C – areas with working capacity 75, 72 and 84 million tkm/km gross

Виконаний статистичний аналіз показав стійку тенденцію зростання показника відхилень в зоні розташування переїзду. Як правило, показник відхилень зростає в 1,3–3,2 рази в вертикальній площині та в 1,2–2,0 рази у горизонтальній площині порівняно з ділянками за межами переїзду.

Вивчення процесів накопичення деформацій в залізничній колії в цілому і, звісно, оптимізація конструкції колії для їх мінімізації на сьогодні є важливою задачею, яка висвітлюється як у вітчизняних, так і закордонних працях, наприклад [7, 17, 18].

Дослідження показали, що для зони переїзду поява і розвиток відхилень в колії в основному є наслідком двох факторів: особливості виконання виправочно-підбивочних робіт і зміни у конструкції колії.

Розглянемо особливості конструкції колії в зоні переїзду, які впливають на характеристики її напружено-деформованого стану. Настил сучасного залізничного переїзду, як правило, складається з трьох рядів залізобетонних плит. Для двоколійної ділянки кожен ряд має шість плит, які укладаються до і після рейки і мають обпирання з жорстким кріпленням до залізобетонної шпали спеціальної конструкції, рис. 5. По довжині колії кожна плита прикріплена до п'яти шпал.

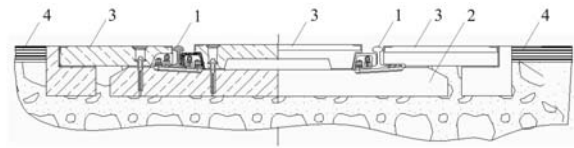


Рис. 5. Схема з'єднання плит зі шпалою на залізничному переїзді:

1 – рейка; 2 – залізобетонна шпала;
3 – залізобетонна плита; 4 – тротуарні плити

Fig. 5. The scheme of connecting the slabs with the sleeper at a railroad crossing:

1 – rake; 2 – concrete sleeper; 3 – concrete slab;
4 – paving slabs

Під час прогину колії від дії рухомого складу плити переїзду будуть працювати як ребра жорсткості, поєднуючи вздовж плити вертикальні переміщення шпал і відповідно рейки (з невеликою вільністю за рахунок наявності підкладок). Оцінити обриси прогину рейки в місці переїзду можна за допомогою залежностей, що використовуються в розрахунках колії на міцність [1]. Врахувати спільну роботу на прогин описаної вище конструкції можна представивши її як балку з відповідним значенням моменту інерції. В приведенні до однієї рейки і враховуючи чергування шпал і міжшпального простору було визначено значення моменту інерції поперечного перерізу у вертикальному напрямку $4 \cdot 10^5 \text{ см}^4$.

Тоді прогин рейки можна визначити за формулою

$$z(x) = \frac{Pk}{2U} e^{-kx} (\cos kx + \sin kx), \quad (3)$$

де P – вертикальна сила, діюча на рейку; z – вертикальний прогин; x – відстань по рейці від точки прикладання сили; U – модуль пружності підрейкової основи; k – коефіцієнт відносної жорсткості

$$k = \sqrt[4]{\frac{U}{4EI}}, \quad (4)$$

де I – момент інерції балки; E – модуль пружності балки.

Приклад прогину рейки від вертикальної сили 100 кН для модуля пружності підрейкової основи 50 МПа наведено на рис. 6.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

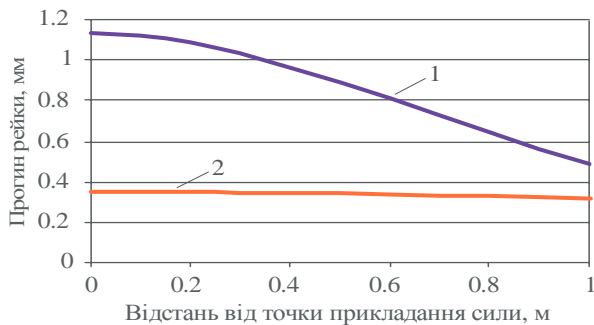


Рис. 6. Прогин рейки по довжині:
1 – звичайна колія; 2 – в межах переїзду

Fig. 6. The deflection of the rail length:
1 – normal gauge; 2 – within the move

Дійсний модуль пружності підшпальної основи в зоні переїзду буде залишатися таким самим, як і на іншій протяжності колії. При розташуванні навантаження в зоні переїзду можна прийняти розрахунковий модуль пружності підрейкової основи, який буде відповідати співвідношенню прогину (див. рис. 6) і діючої сили. Виходячи з цих міркувань, при розташуванні коліс візка до (або після) і в межах переїзду розрахункові модулі пружності підрейкової основи для них будуть відрізнятися приблизно в 3 рази. Така різниця набагато менша порівняно з тією, що має місце в зоні переходу від баластної конструкції колії до безбаластної (наприклад, залізничний міст). Все ж таки це може бути причиною появи і розвитку залишкових вертикальних деформацій колії (просадок) [3].

Вплив конструкції колії в зоні переїзду на формування модуля пружності колії в горизонтальній площині [2] не такий суттєвий. Основну роль у зростанні відповідного показника відхилень відіграють особливості в технології виконання рихтовочних робіт. Якщо на ділянках між переїздами корегування плану виконується у межах основної площадки земляного полотна, то в зоні переїзду такі зсуви виконати складно, а тому часто перед і за переїзним настилом утворюються нерівності в плані.

Наукова новизна і практична значимість

Набули подальший розвиток питання оцінки та дослідження розвитку нерівностей колії.

За результатами обробки статистичних даних отримані числові показники збільшення

рівня нерівностей колії в зоні переїзду. Обґрунтовано основні причини їх появи.

Отримані результати будуть корисні для проведення заходів щодо поліпшення плавності руху поїздів і підвищення рівня комфортабельності їзди.

Висновки

Залізничний переїзд є зоною підвищеної небезпеки для залізничного та автомобільного транспорту. Майже половина всіх переїздів розташовані на маршрутах основних пасажирських перевезень. У зонах переїзду виникають вертикальні і горизонтальні нерівності колії. Якщо вони і не створюють небезпеки для руху поїздів, то впливають на плавність руху і знижують рівень комфортабельності їзди.

На сьогодні основним засобом для зйомки натурної геометрії залізничної колії залишається стрічка колієвимірального вагона. Однак цей засіб ускладнює безпосереднє визначення точного геометричного положення колії.

Виконаний статистичний аналіз показав стійку тенденцію зростання нерівностей колії в зоні розташування переїзду. Як правило, рівень нерівностей в вертикальній площині зростає в 1,3–3,2 рази та в 1,2–2,0 рази у горизонтальній площині порівняно з ділянками за межами переїзду.

Дослідження показали, що поява і розвиток нерівностей в колії у зоні переїзду в основному є наслідком двох факторів: особливості технології виконання виправочно-підбивочних робіт і зміни у конструкції колії.

Під час прогину колії від дії рухомого складу в зоні переїзду його плити працюють як ребра жорсткості, обмежуючи прогини рейкошпальної решітки. При розташуванні коліс візка до (або після) і в межах переїзду розрахункові модулі пружності підрейкової основи, приведені до точки контакту колеса, можуть відрізнятися до 3 разів.

З наведених результатів випливає, що локальні зміни жорсткості колії, які мають місце на залізничних переїздах, мають вплив на умови взаємодії колії і рухомого складу, плавність руху і комфортабельність їзди.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Даниленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість : ЦП-0117 / Е. І. Даниленко, В. В. Рибкін. – Київ : Транспорт України, 2004. – 64 с.
2. Даниленко, Э. И. Теоретическое решение задачи по определению реального бокового модуля упругости пути, при совместном действии на рельсовую нить горизонтальных и вертикальных сил / Э. И. Даниленко, В. П. Велинец // Транспортні системи і технології : зб. наук. пр. Держ. економ.-технол. ун-ту трансп. – 2014. – № 24. – С. 106–122.
3. Курган, Д. М. До вирішення задач розрахунку колії на міцність із урахуванням нерівнопружності підрейкової основи / Д. М. Курган // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 1 (55). – С. 90–99. doi: 10.15802/stp2015/38250.
4. Курган, Н. Б. Предпосылки создания высокоскоростных магистралей в Украине / Н. Б. Курган // Укр. залізничні. – 2015. – № 5–6. – С. 16–21.
5. Лапина, Л. Г. Анализ статистических характеристик просадок рельсовых нитей и построение базовых неровностей пути / Л. Г. Лапина // Техн. механика. – 2013. – № 1. – С. 17–24.
6. Методика визначення допустимих швидкостей руху поїздів на складних ділянках плану залізничні / М. Б. Курган, Д. М. Курган, Н. П. Хмелевська, С. Ю. Байдак // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 2 (50). – С. 83–94. doi: 10.15802/stp2014/23760.
7. Научные основы моделирования взаимодействия пути и подвижного состава в современных условиях эксплуатации / М. М. Железнов, В. О. Певзнер, В. П. Соловьев, С. С. Надежин // Бюллетень ОУС ОАО «РЖД». – 2014. – № 4. – С. 21–29.
8. Положение по оценке фактических параметров устройства кривых участков пути вагонами-путеизмерителями, расчету рациональных параметров устройства кривых для их паспортизации : ЦПТ-46/2. – Москва : ОАО «РЖД», 2009. – 43 с.
9. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України : ЦП-0287 / А. Бабенко, Г. Линник, К. Мойсеєнко [та ін.]. – Київ : Девалта, 2015. – 45 с.
10. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії : ЦП-0236 / М. Б. Курган, А. М. Орловський, О. М. Патласов [та ін.]. – Київ, 2011. – 52 с.
11. Результаты эксплуатационных испытаний геометрически-силового метода оценки состояния пути. / В. С. Коссов, А. Л. Бидуля, О. Г. Краснов, М. Г. Акашев // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 5 (47). – С. 97–104. doi: 10.15802/stp2013/17971.
12. Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 02.05.2012 № 859 р. – Москва, 2012. – 310 с.
13. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірвальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії : ЦП-0267 / О. М. Патласов, В. В. Рибкін, Ю. В. Палейчук [та ін.] : затв. Наказом Укрзалізничці від 1.02.2012 № 033-Ц. – Київ : Транспорт України, 2012. – 25 с.
14. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.kmu.gov.ua/kmu/docs/EA/00_Ukraine-EU_Association_Agreement_%28body%29.pdf. – Назва з екрана. – Перевірено : 7.09.2015.
15. Уманов, М. И. Совершенствование оценки состояния пути с использованием среднеквадратических отклонений его геометрических параметров / М. И. Уманов, А. М. Патласов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 40. – С. 109–114.
16. Ушкалов, В. Расчетные возмущения для оценки динамических качеств грузовых вагонов / В. Ушкалов, Л. Лапина, И. Машченко // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 4 (46). – С. 135–144. doi: 10.15802/stp2013/16600.
17. Fischer, S. A vasúti zúzottkő ágyazat és a szemcsés kiegészítő rétegek alá beépített georácsok belső nyírési ellenállásának vizsgálata / S. Fischer // Sínek Világa. – 2014. – № 4. – P. 22–27.
18. Fischer, Sz. Investigation of the reinforcement and stabilisation effect of geogrid layers under railway ballast / Sz. Fischer, F. Horvát // Slovak J. of Civil Engineering. – 2011. – Vol. 19. – Iss. 3. – P. 22–30. doi: 10.2478/v10189-011-0015-y.
19. Quantifying Rail-Highway Grade Crossing Roughness: Accelerations and Dynamic Modeling / T. Wang, R. R. Souleyrette, D. Lau [et al.] // Transportation Research Board : 94nd Annual

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

- Meeting : № TRB15-4825. – Washington DC, USA. – 2015. – P. 2–11.
20. Rose, J. G. Rehabilitation Assessment and Management Practices to Ensure Long-Life, High-Performance Highway-Railway At-Grade Crossings / J. G. Rose, B. R. Malloy, R. R. Souleyrette // Proc. of the Joint Rail Conf. JRC 2014 (2.04–4.04.2014). – USA, 2014. – P. 3–14. doi: 10.1115/jrc2014-3761.

Н. Б. КУРГАН¹, Д. Н. КУРГАН^{2*}, О. Ф. ЛУЖИЦКИЙ³

¹Каф. «Проектирование и строительство дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 48, эл. почта kunibor@mail.ru, ORCID 0000-0002-8182-7709

^{2*}Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс. +38 (056) 373 15 42, эл. почта kurgan@brailsys.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

³Каф. «Проектирование и строительство дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 48, эл. почта oleg-luzhickii@ukr.net, ORCID 0000-0001-6519-7447

ИССЛЕДОВАНИЯ НЕРОВНОСТЕЙ ПУТИ В ПРЕДЕЛАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДОВ

Цель. Пересечение автомобильных дорог с железной дорогой в одном уровне – железнодорожный переезд – является зоной повышенной опасности для железнодорожного и автомобильного транспорта. Почти половина всех переездов расположена на маршрутах основных пассажирских перевозок. Отсюда возникает проблема содержания и обслуживания мест пересечения железной дороги и автодороги. Целью данной работы является оценка процессов возникновения и развития неровностей пути в зоне переезда и выявление факторов, которые их вызывают. **Методика.** Наличие отступлений в плане и профиле в пределах железнодорожного переезда и на подходах к нему снижают плавность езды и комфорт пассажира. На сегодня существуют разные способы съемки натурной геометрии железнодорожного пути. Для проведения исследований большого количества участков за длительный срок их эксплуатации наиболее удобным, прежде всего, учитывая регулярность заездов, остается лента путеизмерительного вагона. Однако этот способ направлен на оценку состояния железнодорожного пути, а не для определения точного геометрического положения. Так, при попытке определить по путеизмерительным лентам действительные очертания неровностей пути возникает ряд сложностей. **Результаты.** Проведенный статистический анализ показал устойчивую тенденцию накопления неровностей пути в зоне расположения переезда. Как правило, уровень неровностей в вертикальной плоскости возрастает в 1,3–3,2 раза, и в 1,2–2,0 раза – в горизонтальной плоскости (по сравнению с участками, находящимися за пределами переезда). Во время прогиба пути от действия подвижного состава в зоне переезда железобетонные плиты работают как ребра жесткости, ограничивая прогиб рельсошпальной решетки. При расположении колес тележки до (или после) и в пределах переезда расчетные модули упругости подрельсового основания, приведенные к точке контакта колеса, могут отличаться до 3 раз. **Научная новизна.** Получили дальнейшее развитие вопросы оценки и исследования развития неровностей пути. Получены статистические данные по накоплению неровностей пути в зоне переезда. Предоставлены аналитические обоснования изменения характеристик напряженно-деформационной работы пути в месте расположения переезда. **Практическая значимость.** Полученные результаты будут полезны для проведения мероприятий по улучшению плавности движения поездов и повышению уровня комфортабельности езды.

Ключевые слова: железнодорожный переезд; верхнее строение пути; неровности пути; расчет пути на прочность; деформации пути; допустимые скорости движения

M. B. KURHAN¹, D. M. KURHAN^{2*}, O. F. LUZHITSKYI³

¹Dep. «Roads Design and Construction», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel +38 (056) 373 15 48, e-mail kunibor@mail.ru, ORCID 0000-0002-8182-7709

^{2*}Dep. «Track and Track Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 42, e-mail kurgan@brailsys.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

³Dep. «Roads Design and Construction», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel +38 (056) 373 15 48, e-mail oleg-luzhickii@ukr.net, ORCID 0000-0001-6519-7447

INEQUALITIES RESEARCH OF THE TRACK AT THE RAILROAD CROSSINGS

Purpose. The intersection of highways and railways in one level – railway crossing, is a zone of increased danger for rail and road transport. Nearly half of all crossings are available on the main directions of passenger transportation. From this comes the problem of maintenance and service locations of intersection roads and railways. The purpose of this work is to evaluate the processes of emergence and development of inequalities in the area of railroad crossings and identify the factors that cause them. **Methodology.** The presence of derogation from the plan and profile within the railway crossing and approaches to it reduces evenness of riding and passenger comfort. Today, there are various possibilities for shooting natural geometry of a railway track. For research on a large number of areas during long service life, the tape of a track measuring car remains the most convenient. However, this tool is directed to assess the state of the railway line and does not determine the exact geometrical position. When trying to determine valid outlines of the track inequalities on track measuring tape, some difficulties arise. **Findings.** Performed statistical analysis showed a steady trend of growth of inequalities in the area of the railway crossings. Generally, the level of inequalities in the vertical plane increases in 1.3–3.2 times and in 1.2–2.0 times in the horizontal plane (compared with areas that are outside crossing). During the deflection lines of action in the area of railroad crossing concrete slabs work as ribs that limit deflections of rail-tie grating. When placing the wheels of the bogie before (or after) and within crossing the calculated modulus of elasticity under the rail base, brought to the point of wheels contact can vary up to 3 times. **Originality.** Issues of the assessment and investigation of inequalities on track started to be developed. The resulting statistics on inequalities accumulation gauge in the zone of crossing were obtained. Analytical research changes in the characteristics of stress and deformation of the track at the site of the conclusion of the railway crossing were presented. **Practical value.** Obtained results will be useful for measures to improve the evenness riding of trains and increase the comfort level of passengers.

Keywords: railroad crossings; permanent way; inequalities of a track; the strength calculation of a track; deformation of a track; the permissible speed of movement.

REFERENCES

1. Danilenko E.I., Rybkin V.V. *Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist i stiikist. TsP-0117* [Calculation rules of a railway track for strength and stability. TsP-0117]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2004. 64 p.
2. Danilenko E.I., Velinets V.P. Teoreticheskoye resheniye zadachi po opredeleniyu realnogo bokovogo modulya uprugosti puti, pri sovmestnom deystvii na relsovyuyu nit gorizontalnykh i vertikalnykh sil [The theoretical solution to the problem of the real side of the elastic modulus of the track determination, in a joint action on a rail thread horizontal and vertical forces]. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho ekonomiko-tekhnologichnoho universytetu transportu «Transportni systemy i tekhnolohii»* [Proc. of the State Economic and Technological University «Transport Systems and Technologies»], 2014, no. 24, pp. 106-122.
3. Kurhan D.M. Do vyrishennia zadach rozrakhunku kolii na mitsnist iz urakhuvanniam nerivnopruzhnosti pidreikovoї osnovy [To the solution of problems about the railways calculation for strength taking into account unequal elasticity of the subrail base]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2015, no. 1 (55), pp. 90-99. doi: 10.15802/stp2015/38250.
4. Kurgan N.B. Predposylki sozdaniya vysokoskorostnykh magistralei v Ukraine [Background of the high-speed railways establishment in Ukraine]. *Ukrainski zaliznytsi – Ukrainian Railways*, 2015, no. 5-6, pp. 16-21.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

5. Lapina L.G. Analiz statisticheskikh kharakteristik prosadok relsovykh nitey i postroeniye bazovykh nerovnostey puti [The analysis of the statistical characteristics of the rail lines sag and the construction of the track irregularities base]. *Tekhnicheskaya mekhanika – Technical Mechanics*, 2013, no. 1, pp. 17-24.
6. Kurhan M.B., Kurhan D.M., Khmelevska N.P., Baidak S.Yu. Metodyka vyznachennia dopustymykh shvydkostei rukhu poizdiv na skladnykh diliankakh planu zaliznytsi [Methodology of determination of admissible speeds of train movement on difficult sections of railroad plan]. *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. 83-94. doi: 10.15802/stp2014/23760.
7. Zheleznov M.M., Pevzner V.O., Solovev V.P., Nadezhin S.S. Nauchnyye osnovy modelirovaniya vzaimod-eystviya puti i podvizhnogo sostava v sovremennykh usloviyakh ekspluatatsii [The scientific basis of modeling the interaction of the way and rolling stock in modern conditions]. *Byulleten Obedinennogo Uchenogo Soveta OAO «RZhD»* [Bulletin of the United Scientific Council of JSC «RR»], 2014, no. 4, pp. 21-29.
8. Polozheniye po otsenke fakticheskikh parametrov ustroystva krivykh uchastkov puti vagonami puteizmeritelyami, raschetu ratsionalnykh parametrov ustroystva krivykh dlya ikh pasportizatsii. TsPT-46/2 [Statutes for the assessment of actual parameters of the device curves sections of track by the track recording cars, the rational parameters calculation of the device curves for their certification. TsPT-46/2]. Moscow, OAO «RZhD» Publ., 2009. 43 p.
9. Babenko A., Lynnyk H., Moiseienko K. Polozhennia pro provedennia planovo-zapobizhnykh remontno-koliinykh robit na zaliznytsiakh Ukrainy. TsP-0287 [Statutes of scheduled preventive maintenance repair and track work on the railways of Ukraine. TsP-0287]. Kyiv, Devalta Publ., 2015. 45 p.
10. Kurhan M.B., Orlovskiy A.M., Patlasov O.M. Pravyla vyznachennia pidvyshchennia zovnishnoi reiky i vstanovlennia dopustymykh shvydkostei v kryvykh diliankakh kolii. TsP-0236 [The rules for determining the elevation of the outer rail and the establishment of permissible velocities in the curved track. TsP-0236]. Kyiv, 2011. 52 p.
11. Kossov V.S., Bidulya A.L., Krasnov O.G., Akashev M.G. Rezultaty ekspluatatsionnykh ispytaniy geometricheski-silovogo metoda otsenki sostoyaniya puti [The field test results of geometric-force method for track state estimation]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 5 (47), pp. 97-104. doi: 10.15802/stp2013/17971.
12. Tekhnicheskyye usloviya na raboty po rekonstruktsii (modernizatsii) i remontu zheleznodorozhnogo puti [Technical specifications for the reconstruction (modernization) and repair of railway tracks]. Moscow, 2012. 310 p.
13. Patlasov O.M., Rybkin V.V., Paleichuk Yu.V. Tekhnichni vkazivky shchodo otsinky stanu reikovoï kolii za pokaznykamy koliivymiriuvalnykh vahoniv ta zabezpechennia bezpeky rukhu poizdiv pry vidstupakh vid norm utrymannia reikovoï kolii. TsP-0267 [Technical guidance on the assessment of the rail track condition on indicators track measuring cars and ensure the safe movement of trains with departures from the norms of the track. TsP-0267]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2012. 25 p.
14. Uhoda pro asotsiatsiiu mizh Ukrainoiu, z odniiei storony, ta Yevropeiskym Soiuzom, yevropeiskym spivtovarystvom z atomnoi enerhii i yikhnimy derzhavamy-chlenamy, z inshoi storony [The Association agreement between Ukraine, on the one hand, and the European Union, with the European Atomic Energy Community and their member States, on the other hand]. Available at: http://www.kmu.gov.ua/kmu/docs/EA/00_Ukraine-EU_Association_Agreement_%28body%29.pdf (Accessed 7 September 2015).
15. Umanov M.I., Patlasov A.M. Sovershenstvovaniye otsenki sostoyaniya puti s ispolzovaniyem srednekvadrateskikh otkloneiy yego geometricheskikh parametrov [Improving the estimation of track condition using standard deviations of its geometrical parameters]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 40, pp. 109-114.
16. Ushkalov V., Lapina L., Mashchenko I. Raschetnyye vozmushcheniya dlya otsenki dinamicheskikh kachestv gruzovykh vagonov [Calculated disturbances for the evaluation of dynamical properties of freight cars]. *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. 135-144. doi: 10.15802/stp2013/16600.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

17. Fischer Sz, Horvát F. Investigation of the reinforcement and stabilisation effect of geogrid layers under railway ballast. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 2011, vol. 19, issue 3, pp. 22-30. doi: 10.2478/v10189-011-0015-y.
18. Fischer S. A vasúti zúzottkő ágyazat és a szemcsés kiegészítő rétegek alá beépített georácsok belső nyírási ellenállásának vizsgálata. *Sínek Világa*, 2014, no. 4, pp. 22-27.
19. Wang T., Souleyrette R.R., Lau D. Quantifying Rail-Highway Grade Crossing Roughness: Accelerations and Dynamic Modeling. Transportation Research Board 94nd Annual Meeting. № TRB15-4825. Washington DC, USA, 2015. 11 p.
20. Rose J.G., Malloy B.R., Souleyrette R.R. Rehabilitation Assessment and Management Practices to Ensure Long-Life, High-Performance Highway-Railway At Grade Crossings. Proc. of the Joint Rail Conf. JRC 2014 (2.04–4.04.2014). USA, 2014. 14 p. doi: 10.1115/jrc2014-3761.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. А. А. Босовим (Україна); д.т.н., проф. Д. М. Козаченком (Україна)

Надійшла до редколегії 18.06.2015

Прийнята до друку 31.08.2015

UDC 625.141:624.138

SZ. FISCHER^{1*}

^{1*}Dep. «Transport Infrastructure», Széchenyi István University Faculty of Architecture, Civil- and Transport Engineering, Egyetem tér, 1, Győr, Hungary, 9026, tel. + 36 (96) 613 544, e-mail fischersz@sze.hu, ORCID 0000-0001-7298-9960

INVESTIGATION OF INNER SHEAR RESISTANCE OF GEOGRIDS BUILT UNDER GRANULAR PROTECTION LAYERS AND RAILWAY BALLAST

Purpose. Using adequate granular materials and layer structures in the railway super- and substructure is able to stabilise railway track geometry. For this purpose special behaviour of above materials has to be determined, e.g. inner shear resistance. Inner shear resistance of granular media with and without geogrid reinforcement in different depths is not known yet. **Methodology.** The author developed a special laboratory method to measure and define inner shear resistance of granular materials, it is called «multi-level shear box test». This method is adequate to determine inner shear resistance (pushing force) vs. depth (distance from the «zero» surface). Two different granular materials: andesite railway ballast (31.5/63 mm) and andesite railway protection layer material (0/56 mm), and seven different types of geogrids (GG1...GG7) were used during the tests. **Findings.** Values of inner shear resistance functions of andesite railway ballast without geogrid reinforcement and reinforced with different types of geogrids and andesite granular protection layer in function of the vertical distance from the geogrid plane were determined with multi-layer shear box tests when the material aggregation is uncompacted and compacted. Only the compacted sample was tested in case of the 0/56 mm protection layer. Cubic polynomial regression functions fitted on the mean values of the measurements are described graphically. Determination coefficients with values of $R^2 > 0.97$ were resulted in all the cases of regression functions. Based on the polynomial regression functions fitted on the mean values of the test results, three increasing factors were determined in function of the distance measured from the geogrid. Increasing factor «A», «B» and «D». **Originality.** Multi-level shear box test, developed by the author, is certified unequivocally adequate for determining inner shear resistance of reinforced and unreinforced granular materials, e.g. railway ballast, protection layer. **Practical value.** The paper formulated the requirements of using geogrid-reinforced railway ballast and protection layer material to stabilise railway track geometry, e.g. dewatering, draining, separation, minimum ballast depth, and suggested geogrid types from investigated ones.

Keywords: railway ballast; geogrid reinforcement; granular protection layers; multi-level shear box tests; inner shear resistance

Introduction

The self-financed R&D work of MÁV (Hungarian Railways) titled 'Application of geogrids to stabilize railway ballast' was carried out in the period between 2009-2014, the entrepreneur was Universitas-Győr Nonprofit Ltd., topic supervisors were F. Horvát and Sz. Fischer. Research included examination of test sections built in rail tracks (analysis of geodetical measurements and railway track geometry measuring-recording car graphs), discrete element modelling of railway ballast (only between 2009 and 2011), and examination of laboratory multi-layer shear box tests. In the following part of this article only research results of the latter part between 2012 and 2014 will be presented in details. Not only railway ballast but granular protection layers were also aimed at in

this 2014 research work so a more complex picture was given of inner shear resistance of geogrid-reinforced granular layers and its increasing effect. The author notes that the laboratory test series presented in this article is not enough to evaluate the behaviour of the examined geogrids in rail tracks, by all means new test sections will need to be created and their continuous diagnoses is necessary.

Purpose

Using adequate granular materials and layer structures in the railway super- and substructure is able to stabilize railway track geometry [5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. (The better the railway track geometry the higher train speed can be reach [6, 7, 8].) For this purpose special behavior of above materials has to be determined, e.g. inner shear resistance. Inner shear resistance of granular media

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

with and without geogrid reinforcement in different depths is not known yet.

Methodology

The theoretical background of the behaviour of geogrid-reinforced ballast and its increasing effect on inner shear resistance can be understood in details from the author's Ph.D. thesis [1]. Due to content limit the execution of laboratory multi-layer shear box tests will not be discussed here, they are found in bibliography [4] and [3] in details. In the following part of this article these sources will not be referred to, but the knowledge of them is inevitable to understand the tests discussed hereinafter.

The origins of materials used for our multi-level shear box tests:

- 31,5/63 mm andesite railway ballast: KŐKA Kő- és Kavicsbányászati Ltd.,
- 0/56 mm andesite granular protection layer Colas Északkő Ltd., Szob quarry,
- geogrids: Tensar International s.r.o.

Tests before measurements:

- ballast particle distribution and particle shape examination,
- particle size distribution test of granular protection layer (provided by Colas Északkő Ltd.),
- determination of resistance evolving on each shear plane between the frame elements of the empty shear box.

Laboratory measurements of inner shear resistance in case of differently formed layer structures:

- determination of inner shear resistance of railway ballast material (31.5/63 mm) without operating vertical load with compacted and uncompacted ballast material, with different types of geogrids and without geogrid
- determination of inner shear resistance of granular protective layer (0/56 mm) without operating vertical load with compacted granular protective layer without geogrid and compacted ballast material with two different types of geogrids:
 - compacted granular protection layer with material, at layer structure created without geogrid,
 - compacted ballast material, at layer structures created with seven different types of geogrids.

To describe inner shear resistance 3-3 measurements were performed for each arrangement and each shear plane.

During the tests the elasticity modulus of the base layer was $E_2 = 7.2$ MPa. The thickness of the ballast material and the granular protection layer was 40 cm, the ballast material and the thickness of the compacted sand layer laid under these layers was 10 cm. One layer of Naue Secutex 151 GRK 3 type geotextile was laid between the sand layer and the Austrotherm Thermopan plates (geometrical and mechanical parameters of the geotextile are in the referred literature).

Characteristics of geogrids applied in laboratory tests

Seven different types of geosynthetics were applied during the laboratory tests:

- GG1, GG2, GG3: (examined with railway ballast and granular protection layer),
- GG4, GG5, GG6, GG7 (examined only with granular protection layer).

With the exception of GG5 all geogrids are extruded, whereas GG5 was with welded junctions.

Geogrids and their geometrical characteristics are recorded in Table 1 and Figures 1-4.

Table 1

Geometrical characteristics of geogrids

Type of geogrid/ geometrical characteristics [mm]	GG1	GG2	GG3	GG4	GG5	GG6	GG7
A	38.0	47.0	70.0	–	–	–	–
A _L	–	–	–	39.0	32.0	47.0	–
A _T	–	–	–	39.0	32.0	31.50	–
A ₁	–	–	–	–	–	–	42.0
A ₂	3.20	3.90	–	–	–	–	44.0
A ₃	–	–	–	–	–	–	60.0
W _R	0.80	1.10	2.10	–	–	–	–
W _L	–	–	–	2.30	8.00	–	–
W _T	–	–	–	–	–	8.00	–
W _{LR}	–	–	–	–	–	2.50	–
W _{TR}	–	–	–	2.87	–	6.00	–
W _{R1}	–	–	–	–	–	–	1.9
W _{R2}	–	–	–	–	–	–	1.9

End of table 1

Type of geogrid/ geometrical characteristics [mm]	GG1	GG2	GG3	GG4	GG5	GG6	GG7
W_{R3}	-	-	-	-	-	-	1.5
t_J	-	-	5.70	5.0	1.20	4.20	-
t_L	-	-	-	-	0.80	-	-
t_R	1.20	1.50	1.80	-	-	-	-
t_T	-	-	-	-	0.80	-	-
t_{LR}	-	-	-	2.20	-	2.20	1.3
t_{TR}	-	-	-	1.30	-	1.60	1.4

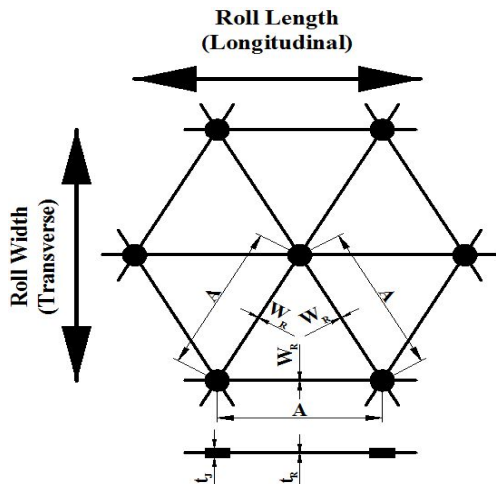


Fig. 1. Meanings of geometrical characteristics of GG1, GG2 and GG3 geogrids

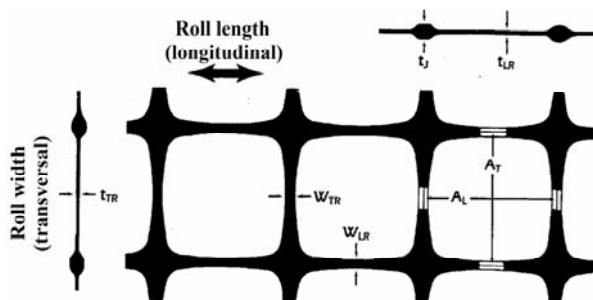


Fig. 2. Meanings of geometrical characteristics of GG4 and GG6 geogrids

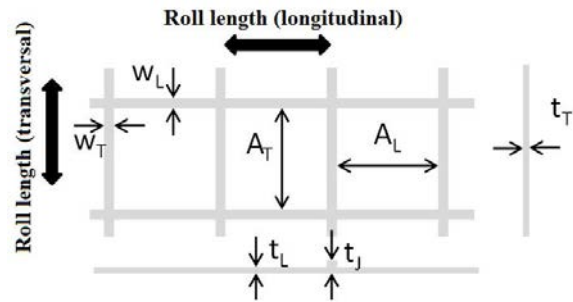


Fig. 3. Meanings of geometrical characteristics of GG5 geogrid

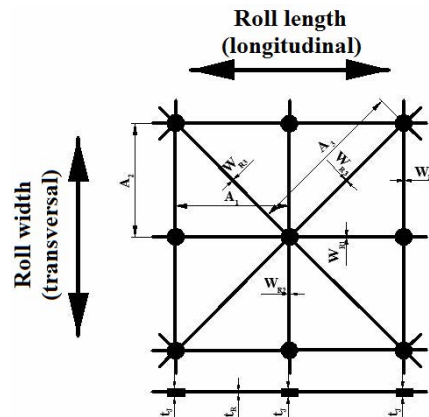


Fig. 4. Meanings of geometrical characteristics of GG7 geogrid

Particle size distribution of railway ballast and granular protection layer used in the test series

Particle distribution of railway ballast applied in the multi-layer shear box test is contained in (1), granular protective layer consists of 30% 31.5/63 mm E-type ballast stone, 40% 0/32 mm and 30% 0/5 mm fractions, its particle size distribution graph is described in Figure 5.

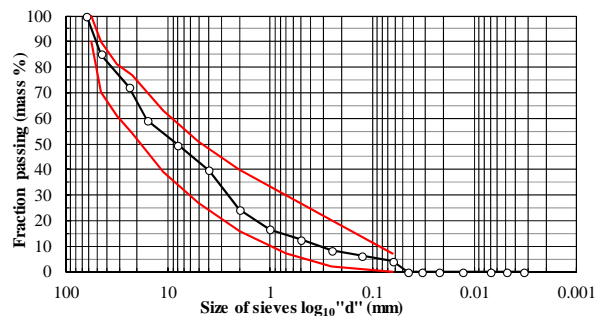


Fig. 5. Particle size distribution of granular railway protection layer material [Source: Colas Északkö Ltd.]

Findings

Values of inner shear resistance functions of andesite railway ballast without geogrid reinforcement and reinforced with different types of geogrids and andesite granular protection layer in function of the vertical distance from the geogrid plane were determined with multi-layer shear box tests when the material aggregation is uncompacted or compacted with the method described in the referred literature (only the compacted sample was examined in case of the 0/56 mm protection layer.) Due to content limit the summarized results – the cubic polynomial regression functions fitted on the mean values of the measurements – will only be described graphically in Figures 6-7.

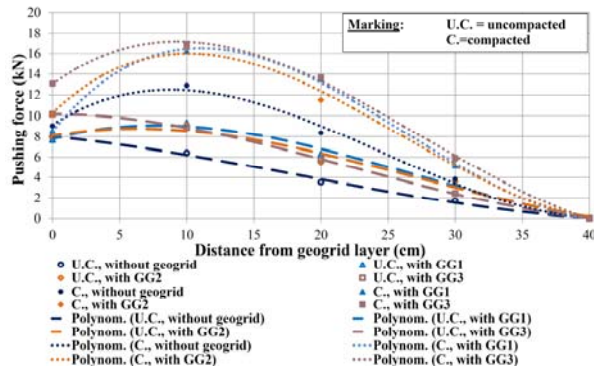


Fig. 6. Mean values of pushing force values and cubic polynomial regression functions fitted on the mean values of the measurements in case of railway ballast material (31.5/63 mm)

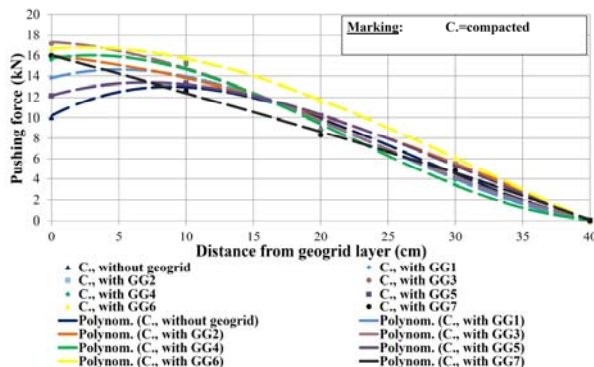


Fig. 7. Mean values of pushing force values and cubic polynomial regression functions fitted on the mean values of the measurements in case of granular railway protection layer material (0/56 mm)

A compressive force of 0 kN was taken on the 40 cm distance measured from the geogrid plane as a boundary condition, because on the upper plane the shear phenomenon can not be interpreted. Determination coefficients with values of $R^2 > 0.97$ were resulted in all the cases of regression functions.

When geogrids were released after the shear tests, no significant deterioration was experienced in the cases of any types. However, some cases of minor geogrid rib breakage were noticed but their operational behaviour is not influenced by them.

Based on the polynomial regression functions fitted on the mean values of the test results, increasing factors were determined in function of the distance measured from the geogrid, which have the following mechanical meaning (the meanings of all the five increasing factors are found in literature (1), in the present case only 3 of them were needed):

- increasing factor «A»: improving effect of built-in geogrid in compacted layer (increasing inner shear resistance)
- increasing factor «B»: effect of compaction in geogrid-reinforced layer
- increasing factor «D»: improving effect of built-in geogrid (increasing inner shear resistance) in uncompacted layer.

In Figures 8-11, three different increasing factors were given for railway ballast (31.5/63 mm) and granular protection layer (0/56 mm), and seven types of geogrids in the function of the distance were measured from geogrid plane.

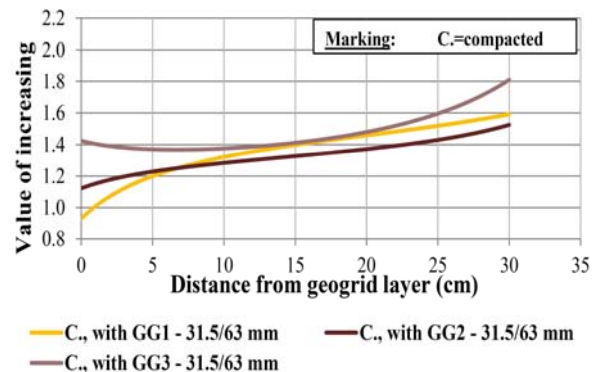


Fig. 8. Increasing factor «A» in case of railway ballast material (31.5/63 mm)

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

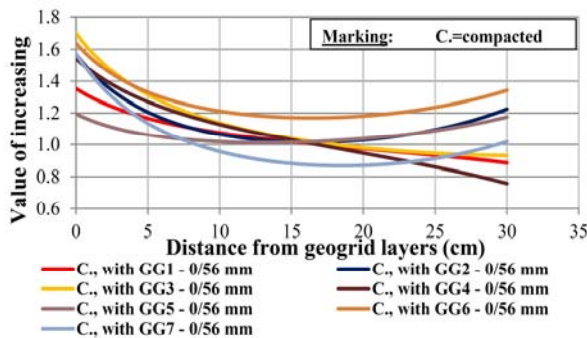


Fig. 9. Increasing factor «A» in case of granular railway protection layer material (0/56 mm)

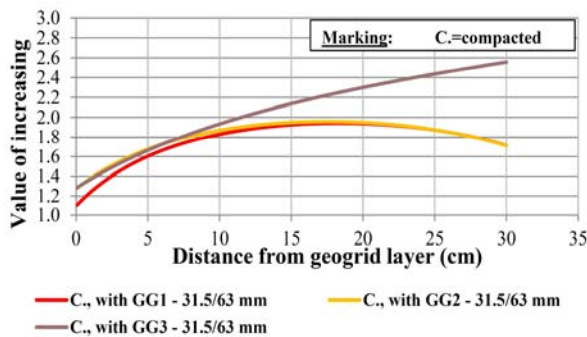


Fig. 10. Increasing factor «B» in case of railway ballast material (31.5/63 mm)

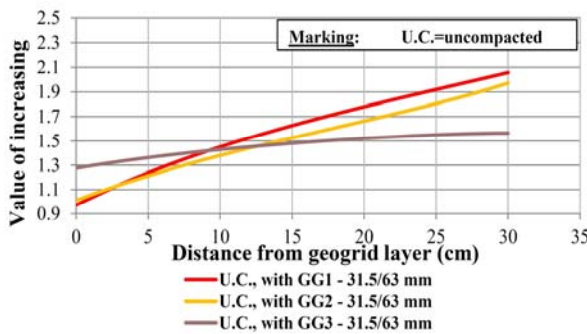


Fig. 11. Increasing factor «D» in case of railway ballast material (31.5/63 mm)

Originality and practical value

Based on the test results introduced in details it can unequivocally be stated that the multi-layer shear box test is suitable to determine certain high coordinated points of inner shear resistance functions typical of horizontal planes in granular material aggregations – in the present case in railway ballast and 0/56-mm protective layers. With these points and the application of 0 kN compressive force taken as boundary condition on the upper

plane of granular material aggregations, the inner shear resistance function typical of horizontal planes can be approximated with regression functions, but the fact must be acknowledged that these regression functions only provide approximate but reliable results in heights of measurement.

Based on the results of laboratory multi-layer shear box tests, it can unequivocally be stated that inner shear resistance in both uncompacted ballast and compacted granular protection layer is increased with the adequate type of geogrid layer built under the granular material aggregation in the following way:

- in railway ballast:

- Uncompacted layer without geogrid and in case of GG3 reinforcement in 0-cm height, while in case of GG1 and GG2 reinforcement the maximum of inner shear resistance functions is in the 5...10 cm zone above the geogrid, out of which GG3 had the highest one, because with GG1 and GG2 reinforcement the 38.0 mm and 47.00-mm-sidelength regular triangle apertures were too small compared to the 31.5/63 mm railway ballast particles, therefore the 'interlocking' effect could not fully evolve and take effect.

- Compacted layer both without geogrid reinforcement and with GG1, GG2 and GG3 reinforcement the maximum of inner shear resistance functions were in about 10 cm- height above the geogrid plane, in case of GG3 was the highest value, in case of GG1 (application) weakening in the geogrid plane, while in case of GG2 (application) only little reinforcement could be determined, they refer to the effects of smaller geogrid apertures in compacted railway ballast. Reinforcement in case of GG3 geogrid is 1.4...1.8 times higher than in the case without geogrid.

- Diverging from the geogrid plane the effect of reinforcement prevails more and more with all the three types of geogrids both in uncompacted and compacted railway ballast. It is interesting that the highest amount of reinforcement can be experienced with GG1 geogrid in case of uncompacted ballast in 30 cm height measured from the geogrid plane, the lowest is with GG3 geogrid (Figure 11) – its reason is not clarified yet on the contrary, in compacted ballast (which reflects real-life operating rail tracks better) the optimum in the whole layer thickness is gained with GG3 reinforcement/application containing bigger apertures.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

– In compacted granular protection layer:
 – the maximum of inner shear resistance functions is in the 5...10 cm height in cases without geogrid and with GG1 and GG5 reinforcement, whereas in the cases of other geogrid types it is in the geogrid plane. Reinforcement was achieved with all the geogrid types in the geogrid plane, the highest with GG3, the lowest with GG5, on the contrary, in the whole layer thickness in 10/15...30 cm height GG1, GG3, GG4 and GG7 types do not even reach the value of the inner shear resistance measurable without geogrid, so in this interval slight weakening can be measured. It is an interesting phenomenon that the minimum of reinforcement is in the 15...20 cm zone with GG2, GG5, GG6 and GG7 types. GG6 type is able to reinforce the granular protection layer in the biggest interval, if achieving the highest reinforcement in the geogrid plane is the aim, applying GG3 type is not recommended, because it is only able to ensure 90...95% of the inner shear resistance of the original granular material in the 20...30 cm height.

– Inner shear resistance (Fig. 10) is significantly increased by compaction in geogrid-reinforced railway ballast, the effect is the highest in case of GG3 (2.6 times in the 30 cm height), reinforcement has a maximum in the 15...20 cm height with the application of GG1 and GG2, where 1.9 times higher value can be measured than the inner shear resistance of uncompacted but identical geogrid-reinforced railway ballast.

Based on the results above further observations are made:

– The separation of ballast and protective-reinforcing layer or the material of substructure earth works, the application of geocomposite are highly recommended considering the viewpoints of adequate dewatering and draining, or in such a case the interlocking of ballast particles into the geogrid apertures must be generated (geotextile bonded on geogrid or geotextile laid on the geogrid without bonding are suitable for this purpose, but with welded geogrids (e.g. GG5) the factory geotextile geocomposite, which laid between the geogrid ribs during the welding is not suitable [1, 3, 4].

– A minimum of 23-33-cm ballast thickness is needed for ballast cleaning and tamping in railway ballast under the bottom plane of the sleeper, so this technological limit must be considered when planning.

– The application of GG3 geogrid is recommended with railway ballast.

– Principally the application of GG2, GG5 and GG6 types is recommended with 0/56 mm granular protection layers when the aim is reinforcement in the whole layer thickness, if the reinforcement in the geogrid plane is necessary, GG3 is recommended.

Conclusions

In the article the inner shear resistance of geogrids built under the railway ballast and the 0/56 mm granular protection layer were investigated with a multi-layer shear box specifically developed and manufactured for this purpose. During my examinations uncompacted and compacted railway ballast, and seven different types of geogrids in case of compacted granular protection layer were studied. Inner shear resistance of the railway ballast and the granular protective layer was determined for cases without geogrid and reinforced with different types of geogrids in compacted and uncompacted condition, moreover, reinforcing effects were described with three kinds of increasing factors at each variant.

During laboratory multi-level shear box tests a more widespread analysis of the effects of geogrids built under the railway ballast for track geometry stabilization can be improved in the future with:

– application of used railway ballast that is sharp-edged, i.e. in new condition and consisting of rounded particles,

– usage of dry, wet and oily railway ballast,

– examination of layer structures built on different substructural strength modulus bases (perhaps bonded ballast base [2, 16],

– application of different ballast thicknesses

– usage of other, different types of geogrids/geocomposites,

– tests performed under vertical load,

– perform of dynamic tests,

Further research possibilities with geogrid-reinforced layers are the following:

– examination of layer structures built on different substructural strength bases,

– usage of different layer thicknesses,

– application of several geogrids simultaneously in the layer structure (e.g. in 0 cm and 20 cm height),

– usage of different types of geogrids/geocomposites,

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

- tests performed under vertical load,
- execution of dynamic tests.

Acknowledgements

The mentioned R&D work was supported by MÁV in the framework of R&D contract, for which the author and his colleagues express their thanks this way, too. Furthermore, the author and his colleagues thank Tensar International s.r.o., KŐKA Kő- és Kavicsbányászati Ltd., and Colas Északkő Ltd. for providing the necessary material for our laboratory measurements.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Fischer, Sz. A vasúti zúzottkő ágyazat alá beépített georácsok vágánygeometriát stabilizáló hatásának vizsgálata (in Hungarian) : PhD thesis : Civil Engineering / Szabolcs Fisher ; Széchenyi István Egyetem. – Győr, 2012. – 148 p. doi: 10.13140/RG.2.1.4958.9921.
2. Horvát, F. Átmeneti szakasz kialakítása ágyazatragasztással, eltérő függőleges merevségű pályaszakaszok csatlakozásánál (in Hungarian) / F. Horvát, Z. Major // Sínek Világa. – 2013. – № 2. – P. 6–12.
3. Horvát, F. Evaluation of railway track geometry stabilisation effect of geogrid layers under ballast on the basis of laboratory multi-level shear box tests / F. Horvát, Sz. Fischer, Z. Major // Acta Technica Jaurinensis. – 2013. – № 2. – P. 21–44.
4. Horvát, F. Geoműanyagokkal erősített vasúti zúzottkő ágyazat újszerű vizsgálata többszintes nyírólágában (in Hungarian) / F. Horvát, Sz. Fischer, Z. Major // Sínek Világa. – 2012. – № 6. – P. 18–24.
5. Indraratna, B. Stabilisation of granular media and formation soil using geosynthetics with special reference to railway engineering / B. Indraratna, M. A. Shahin, W. Salim // Proc. of the Institution of Civil Engineers–Ground Improvement. – 2007. – Vol. 11. – Iss. 1. – P. 27–44. doi: 10.1680/grim.-2007.11.1.27.
6. Kharlan, V. I. The rational train speed choice problem with the help of mathematical modeling of the railway section exploitation process (in Ukrainian) / V. I. Kharlan, D. M. Kurhan, I. O. Bondarenko // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 18. – P. 71–74.
7. Kurhan, D. M. Determination of dynamic loads from the wheel on the rail for high-speed trains (in Ukrainian) / D. M. Kurhan // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 3 (57). – P. 118–128. doi: 10.15802/stp2015/46069.
8. Kurhan, M. B. The time trains losses on sections of speed limits (in Ukrainian) / M. B. Kurhan, O. S. Markova // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 18. – P. 54–61.
9. Nimbalkar, S. Performance assessment of reinforced ballasted rail track / S. Nimbalkar, T. Neville, B. Indraratna // Proc. of the Institution of Civil Engineers–Ground Improvement – 2014. – Vol. 167. – Iss. 1. – P. 24–34. doi: 10.1680/grim.13.00018.
10. Raymond, G. P. Reinforced ballast behaviour subjected to repeated load / G. P. Raymond // Geotextiles and Geomembranes. – 2002. – Vol. 20. – Iss. 1. – P. 39–61. doi: 10.1016/S02661144-(01)00024-3.
11. Raymond, G. The effect of geogrid reinforcement on unbound aggregates / G. Raymond, I. Ismail // Geotextiles and Geomembranes. – 2003. – Vol. 21. – Iss. 6. – P. 355–380. doi: 10.1016/S0266-1144(03)00044-X.
12. Sharpe, P. Geogrid Trials at Coppull Moor on the West Coast Main Line / P. Sharpe, M. J. Brough, J. Dixon // Proc. of 1st Int. Conf. on Railway Foundations–Railfound06 (11.09–13.09.2006). – Birmingham : University of Birmingham, 2006. – P. 367–375.
13. Shin, E. C. Geogrid-reinforced railroad bed settlement due to cyclic load / E. C. Shin, D. H. Kim, B. M. Das // Geotechnical and Geological Engineering. – 2002. – № 3. – P. 261–271. doi: 10.1023/A:1016040414725.
14. Stabilisation of ballasted rail tracks and underlying soft formation soils with geosynthetic grids and drains / B. Indraratna, M. Shahin, C. Ruijkiatkamjorn, D. Christie // Ground Modification and Seismic Mitigation (06.06–08.06.2006) : Proc. of GeoShanghai Int. Conference. – 2006. – P. 143–152. doi: 10.1061/40864(196)20.
15. Stahl, M. Interaktion Geogitter-Boden «Numerische Simulation und experimentelle Analyse» (in German) : Ph.D. thesis : Civil Engineering / Michael Stahl ; Technischen Universität Bergakademie Freiberg. – Freiberg, 2011. – 166 p.
16. Szabó, J. Tests experiences in small radius curves of continuously welded rail tracks / J. Szabo // Periodica Polytechnica: Civil Engineering. – 2011. – № 2. – P. 177–189. doi: 10.3311/pp.ci.2011-2.10.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

С. ФИШЕР^{1*}

^{1*}Каф. «Инфраструктура транспорта», Университет Сечени Иштвана, факультет архитектуры, гражданского и транспортного машиностроения, Университетская площадь, 1, Дьер, Венгрия, 9026, tel. + 36 (96) 613 544, эл. почта. fischersz@sze.hu, ORCID 0000-0001-7298-9960

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СДВИГУ ГЕОРЕШЕТОК, УЛОЖЕННЫХ ПОД БАЛЛАСТНЫЙ СЛОЙ ДЛЯ ЕГО ЗАЩИТЫ

Цель. Использование соответствующих сыпучих материалов и многослойных структур на макро- и микроуровне конструкции железнодорожного пути способно стабилизировать геометрию железной дороги. Для реализации этой цели должны быть определены соответствующие характеристики применяемых материалов, в т.ч. внутреннее сопротивление сдвигу. Внутреннее сопротивление сдвигу сыпучих материалов с армированием георешеткой и без него – на разных глубинах пока не изучено. **Методика.** Автором разработан специальный лабораторный метод измерения и определения внутреннего сопротивления сдвигу зернистых материалов, который называется «многоуровневый бокс тестирования на сдвиг». Этот метод является адекватным для определения внутреннего сопротивления сдвигу (сдвигающая сила) в зависимости от глубины (расстояние от «нулевой» поверхности). Во время испытаний было рассмотрено два различных сыпучих материала: балласт (31.5/63 мм) и слой защитного материала (0/56 мм), а также семь различных типов георешеток (GG1...GG7). **Результаты.** Испытаниями, проводимыми с использованием многоуровневого бокса тестирования на сдвиг, определены значения внутреннего сопротивления сдвигу балласта, как без использования армирования, так и с использованием укрепления различными типами георешеток. Они представлены в виде функции от глубины в вертикальном направлении для уплотненного и неуплотненного состояния материала. При исследовании защитного слоя 0/56 мм рассматривались только уплотненные образцы. Установленные средние значения функции регрессии в виде кубического полинома представлены в графическом виде. Для всех вариантов получены значения коэффициентов детерминации функции регрессии $R^2 > 0.97$. Используя полиномиальные функции регрессии, полученные по средним значениям результатов испытаний, установлены три основных параметра в зависимости от расстояний, измеренных от георешетки, – «А», «В» и «D». **Научная новизна.** Разработанный автором многоуровневый бокс тестирования на сдвиг сертифицирован как адекватный для определения внутреннего сопротивления сдвигу армированных и неармированных сыпучих материалов, в том числе балласта и его защитного слоя. **Практическая значимость.** В статье сформулированы требования и даны рекомендации по выбору типов георешеток для усиления и защиты балласта с целью стабилизации геометрии положения рельсов, а также для случаев дегидрирования, дренирования, сепарирования и неполноты балластного слоя.

Ключевые слова: балласт; армирование георешеткой; гранулированные защитные слои; многоуровневый бокс тестирования на сдвиг; внутреннее сопротивление сдвигу

С. ФИШЕР^{1*}

^{1*}Каф. «Инфраструктура транспорту», Університет Сечені Іштвана, факультет архітектури, цивільного і транспортного машинобудування, Університетська площа, 1, Д'єр, Угорщина, 9026, тел. + 36 (96) 613 544, ел. пошта fischersz@sze.hu, ORCID 0000-0001-7298-9960

ДОСЛІДЖЕННЯ ВНУТРІШНЬОГО ОПОРУ ЗСУВУ ГЕОРЕШІТОК, ЯКІ ВКЛАДЕНІ ПІД БАЛАСТНИЙ ШАР ДЛЯ ЙОГО ЗАХИСТУ

Мета. Використання відповідних сипучих матеріалів і багатошарових структур на макро- та мікрорівні конструкції залізничної колії здатне стабілізувати геометрію залізниці. Для реалізації цієї мети повинні бути визначені відповідні характеристики матеріалів, що використовуються, у т.ч. внутрішній опір зсуву. Внутрішній опір зсуву сипучих матеріалів із армуванням георешіткою та без нього – на різних глибинах поки що не вивчено. **Методика.** Автором розроблено спеціальний лабораторний метод вимірювання та

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

визначення внутрішнього опору зсуву зернистих матеріалів, який має назву «багаторівневий бокс тестування на зсув». Цей метод є адекватним для визначення внутрішнього опору зсуву (сила зсуву) в залежності від глибини (відстань від «нульової» поверхні). Під час випробувань було розглянуто два різних сипучих матеріали: баласт (31.5/63 мм) і шар захисного матеріалу (0/56 мм), а також сім різних типів георешіток (GG1...GG7). **Результати.** В результаті випробувань, які проводились із використанням багаторівневого боксу тестування на зсув, встановлені значення внутрішнього опору зсуву баласту, як без застосування армування, так і з використанням укріплення різними типами георешіток. Вони представлені у вигляді функції від глибини у вертикальному напрямку для ущільненого та неущільненого стану речовини. При дослідженні захисного шару 0/56 мм були розглянуті тільки ущільнені зразки. Середні значення функції регресії у вигляді кубічного поліному, що були визначені, представлені в графічному вигляді. Для всіх варіантів були отримані значення коефіцієнтів детермінації функції регресії $R^2 > 0.97$. Використовуючи поліноміальні функції регресії, що отримано за середніми значеннями результатів випробувань, встановлені три основні параметри відносно відстані від георешітки, – «А», «В» і «D». **Наукова новизна.** Багаторівневий бокс тестування на зсув, що був розроблений автором, сертифікований як адекватний для визначення внутрішнього опору зсуву армованих і неармованих сипучих матеріалів, у тому числі баласту та його захисного шару. **Практична значимість.** У статті сформульовані вимоги та надані рекомендації щодо вибору типів георешіток для посилення й захисту баласту з метою стабілізації геометрії положення рейок, а також стосовно випадків дегідрування, дренажування, сепарування та неповноти баластного шару.

Ключові слова: баласт; армування георешіткою; гранульовані захисні шари; багаторівневий бокс тестування на зсув; внутрішній опір зсуву

REFERENCES

1. Fischer Sz., Széchenyi I.E. A vasúti zúzottkő ágyazat alá beépített georácsok vágánygeometriát stabilizáló hatásának vizsgálata (in Hungarian). PhD thesis. Civil Engineering. Győr, 2012. 148 p. doi: 10.13140/RG.2.1.4958.9921.
2. Horvát F., Major Z. Átmeneti szakasz kialakítása ágyazatragasztással, eltérő függőleges merevségű pályaszakaszok csatlakozásánál (in Hungarian). *Sínek Világa*, 2013, no. 2, pp. 6-12.
3. Horvát F., Fischer Sz., Major Z. Evaluation of railway track geometry stabilisation effect of geogrid layers under ballast on the basis of laboratory multi-level shear box tests. *Acta Technica Jaurinensis*, 2013, no. 2, pp. 21-44.
4. Horvát F., Fischer Sz., Major Z. Geoműanyagokkal erősített vasúti zúzottkő ágyazat újszerű vizsgálata többszintes nyíróládában (in Hungarian). *Sínek Világa*, 2012, no. 6, pp. 18-24.
5. Indraratna B., Shahin M.A., Salim W. Stabilisation of granular media and formation soil using geosynthetics with special reference to railway engineering. *Proc. of the Institution of Civil Engineers–Ground Improvement*, 2007, vol. 11, issue 1, pp. 27-44. doi: 10.1680/grim.2007.11.1.27.
6. Kharlan V.I., Kurhan D.M., Bondarenko I.O. The rational train speed choice problem with the help of mathematical modeling of the railway section exploitation process (in Ukrainian). *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 18, pp. 71-74.
7. Kurhan D.M. Determination of dynamic loads from the wheel on the rail for high-speed trains (in Ukrainian). *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2015, no. 3 (57), pp. 118-128. doi: 10.15802/stp2015/46069.
8. Kurhan M.B., Markova O.S. The time trains losses on sections of speed limits (in Ukrainian). *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 18, pp. 54-61.
9. Nimbalkar S., Neville T., Indraratna B. Performance assessment of reinforced ballasted rail track. *Proc. of the Institution of Civil Engineers–Ground Improvement*, 2014, vol. 167, issue 1, pp. 24-34. doi: 10.1680/grim.13.00018.
10. Raymond G.P. Reinforced ballast behaviour subjected to repeated load. *Geotextiles and Geomembranes*, 2002, vol. 20, issue 1, pp. 39-61. doi: 10.1016/S0266-1144(01)00024-3.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

11. Raymond G., Ismail I. The effect of geogrid reinforcement on unbound aggregates. *Geotextiles and Geomembranes*, 2003, vol. 21, issue 6, pp. 355-380. doi: 10.1016/S0266-1144(03)00044-X.
12. Sharpe P., Brough M.J., Dixon J. Geogrid Trials at Coppull Moor on the West Coast Main Line. Proc. of 1st Int. Conf. on Railway Foundations–RailFound06 (11.09-13.09. 2006), Birmingham, University of Birmingham Publ., 2006, pp. 367-375.
13. Shin E.C., Kim D.H., Das B.M. Geogrid-reinforced railroad bed settlement due to cyclic load. *Geotechnical and Geological Engineering*, 2002, no. 3, pp. 261-271. doi: 10.1023/A:1016040414725.
14. Indraratna B., Shahin M., Ruijikiatkamjorn C., Christie D. Stabilisation of ballasted rail tracks and underlying soft formation soils with geosynthetic grids and drains. Proc. of GeoShanghai Int. Conference «Ground Modification and Seismic Mitigation (06.06-08.06.2006)», 2006, pp. 143-152. doi: 10.1061/40864(196)20.
15. Stahl, M. Interaktion Geogitter-Boden «Numerische Simulation und experimentelle Analyse» (in German). Ph.D. thesis. Civil Engineering. Freiberg, 2011, 166 p.
16. Szabó J. Tests experiences in small radius curves of continuously welded rail tracks. *Periodica Polytechnica: Civil Engineering*, 2011, no. 2, pp. 177-189. doi: 10.3311/pp.ci.2011-2.10.

Dr. Peter Füleki, Ass. Prof., Doctor of Philosophy (PhD) in Civil Engineering (Hungary); Prof. N. B. Kurhan, D. Sc. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Received: Aug. 12, 2015

Accepted: Oct. 13, 2015

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

UDC 691.87:691.714

I. A. VAKULENKO^{1*}, A. G. LISNYAK², O. N. PERKOV³, XU XIAO HAI⁴

^{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 dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-7353-1916

²Dep. «Technology of Mining Machinery», Dnipropetrovsk National Mining University, K. Marks Av., 19, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49027, tel.+38 (0562) 46 99 81, e-mail aleklisn@gmail.com, ORCID 0000-0001-6701-5504

³Iron and Steel Institute named after Z. I. Nekrasova, NAN Ukraine, Starodubov Sq., 1, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49107, +38 (056) 373 15 56, e-mail dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-8101-1654

⁴Chinese Machine-Building Investment Group of Ltd, Anli St., 60, Beijing, Chinese Folk Republic, 100101, tel. 86 10 64827530, e-mail xxhai2004@163.com, ORCID 0000-0002-0338-5976

INFLUENCE OF SHOCK VOLTAGE FROM THE ELECTRIC DISCHARGE ON THE FATIGUE ENDURANCE OF CARBON STEEL IN WATER

Purpose. The research supposes the explanation of influence of stress impulses from an electrical discharge in water on the level of the limited endurance at a cyclic loading of the thermally work-hardened carbon steel. **Methodology.** Material for research was steel 45 (0,45 % carbon) with concentration of chemical elements within the limits of steel composition. Specimens for tests are made as plates in 1 thick, width 15 and length 120-180 mm. The structural state of steel corresponded to quenching on a martensite from the normal temperatures of annealing and tempering at 300 °C, duration of 1 h. Microstructure was investigated with the use of electronic microscopy, the density of dislocations was estimated on the methods of X-ray analysis. Hardness was measured on the method of Rockwell (scale of «C»). A cyclic loading was carried out in the conditions of symmetric bend on a tester «Saturn-10» at a temperature +20 °C. The treatment by shock voltage from the electrical discharge was carried out in water on setting of bath type «Iskra-23», used for cleaning of castings manufactures. Electric impulses were formed at 15-18 kV with energy of 10-12 kJ and amplitude of 1-2 GPa. **Findings.** As a result of processing pulses of a pressure wave of heat-strengthened steel 45 found the increase of endurance under the cyclic loading corresponds to an increased amount of accumulated dislocations on the fracture surface. The use of Coffin–Manson Equation allowed finding the decrease of deformation per cycle of loading as a result of arising stress from an electrical discharge in water. On the fracture surface (after pulse exposure) was found the increased number of dislocations, located in different crystallographic systems, that is a testament to the rather complicated development of dislocation transformations in the structure of steel, which provide an increase of endurance at a fatigue. The increase of the limited endurance became as a result of impulsive treatment largely related with the number change of mobile dislocations. For the area of low-cyclic fatigue the growth of amplitude of loading is accompanied with the decrease of distinction in the values of the limited endurance (before and after the treatment of shock voltage). **Originality.** For the field of high-cycle fatigue, the result of shock voltage of carbon steel with the structure of the improvements, the increase of limited endurance is accompanied with a decrease in deformation per cycle. As far as growth of amplitude of stress cycle the effect of increase of endurance from treatment of metal by the shock voltage declines. **Practical value.** Treatment of metal by the impulses of pressure waves from an electrical discharge in water can be used for the time extending of exploitation details of the rolling stock, which are subjects of the cyclic loading.

Keywords: hardness; distribution; impulse of pressure; electric discharge; limited endurance

Introduction

Regardless of the circuit loading, the observed changes of the internal structure of metal materials are determined largely by the conditions of deformation. At a constant temperature and the appearance of the loading cycle, depending on the magnitude of amplitude exceeding the endurance limit, the qualitatively different structural changes in metallic materials are observed [2]. For the fields of little or a high cycle fatigue the increase in the dislocation density and their redistribution, the number keeping of dislocations in a non-blocking state are among the major factors that determine stock endurance metal [14]. On this basis, the use of external influences such as the introduction of additional harmonics in the loading cycle, or intermediate treatments, for example by passing an impulse of electric current [6,10], can significantly change the processes course of structure formation development under the cyclic loading.

The state of the question

The technology of processing metal materials using a shock wave, with relative ease of implementation, was widely adopted. [4]. This technology allows to solve difficult tasks, such as deformation in the manufacture of large-size products, their hardening or welding of the individual elements construction. The achieved effect has an explicit dependence on the threshold voltage with the passage of the shock wave in the metal, depending on the level of disposable energy input, or pulse resulting voltage [7, 13], their amount, the achieved effect has an explicit dependence on the threshold voltage with the passage of the shock wave in the metal. Moreover, as the experience of use said the impulse treatment to harden metal, the achieved result in several times may exceed the effect of equivalent plastic strain [4, 12].

Known experimental results [4, 5] indicate that the process of hydraulic shock encountered when forming an electric discharge in the liquid the achieved effect for most of metal materials is adequate hardening. On this basis it is quite natural to expect the increase in the number of crystalline structure defects. The results of studies that indicate a qualitatively different influence of the parameters of the specified impulsive loading have a particular scientific and practical interest. Thus, in [4] it is shown that the increase of the amplitude

of the emerging pressure wave largely determines the increase in the number of dislocations and increase the pulse duration at constant amplitude mainly affects on the process of displacement.

There is almost no information on the influence of energy and number of pulses on several properties, including enduring quality of metal under the cyclic loading, except the known restrictions on the use of the technology shock pulse processing in the manufacture of certain products [5].

Purpose

Explanation of the effect of the resulting voltage pulses from electric discharge in water on the magnitude of the limited endurance of thermally hardened carbon steels under cyclic loading.

Methodology

The research material was steel 45 (0.45% of carbon) with the concentration of chemical elements within the grade composition. The test specimen produced in the form of plates thickness 1, width 15 and a length 120-180 mm. Structural state of steel corresponded to quenching on martensite from the normal heating temperatures and annealing at 300 C, with duration of 1 h. The microstructure was investigated using the electron microscopy; the dislocation density was evaluated by the methods of x-ray structural analysis [1]. The hardness was measured with Rockwell method (scale «C»). Cyclic loading was performed under conditions of symmetrical bending on a testing machine «Saturn-10» at a temperature of +20 C. Treatment of shock voltage (SV) from the electric discharge in water was performed with the installation of bath type «Iskra-23» used for cleaning of foundry products. The electrical pulses formed at a voltage of 15 to 18 kV with energy of 10-kJ and the amplitude of 1-2GPa. Metal processing consisted in the set of pulses number up to 15 thousand, at a frequency of 2-3Hz.

Findings

In the present research when choosing a structural condition of carbon steel as a result of tempering on martensite and annealing 300 C the authors were guided primarily by the need to achieve the simultaneously a high density of crystal structure defects and sufficient endurance under the cy-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

clic loading metal. The analysis of the microstructure showed that as a result of the treatment (Fig.1) the signs of the initial stages of emission of finely dispersed carbide particles on the dislocations, situated in the middle of the martensite strips and at their boundaries were found. Moreover, as it shown in [9], the evidence of the dislocations recombination beginning, which can result in a decrease of the dislocations density and formation of dislocation nonmonotonicity in the distribution, is the reduction of the contrast image of the microstructure. The observed loss of contrast of an image in separate places of the wide walls of dislocations (Fig.1) with simultaneous decoration of carbon atoms can be regarded as evidence of the almost total absence of mobile dislocations. On this basis, it can be assumed that the majority of dislocations introduced into the metal during the formation of martensite crystal, after the following holidays are not able to move under cyclic loading.

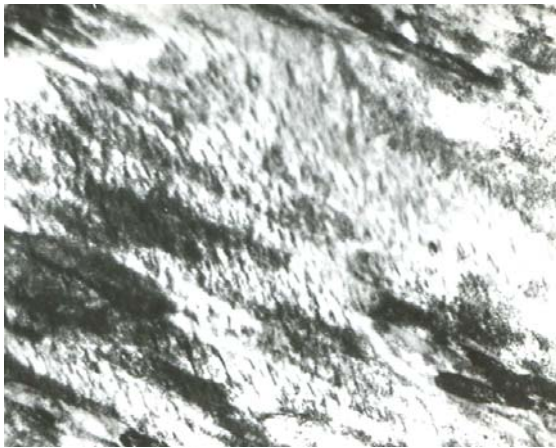
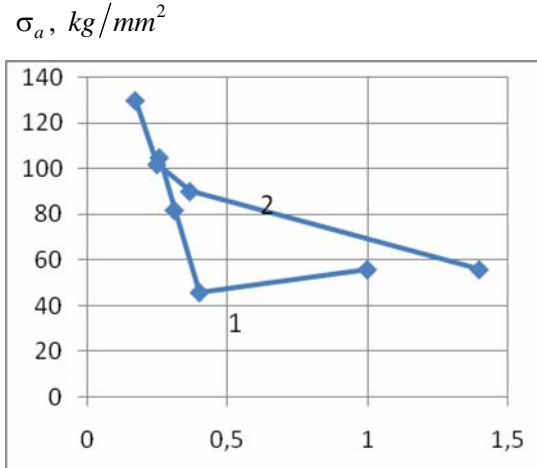


Fig. 1. Structure of steel 45 after tempering and annealing at 300 °C. Magnification is 14000 × 1,3.

To analyze the degree of compliance of the obtained results with known experimental data of the investigated steel after annealing and tempering without cyclic loading was exposed by SV. In state after annealing and tempering the steel 45 had a hardness HRC of 46.6. The obtained values are in fairly good agreement with the known data [3, 11]. After treatment of SV it was found that the hardness increase of 11% (to 51.8 HRC), that does not contradict to data [10, 12]. Thus, the impact impulse from the pressure wave by the nature of its influence on the heat-treated carbon steel should be attributed to the hardening effect.

In Fig. 2 the areas graphs of cyclic loading that correspond to low cycle and the transition region to high-cycle fatigue are shown.



$N_i \times 10^6$ cycle.

Fig. 2. The diagrams of cyclic loading steel 45 after tempering and annealing at 300 °C (1) and after treatment of SV (2).

Firstly, the curve of cyclic loading steel 45 after tempering and annealing of 300 (curve 1, Fig. 2) was received. Further, knowing the number of cycles that a metal can withstand before failure at a certain value of amplitude (σ_a), the samples loading to about 0,6-0,65 limited endurance was carried out, they were exposed by SV and after that the samples were brought to failure. The value of the limited endurance was estimated as the sum of the number of cycles before the SV and after the final decay at a particular amplitude (curve 2). Comparative analysis of progress curves indicates the possible qualitative differences in the internal structure of the metal with different structural condition under the cyclic loading. For example, for a field of low-cycle fatigue the increases of the loading amplitude is accompanied by a decrease of differences in values of finite life (before and after SV), when $\sigma_a = 100 \text{ kg/mm}^2$ is practically absent. Further extrapolation of the curves of cyclic loading in the field of amplitudes exceeding 100 kg/mm^2 indicates the achieving of the opposite effect: the impulse of the shock wave treatment helps to reduce the limited endurance (Fig. 2). On the other hand, the reduction σ_a regardless of previous processing, is accompanied by a corresponding increase in the number of cycles before failure,

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

and the observed more gently sloping curve run of metal fatigue after SV indicates a fairly effective impact on endurance. Indeed, exposing the carbon steel to the action of pulses of a pressure wave in water, the amplitude of the cyclic loading while achieving the same endurance increases significantly. This is especially noticeable for the transition curves of fatigue. On the other hand, for the same amplitude of the cyclic loading, for example, at 56 kg/mm^2 , the increase in endurance may exceed 30% (Fig. 2).

The analysis of changes in the dislocation density after reaching a certain level of limited endurance of metal was conducted with the aim to explain the mechanism influencing the metal of the voltage pulse from the passage of electrical discharge in water. In Fig. 3 the change in the density of dislocations depending on the number of loading cycles and previous treatment is presented. Regardless of the structural state of the metal (without or after SV) a decrease in the amplitude of cyclic loading is accompanied by increase of the accumulated dislocation density in the studied interferences ($\rho_{(hkl)}$). Considering that the dislocation density was determined on the fracture surface of the samples, the nature of the change and absolute values should correspond to flat deformed state of the metal formed under the conditions of accelerated fatigue crack growth [2].

On the other hand, given the increasing role of the static component with increase the degree of overload under the cyclic loading (adequate growth σ_a) [8], the number of dislocations on the fracture surface should decrease. One explanation of given position is increased with the increase σ_a in the proportion of the metal under the conditions of volumetric stress state near the surface of the fracture. On the basis of this the greater extent enrichment of near-surface dislocations of specified amounts of metal should be occurring and, as a consequence, there is a decrease in the dislocation density determined on the fracture surface.

Given the dislocation propagation mechanism of plastic deformation, the assessment of its value during the loading cycle will provide the additional evidence regarding the nature of structural changes with increasing toughness of the metal as a result of SV effect. The ratio of the magnitude of plastic strain per cycle of loading (ε_i) and the achieved

number of cycles to failure (N_i) is subject to the famous Coffin–Manson Equation [2]:

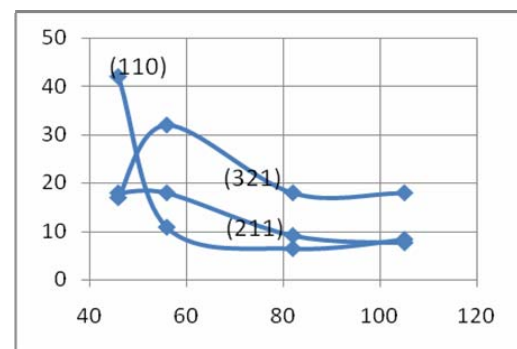
$$\varepsilon_i \cdot (N_i)^a = b, \quad (1)$$

where a and b – are taken as constant and equal to carbon steel of 0.5 and 1 respectively [2]. After conversion of (1), it was received for the dependence assessment of ε_i :

$$\varepsilon_i = 1/\sqrt{N_i} \quad (2)$$

– a

$$\rho_{(hkl)}, \times 10^{10} \text{ sm}^{-2}$$



– b

$$\rho_{(hkl)}, \times 10^{10} \text{ sm}^{-2}$$

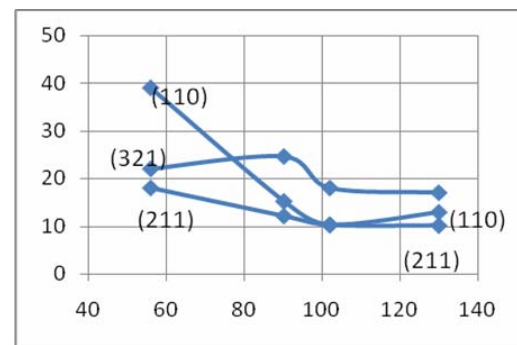


Fig. 3. The change of dislocations density, estimated on interferences (110), (211) and (321) depending on amplitude of cyclic loading and preliminary treatment: without SV (a) and after SV (b).

Substituting in (2), for the same σ_a corresponding values N_i , it was found the decrease of deformation per cycle of loading by approximately 20% as a result of processing metal by SV. On this basis, it can be assumed that the process of introducing of additional dislocations in thermally

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

hardened steel from pulse pressure wave is not accompanied by the annihilation events apparently. Moreover, the implementation of the deformation per cycle for the region of high-cycle fatigue is possible and it is ensured by the participation of a smaller number of dislocations. Thus, either the process of SV has the vast number of dislocations that remain mobile and able to interact only at the subsequent cyclic loading, or there is an additional unlock of previously immobile dislocations after the heat strengthening. In general, the detected on the fracture surface after pulsed effect the increased number of dislocations, located in different crystallographic systems can be regarded as evidence of the development rather complicated dislocation reactions, which has provided the increase in endurance of the metal during the cyclic loading process of thermally hardened carbon steel.

Originality and practical value

1. For the transition field to high-cycle fatigue, the result of machining voltage pulses of carbon steel with structure improve the limited endurance increase is accompanied by a decrease in deformation per cycle.

2. With the increase of the amplitude of the voltage cycle, the effect of metal endurance increase from processing of SV reduced.

Metal working by pulses of pressure waves from an electric discharge in water can be used to extend the lifetime of rolling stock parts, which are subjected to cyclic loading.

Conclusions

1. As a result of processing by pulses of the pressure wave of heat-strengthened steel 45 it was found the increase of endurance under cyclic loading corresponds to the increased amount of accumulated dislocations on the fracture surface.

2. The increase of steel endurance under the cyclic loading after pulse treatment is largely associated with the change in the number of mobile dislocations.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Гинье, А. Рентгенография кристаллов / А. Гинье. – Москва : Государств. изд-во физико-матем. лит., 1961. – 604 с.

2. Нотт, Дж. Ф. Основы механики разрушения / Дж. Ф. Нотт. – Москва : Металлургия, 1978. – 256 с.
3. Совершенствование состава и термической обработки сталей для ножей холодной резки листового проката / В. Г. Ефременко, А. В. Мурашкин, Е. П. Иванченко [и др.] // Сталь. – 2007. – № 1. – С. 75–77.
4. Ударные волны и явления высокоскоростной деформации металлов / под ред. М. А. Мейерса и Л. Б. Мурра. – Москва : Металлургия, 1984. – 510 с.
5. Чачин, В. Н. Электрогидравлическая обработка машиностроительных материалов / В. Н. Чачин. – Минск : Наука и техника, 1978. – 184 с.
6. A research on electroplastic effects in wire-drawing process of an austenitic stainless steel / K-F. Yao, J. Wang, M. Zheng [et al.] // Scripta Materialia. – 2001. – Vol. 45. – Iss. 15. – P. 533–539. doi: 10.1016/s1359-6462(01)01054-5.
7. Comparison of the structural properties and residual stress of AlN films deposited by dc magnetron sputtering and high power impulse magnetron sputtering at different working pressures / K. Ait Aissa, A. Achour, J. Camus [et al.] // Thin Solid Films. – 2014. – Vol. 550. – P. 264–267. doi: 10.1016/j.tsf.2013.11.073.
8. Conrad, H. Effects of electric current on solid state phase transformations in metals // Materials Science and Engineering : A. – 2000. – Vol. 287. – Iss. 2. – P. 227–237. doi: 10.1016/s0921-5093(00)00780-2.
9. Dhadeshia, H. K. D. H. Bainite in Steels / H. K. D. H. Dhadeshia. – Cambridge : The University Press, 2001. – 454 p.
10. Electric pulse treatment of welded joint of aluminum alloy / I. A. Vakulenko, Yu. L. Nadezhdin, V. A. Sokirko [et al.] // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 4 (46). – P. 73–82. doi: 10.15802/stp2013/16584.
11. Experimental study of electroplastic effect on stainless steel wire 304L / G. Tang, J. Zhang, M. Zheng [et al.] // Materials Science and Engineering : A. – 2000. – Vol. 281. – Iss. 1–2. – P. 263–267. doi: 10.1016/s0921-5093(99)00708-x.
12. Morgan, W. L. Surface electrical discharges and plasma formation on electrolyte solutions / W. L. Morgan, L. A. Rosocha // Chemical Physics of Low-Temperature Plasmas. – 2012. – Vol. 398. – P. 255–261. doi: 10.1016/j.chemphys.2011.06.037.
13. Numerical simulation of high voltage electric pulse comminution of phosphate ore / S. M. Razavian, B. Rezai, M. Irannajad [et al.] // Intern.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

- J. of Mining Sci. and Tech. – 2015. – Vol. 25. – Iss. 3. – P. 473–478. doi: 10.1016/j.ijmst.2015.-03.023.
14. Vakulenko, I. A. The Influence Mechanism of Ferrite Grain Size on Strength Stress at the Fatigue of Low-Carbon Steel / I. A. Vakulenko, S. V. Proydak // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 1 (49). – P. 97–104. doi: 10.15802/stp-2014/22668.

I. O. ВАКУЛЕНКО^{1*}, А. Г. ЛІСНЯК², О. М. ПЕРКОВ³, СЮ СЯ ХАЙ⁴

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

²Каф. «Технологія гірничого машинобудування», Дніпропетровський національний гірничий університет, пр. К. Маркса, 19, Дніпропетровськ, Україна, 49027, тел.+38 (0562) 46 99 81, ел. пошта alekislisn@gmail.com, ORCID 0000-0001-6701-5504

³Інститут чорної металургії імені З. І. Некрасова, НАН України, пл. Стародубова, 1, Дніпропетровськ, Україна, 49107, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-8101-1654

⁴Китайська машинобудівна інвестиційна група Лтд, вул. Анлі, 60, Пекін, Китайська народна республіка, 100101, тел. 86 10 64827530, ел. пошта xxhai2004@163.com, ORCID 0000-0002-0338-5976

ВПЛИВ ІМПУЛЬСУ НАПРУЖЕННЯ ВІД ЕЛЕКТРИЧНОГО РОЗРЯДУ У ВОДІ НА ВИТРИВАЛІСТЬ ПРИ ВТОМІ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Мета. Дослідження передбачає пояснення впливу імпульсів виникаючого напруження від електричного розряду у воді на величину обмеженої витривалості при циклічному навантаженні термічно зміщеної вуглецевої сталі. **Методика.** Матеріалом для дослідження була сталь 45 (0,45 % вуглецю) із концентрацією хімічних елементів у межах марочного складу. Зразки для випробувань виготовляли у вигляді пластин завтовшки 1, шириною 15 і завдовжки 120-180 мм. Структурний стан сталі відповідав гартуванню на мартенсит від нормальних температур нагріву й відпуску при 300 °С, тривалістю 1 год. Мікроструктуру досліджували з використанням електронної мікроскопії, густину дислокацій оцінювали за методиками рентгеновського структурного аналізу. Твердість вимірювали за методом Роквелла (шкала «С»). Циклічне навантаження здійснювали в умовах симетричного вигину на випробувальній машині «Сатурн-10» при температурі +20 °С. Обробку імпульсами напружень від електричного розряду здійснювали у воді на установці ванного типу «Іскра-23», яку використовують для очищення ливарних виробів. Електричні імпульси формувалися при нарузі електричного струму 15–18 кВ, з енергією 10–12 кДж та амплітудою 1–2 ГПа. **Результати.** У результаті обробки імпульсами хвилі тиску термічно зміщеної сталі 45 виявленому збільшенню витривалості при циклічному навантаженні відповідає підвищена кількість накопичених дислокацій на поверхні руйнування. Використання рівняння Кофіна–Менсона дозволило виявити зниження деформації за цикл навантаження в результаті виникаючого напруження від електричного розряду у воді. Виявлена на поверхні руйнування (після імпульсної дії) підвищена кількість дислокацій, розташованих у різних кристалографічних системах, є свідченням розвитку достатньо складних дислокаційних перетворень у структурі сталі, які забезпечили приріст витривалості при втомі. Приріст обмеженої витривалості сталі в результаті імпульсної обробки в значній мірі пов'язаний зі зміною числа рухомих дислокацій. Для області малоциклової втоми зростання амплітуди навантаження супроводжується зниженням різниці в значеннях обмеженої витривалості (до і після обробки імпульсами напружень). **Наукова новизна.** Для області багатоциклової втоми, в результаті обробки імпульсами напружень вуглецевої сталі зі структурою поліпшення, приріст обмеженої витривалості супроводжується зниженням деформації за цикл. По мірі зростання амплітуди напруження циклу ефект приросту витривалості від обробки металу імпульсами напружень знижується. **Практична значимість.** Обробка металу імпульсами хвилі тиску від електричного розряду у воді може бути використана для продовження терміну експлуатації деталей рухомого складу, які піддаються циклічному навантаженню.

Ключові слова: твердість; дислокація; імпульс тиску; електричний розряд; обмежена витривалість

И. А. ВАКУЛЕНКО^{1*}, А. Г. ЛИСНЯК², О. Н. ПЕРКОВ³, СЮ СЯ ХАЙ⁴

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

²Каф. «Технология горного машиностроения», Днепропетровский национальный горный университет, пр. К. Маркса, 19, Днепропетровск, Украина, 49027, тел. +38 (0562) 46 99 81, эл. почта aleklisn@gmail.com, ORCID 0000-0001-6701-5504

³Институт черной металлургии имени З. И. Некрасова, НАН Украины, пл. Стародубова, 1, Днепропетровск, Украина, 49107, +38 (056) 373 15 56, эл. почта dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-8101-1654

⁴Китайская машиностроительная инвестиционная группа Лтд, ул. Анли, 60, Пекин, Китайская народная республика, 100101, тел. 86 10 64827530, эл. почта xxhai2004@163.com, ORCID 0000-0002-0338-5976

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСА НАПРЯЖЕНИЯ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ВОДЕ НА ВЫНОСЛИВОСТЬ ПРИ УСТАЛОСТИ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Цель. Исследование предполагает объяснение влияния импульсов возникающего напряжения от электрического разряда в воде на величину ограниченной выносливости при циклическом нагружении термически упрочненной углеродистой стали. **Методика.** Материалом для исследования являлась сталь 45 (0,45 % углерода) с концентрацией химических элементов в пределах марочного состава. Образцы для испытаний изготавливали в виде пластин толщиной 1, шириной 15 и длиной 120–180 мм. Структурное состояние стали соответствовало закалке на мартенсит от нормальных температур нагрева и отпуска при 300 °С, длительностью 1 ч. Микроструктуру исследовали с использованием электронной микроскопии, плотность дислокаций оценивали с использованием методик рентгеноструктурного анализа. Твердость измеряли по методу Роквелла (шкала «С»). Циклическое нагружение осуществляли в условиях симметричного изгиба на испытательной машине «Сатурн-10» при температуре +20 °С. Обработку импульсами напряжения от электрического разряда осуществляли в воде на установке ванного типа «Искра-23», используемой для очистки литейных изделий. Электрические импульсы формировались при напряжении 15–18 кВ, с энергией 10–12 кДж и амплитудой 1–2 ГПа. **Результаты.** В результате обработки импульсами волны давления термически упрочненной стали 45 обнаружено увеличение выносливости при циклическом нагружении соответствует повышенное количество накопленных дислокаций на поверхности разрушения. Использование уравнения Кофина–Менсона позволило обнаружить снижение деформации за цикл нагружения в результате возникающего напряжения от электрического разряда в воде. Обнаруженное на поверхности разрушения (после импульсного воздействия) повышенное количество дислокаций, расположенных в различных кристаллографических системах, является свидетельством развития достаточно сложных дислокационных преобразований в структуре стали, которые обеспечили прирост выносливости при усталости. Увеличение ограниченной выносливости стали в результате возникающего напряжения от импульсной обработки в значительной степени связано с изменением числа подвижных дислокаций. Для области малоциклового усталости возрастание амплитуды нагружения сопровождается снижением различия в значениях ограниченной выносливости (до и после обработки импульсами напряжения). **Научная новизна.** Для области многоциклового усталости, в результате обработки импульсами напряжения углеродистой стали со структурой улучшения, прирост ограниченной выносливости сопровождается снижением деформации за цикл. По мере возрастания амплитуды напряжения цикла эффект прироста выносливости от обработки металла импульсами напряжения снижается. **Практическая значимость.** Обработка металла импульсами волн давления от электрического разряда в воде может быть использована для продления срока эксплуатации деталей подвижного состава, которые подвергаются циклическому нагружению.

Ключевые слова: твердость; дислокация; импульс давления; электрический разряд; ограниченная выносливость

REFERENCES

1. Gine A. *Rentgenografiya kristallov* [Roentgenography of crystals]. Moscow, Gosudarstvennoye izdatelstvo fiziko-matematicheskoy literatury Publ., 1961. 604 p.
2. Nott Dzh.F. *Osnovy mekhaniki razrusheniya* [Fundamentals of fracture mechanics]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1978. 256 p.
3. Yefremenko V.G., Murashkin A.V., Ivanchenko Ye.P. Sovershenstvovaniye sostava i termicheskoy obrabotki staley dlya nozhey kholodnoy rezki listovogo prokata [Improvement of composition and heat treatment of steels for knives for cold cutting of sheet metal]. *Stal – Steel*, 2007, no. 1, pp. 75-77.
4. Meyers M.A., Murr L.B. *Udarnyye volny i yavleniya vysokoskorostnoy deformatsii metallov* [Shock waves and phenomena of high-rate deformation of metals]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1984. 510 p.
5. Chachin V.N. *Elektrogidravlicheskaya obrabotka mashinostroitelnykh materialov* [Electro-hydraulic processing of engineering materials]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1978. 184 p.
6. Yao K-F., Wang J., Zheng M. A research on electroplastic effects in wire-drawing process of an austenitic stainless steel. *Scripta Materialia*, 2001, vol. 45, issue 15, pp. 533-539. doi: 10.1016/s1359-6462(01)01054-5.
7. Ait Aissa K., Achour A., Camus J. Comparison of the structural properties and residual stress of AlN films deposited by dc magnetron sputtering and high power impulse magnetron sputtering at different working pressures. *Thin Solid Films*, 2014, vol. 550, pp. 264-267. doi: 10.1016/j.tsf.2013.11.073.
8. Conrad H. Effects of electric current on solid state phase transformations in metals. *Materials Science and Engineering : A*, 2000, vol. 287, issue 2, pp. 227-237. doi: 10.1016/s0921-5093(00)00780-2.
9. Dhadeshia H.K.D.H. *Bainite in Steels*. Cambridge, The University Press Publ., 2001. 454 p.
10. Vakulenko I.A., Nadezhdin Yu.L., Sokirko V.A. Electric pulse treatment of welded joint of aluminum alloy. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 4 (46), pp. 73-82. doi: 10.15802/stp2013/16584.
11. Tang G., Zhang J., Zheng M. Experimental study of electroplastic effect on stainless steel wire 304L. *Materials Science and Engineering: A*, 2000, vol. 281, issue 1-2, pp. 263-267. doi: 10.1016/s0921-5093(99)00708-x
12. Morgan W.L., Rosocha L.A. Surface electrical discharges and plasma formation on electrolyte solutions. *Physics of Low-Temperature Plasmas*, 2012, vol. 398, pp. 255-261. doi: 10.1016/j.chemphys.2011.06.037.
13. Razavian S.M., Rezai B., Irannajad M. Numerical simulation of high voltage electric pulse comminution of phosphate ore. *Intern. Journal of Mining Sci. and Tech.*, 2015, vol. 25, issue 3, pp. 473-478. doi: 10.1016/j.ijmst.2015.03.023.
14. Vakulenko I.A., Proydak S.V. The Influence Mechanism of Ferrite Grain Size on Strength Stress at the Fatigue of Low-Carbon Steel. *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. 97-104. doi: 10.15802/stp2014/22668.

Prof. V. O. Zabudovskyi, D. Sc. (Tech.) (Ukraine); Ass. Prof. O. O. Chaikovskiy, PhD (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Accessed: July 15, 2015

Received: Sep. 25, 2015

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

УДК 666.972.053-047.58

П. Г. АНОФРИЕВ^{1*}

^{1*}Каф. «Прикладная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, эл.почта anofriev@mail.ru, ORCID 0000-0001-7997-3523

ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ БЕТОННОЙ СМЕСИ В БЕТОНОВОДЕ АВТОБЕТОНОНАСОСА

Цель. В современном строительстве укладка бетона зачастую выполняется с помощью распределительного оборудования бетононасосов. Повышение производительности и качества этого вида строительных работ требует совершенствования, как бетононасосов, так и их технологической оснастки. В состав оснастки бетононасосов входят стандартизированные бетоноводы и соединительные колена радиусом до 2 м. Перспективным направлением улучшения оснастки является снижение сопротивления движению смеси по бетоноводу за счет увеличения радиуса колен. Целью исследования является определение целесообразности разработки и внедрения соединительных колен радиусом более 2 м. **Методика.** Критерием эффективности использования в соединительных бетоноводах колен радиусом более 2 м принято снижение сопротивления движению бетонной смеси по бетоноводу, обеспечивающее повышение производительности бетононасосов. Исследования сопротивления движению бетонной смеси в бетоноводах выполнены на имитационных математических моделях. **Результаты.** На предложенных моделях выполнены расчеты сопротивления движению бетонной смеси в бетоноводах автобетононасосов с трехсекционной распределительной стрелой. Снижение сопротивления движению смеси получено для четырех основных схем положения секций распределительной стрелы автобетононасоса. **Научная новизна.** Разработаны две имитационные математические модели для расчета удельного сопротивления движению бетонной смеси в коленах бетонопроводов в зависимости от радиуса колен. **Практическая значимость.** Предложенные автором имитационные модели позволяют рассчитать удельное сопротивление движению бетона в коленах бетоновода и общее сопротивление движению смеси в бетоноводе автобетононасоса с тремя секциями распределительной стрелы. В процессе исследования установлено уменьшение на 10,3–75,5 % сопротивления движению бетона в бетоновод с соединительными коленами увеличенного радиуса. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения колен бетонопроводов с радиусом более 2 м.

Ключевые слова: бетононасос; бетонная смесь; бетоновод; вязкость; подвижность; сопротивление движению; математическая модель; имитационная модель

Введение

Интенсификация выполнения бетонных работ в современном строительстве немислима без применения бетононасосов. Укладка бетона

с помощью распределительного оборудования бетононасосов осуществляется на сотни метров с высокой производительностью и хорошим качеством работ; сокращаются трудозатраты и сроки строительства.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

Исследованию работы бетононасосов и движению бетонных смесей по бетоноводам посвящены работы Алексеева С. Н. [1], Баженова Ю. М. [3], Барляева К. М. [4], Бреховского Л. М. [5], Васильева В. М. [6]. Производительность бетононасосов определяется технологическими параметрами процесса транспортирования бетонных смесей по трубопроводам [10], физико-механическими свойствами бетона и характеристиками оснастки бетоноводов (диаметр, длина, радиус колен, материал). Проектирование составов бетона с рациональными физико-механическими свойствами рассмотрено в работах [11–13]. Реологические характеристики движущегося под действием высокого давления свежего бетона у стенки бетоновода анализируются в статье Deng Shou-chang (邓寿昌) [14].

Поведение бетонной смеси при транспортировании по трубкам с помощью бетононасосов описывают уравнением Шведова – Бингама [3], моделируют с использованием метода дискретных элементов [15] и исследуют на экспериментальных стендах.

Фактически, аналитические и экспериментальные исследования направлены на определение сопротивления движению смеси в бетононасосе и бетоноводе.

При выборе типа бетононасоса по его основной характеристике – величине давления на бетонную смесь, следует выполнить расчет потерь давления при движении смеси по бетоноводу.

Потери в трубопроводе P зависят от величины удельных сопротивлений движению бетонной смеси, общей длины бетоновода и величины его вертикального участка, а также от местных потерь напора в переходном конусе и коленах [13]:

$$P = \Delta P l + P_k + 0,024h,$$

где ΔP – удельное сопротивление движению бетонной смеси на 1 м горизонтального участка бетоновода, МПа/м; l – общая длина бетоновода, м; P_k – местные потери напора в переходном конусе и коленах бетоновода, МПа; $0,024h$ – потери напора, равные величине гидростатического давления бетонной смеси объемной массой равной 2 400 кг/м³ на вертикальном участке бетоновода высотой h м, МПа.

Цель

С целью определения целесообразности внедрения в комплект оснастки автобетононасосов колен радиусом более 2 м, были выполнены расчеты сопротивления движению смеси со штатными коленами радиусом 2 м и комплектом предлагаемых колен с радиусом большим 2 м для четырех возможных положений секций распределительной стрелы автобетононасоса (рис. 1).

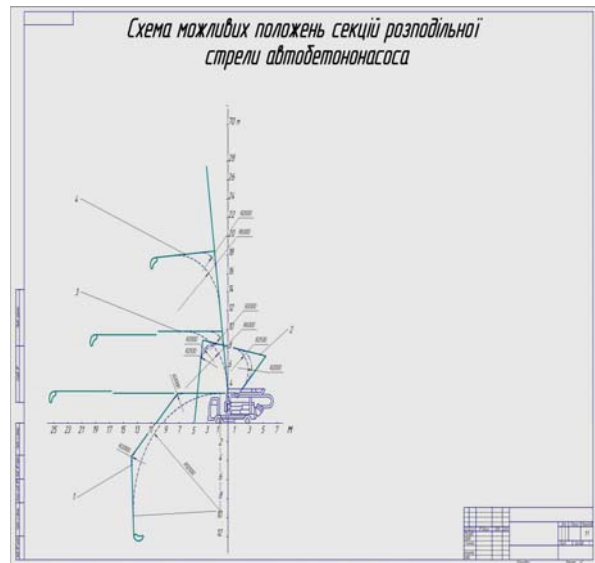


Рис. 1. Схемы возможных положений секций распределительной стрелы автобетононасоса

Fig. 1. Possible positions scheme of the distributor boom sections in a concrete pump

Методика

Исследование зависимости сопротивления движению бетонной смеси по колену бетоновода от радиуса колен выполнено на нескольких имитационных моделях в пакете Simulink [8,9] системы MATLAB [7].

Результаты

Имитационная модель сопротивления движению бетонной смеси по колену бетоновода (рис. 2), аппроксимированная показательной функцией [2] позволяет получить таблицу удельных значений падения давления в колене в зависимости от его радиуса при скорости движения смеси 0,5 м/с.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

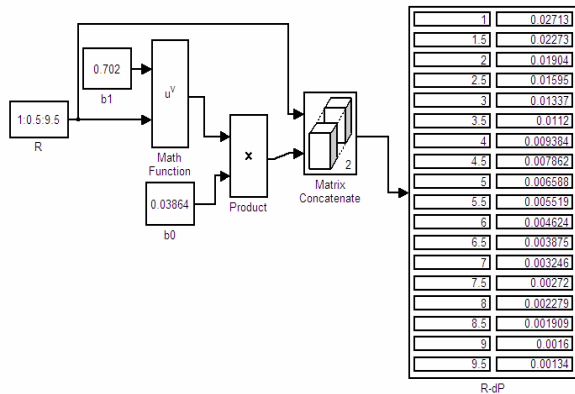


Рис. 2. Имитационная модель расчета удельных значений падения давления в колене в зависимости от его радиуса

Fig. 2. A simulation model for calculating the specific values of the pressure drop in the knee depending on its radius

Следующая имитационная модель сопротивления движению бетонной смеси по колену бетоновода (рис. 3), позволяет визуализировать результаты исследований в виде графиков удельных значений падения давления в колене в зависимости от его радиуса при скорости движения смеси 0,5; 1 и 2 м/с.

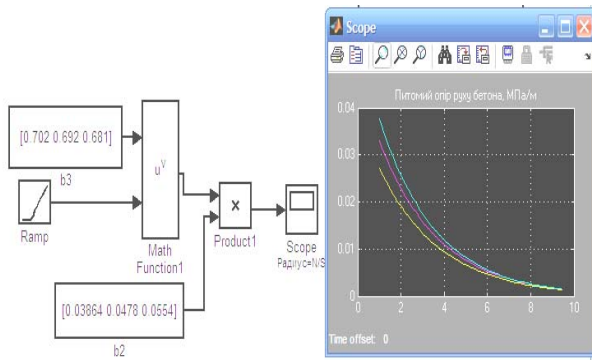


Рис. 3. Имитационная модель и расчетные графики удельных значений падения давления в колене в зависимости от его радиуса

Fig. 3. The simulation model and design graphs of specific values of pressure drops in the knee depending on its radius

Исследование общего сопротивления движению бетонной смеси по бетоноводу со штатными и новыми коленами проведено с помощью маскированной имитационной модели (рис. 4). Под маской «колена» находятся имитационные подсистемы полиномиальной

(рис. 5) или показательной (рис. 6) функций расчета сопротивлений в коленах бетоновода; под маской «пакет труб» – удельное сопротивление движению бетонной смеси горизонтального участка бетоновода; под маской «сосуд жидкости» – потери гидростатического давления бетонной смеси на 1 м вертикального участка бетоновода.

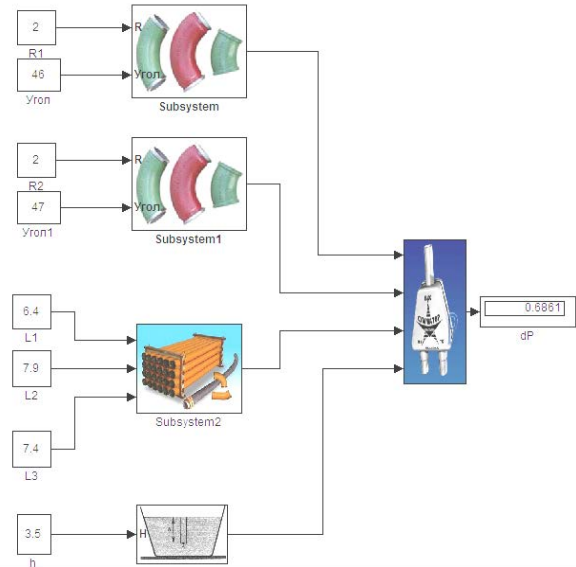


Рис. 4. Имитационная модель расчета сопротивления движению смеси в бетоноводу с трехсекционной распределительной стрелой

Fig. 4. A simulation model for calculating the resistance to concrete movement in a concrete conveying pipe with a three-section distributor boom

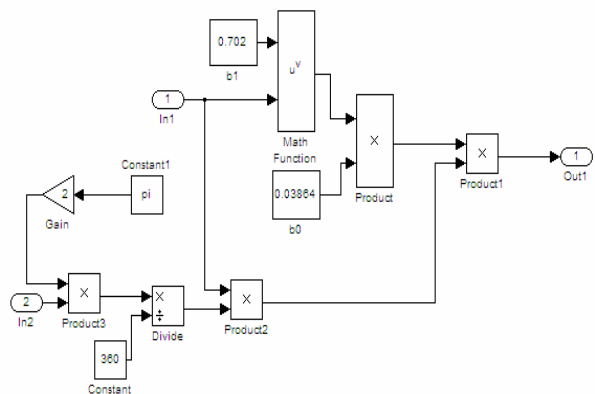


Рис. 5. Подсистема расчета сопротивлений в коленах по полиномиальной функции

Fig. 5. Subsystem of resistances calculation in the knees by a polynomial function

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

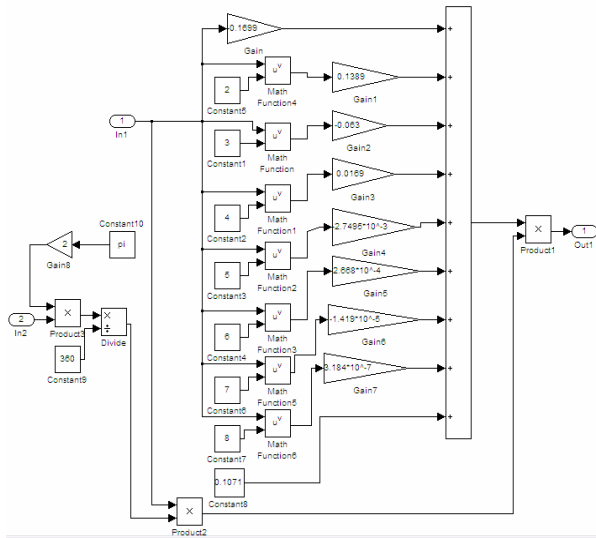


Рис. 6. Подсистема расчета сопротивлений в коленах по показательной функции

Fig. 6. Subsystem of resistances calculation in the knees by the exponential function

Результаты расчета сопротивления движению смеси в бетоноводе с трехсекционной распределительной стрелой сведены в таблицу и визуализированы диаграммами (рис. 7).

Таблица 1

Параметры бетоновода и сопротивление движению смеси в бетоноводе

Table 1

Parameters of the concrete conveying pipe and resistance to concrete movement in a concrete conveying pipe

№ схем		№ секции стрелы						
		1			2		3	
		R_1 , м	φ_1^0	L_1 , м	R_2 , м	φ_2^0	L_2 , м	L_3 , м
1	штат.	2	46	6,4	2	47	7,9	7,4
	новая	12,5	92	1	∞	0	0	2
2	штат.	2	123	1,7	2	92	3,4	6,7
	новая	2,5		0,75	2,5		1,95	6,2
3	штат.	2		4,9			7,4	
	новая	6	82	1,4	∞	0	3,9	8,8
4	штат.	∞	0	6,7	2	87	6,8	6,5
	новая				6		3	2,6

Окончание табл. 1

End of table 1

№ схем		h , м	$P_{\text{пук}}$, МПа	$P_{\text{пол}}$, МПа
1	штат.	3,5	0,686	0,678
	новая		0,168	-
2	штат.	8,5	0,641	0,623
	новая		0,575	0,564
3	штат.	10	0,82	0,813
	новая		0,631	0,7
4	штат.	19	1,012	1,05
	новая		0,804	0,878

Научная новизна и практическая значимость

Разработаны имитационные математические модели для расчета удельного сопротивления движению бетонной смеси в коленах бетоноводов в зависимости от радиуса колен.

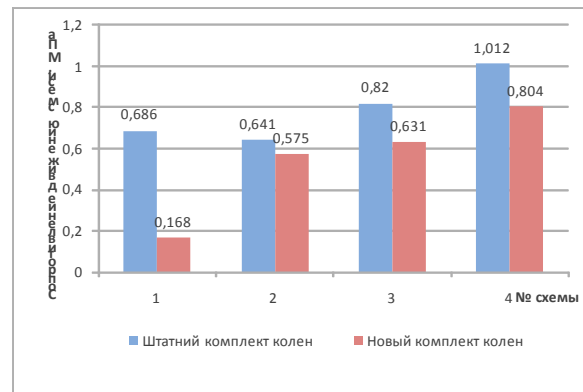


Рис. 7. Диаграммы потерь давления в бетоноводе

Fig. 7. Graphs of pressure loss in concrete conveying pipe

Анализ диаграмм (см. рис. 7) показывает снижение потерь давления в бетоноводе с коленами увеличенного радиуса по сравнению с потерь давления в бетоноводе со штатными коленами самого большого – 2-метрового радиуса. Снижение потерь давления в бетоноводе с коленами увеличенного радиуса для четырех

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

схем положений распределительной стрелы составляют:

- по первой схеме – 75,5 %;
- по второй схеме – 10,3 %;
- по третьей схеме – 23 %;
- по четвертой схеме – 20,5 %.

Снижение потерь давления в бетоноводе обеспечивает улучшение эксплуатационных характеристик автобетононасосов, повышается производительность и снижается себестоимость укладки бетонных смесей.

Полученные результаты исследований зависимости сопротивления движению смеси бетона по бетоноводу позволяют предложить к внедрению в эксплуатацию на автобетононасосах расширенный комплект колен бетоновода с радиусами 2,5–12 м.

Выводы

1. Построены имитационные модели, определяющие удельное сопротивление движению бетона в коленах бетоновода.

2. Построены имитационные модели, определяющие сопротивление движению бетона в бетоноводе автобетононасоса с тремя секциями распределительной стрелы.

3. Исследовано сопротивление движению бетона в бетоноводе автобетононасоса с тремя секциями распределительной стрелы со штатными и новыми коленами увеличенного радиуса.

4. Целесообразно расширить штатный комплект соединительных колен бетоновода, так как для четырех основных возможных схем положения распределительной стрелы автобетононасоса с коленами увеличенного радиуса установлено уменьшение на 10,3–75,5 % сопротивления движению бетона в бетоноводе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеев, С. Н. Насосный транспорт бетонной смеси / С. Н. Алексеев // Всесоюз. науч.-исслед. ин-т оснований и фундаментов. – Москва : Гос. изд-во лит. по стр-ву и архитектуре, 1952. – 40 с.
2. Анофриев, П. Г. Математические модели сопротивления движению бетонной смеси в коленах бетоноводов / П. Г. Анофриев, И. Ю. Хрупалов, В. С. Буров // Стр-во. Материаловеде-

- ние. Машиностроение. Сер. Подъемно-трансп., строител. и дорож. машины и оборудование. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 79. – С. 253–260.
3. Баженов, Ю. М. Технология бетона : учебник / Ю. М. Баженов. – Москва : АСВ, 2002. – 500 с.
4. Барляев, К. М. Бетононасосы / К. М. Барляев, С. Н. Алексеев. – Москва : Машгиз, 1953. – 147 с.
5. Бреховских, Л. М. Введение в механику сплошных сред (в приложении к теории волн) / Л. М. Бреховских, В. В. Гончаров. – Москва : Наука, 1982. – 336 с.
6. Васильев, В. М. Режим движения бетонной смеси по бетонопроводу / В. М. Васильев // Строит. пром-сть. – 1963. – № 7. – С. 42–44.
7. Гультяев, А. К. MATLAB 5.2. Имитационное моделирование в среде Windows : практ. пособие / А. К. Гультяев. – Санкт-Петербург : Корона, 1999. – 288 с.
8. Дьяконов, В. Simulink 4. Специальный справочник / В. Дьяконов. – Санкт-Петербург : Питер, 2002. – 528 с.
9. Дьяконов, В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник / В. Дьяконов, В. Круглов. – Санкт-Петербург : Питер, 2002. – 528 с.
10. Емельянова, И. А. Влияние технологических параметров процесса транспортирования бетонных смесей по трубопроводам на производительность растворобетононасосов (бетононасосов) / И. А. Емельянова, А. О. Задорожный, М. О. Меленцов // 36. наук. пр. Серія : галузеве машинобуд., буд-во / Полтав. нац. тех. ун-т. – Полтава, 2014. – № 1 (40). – С. 3–8.
11. Нетеса, Н. И. Проектирование составов бетонов с рациональным зерновым составом компонентов / Н. И. Нетеса, Д. В. Паланчук // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 22. – С. 101–105.
12. Пшінько, О. М. Вплив суперпластифікатора С-3 на основні властивості бетонної суміші і бетону / О. М. Пшінько, Т. І. Афанасьєва // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 25. – С. 102–104.
13. Руководство по укладке бетонных смесей бетононасосными установками / ЦНИИОМТП ГОССТРОЯ СССР ; Народ. предприятие стрит.-монтаж. комбинат «ОСТ» Минстроя ГДР. – Москва : Стройиздат, 1978. – 144 с.
14. Rheological characteristic of cement clean paste and flowing behavior of fresh mixing concrete

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

- with pumping in pipeline / Deng Shou-chang (邓寿昌), Zhang Xue-bing (张学兵), Qin Ying-hui (覃银辉), Luo Guan-xiang (罗冠祥) // J. of Central-South University of Technology. – 2007. – Vol. 14. – Iss. 1. – P. 462–465. doi: 10.1007/s11771-007-0307-6.
15. Simulation of Fresh Concrete Flow Using Discrete Element Method (DEM) / V. Mechtcherine, A. Gram, K. Krenzer [et al.] // Simulation of Fresh Concrete Flow. – 2014. – Vol. 15. – P. 65–98. doi: 10.1007/978-94-017-8884-7_3.

П. Г. АНОФРІЄВ^{1*}

^{1*}Каф. «Прикладна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, ел. пошта anofriev@mail.ru, ORCID 0000-0001-7997-3523

ІМІТАЦІЙНІ МОДЕЛІ ОПОРУ РУХУ БЕТОННОЇ СУМІШІ В БЕТОНОВОДІ АВТОБЕТОНОНАСОСА

Мета. У сучасному будівництві укладання бетону найчастіше виконується за допомогою розподільного обладнання бетононасосів. Підвищення продуктивності та якості цього виду будівельних робіт вимагає вдосконалення, як бетононасосів, так і їх технологічної оснастки. До складу оснастки бетононасосів входять стандартизовані бетоноводи та сполучні коліна радіусом до 2 м. Перспективним напрямом поліпшення оснастки є зниження опору руху суміші по бетоноводу за рахунок збільшення радіусу колін. Метою дослідження є визначення доцільності розробки та впровадження сполучних колін радіусом більше 2 м. **Методика.** Критерієм ефективності використання в сполученнях бетоноводів колін радіусом більше 2 м прийнято зниження опору руху бетонної суміші по бетоноводу, що забезпечує підвищення продуктивності бетононасосів. Дослідження опору руху бетонної суміші в бетоноводах виконані на імітаційних математичних моделях. **Результати.** На запропонованих моделях виконані розрахунки опору руху бетонної суміші по бетоноводу автобетононасоса з трьохсекційною розподільною стрілою. Зниження опору руху суміші отримано для чотирьох основних схем положення секцій розподільної стріли автобетононасоса. **Наукова новизна.** Розроблено дві імітаційні математичні моделі для розрахунку питомого опору руху бетонної суміші в колінах бетоноводів в залежності від радіуса колін. **Практична значимість.** Запропоновані автором імітаційні моделі дозволяють розрахувати питомий опір руху бетону в колінах бетоновода та загальний опір руху суміші в бетоноводі автобетононасоса з трьома секціями розподільної стріли. У процесі дослідження встановлено зменшення на 10,3–75,5 % опору руху бетону в бетоноводі зі з'єднувальними колінами збільшеного радіусу. Отримані результати підтверджують доцільність застосування колін бетоноводів із радіусом більше 2 м.

Ключові слова: бетононасос; бетонна суміш; бетоновод; в'язкість; рухливість; опір руху; математична модель; імітаційна модель

P. G. ANOFRIEV^{1*}

^{1*}Dep. «Applied Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 18, e-mail anofriev@mail.ru, ORCID 0000-0001-7997-3523

SIMULATION MODELS OF RESISTANCE TO CONCRETE MOVEMENT IN THE CONCRETE CONVEYING PIPE OF THE AUTOCONCRETE PUMP

Purpose. In modern construction the placing of concrete is often performed using distribution equipment of concrete pumps. Increase of productivity and quality of this construction work requires improvement of both concrete pumps and their tooling. The concrete pumps tooling consists of standardized concrete conveying pipes and connector bends radius of up to 2 m. A promising direction of tooling improvement is the reduce of resistance to

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

movement of the concrete in the concrete conveying pipe by increasing the radius of the bend. The aim of this study is to determine the feasibility of developing and implementing connector bends with radius greater than 2 m. **Methodology.** The criterion of efficiency in using bends with radius of more than 2 m in connector concrete pipes is reduction of resistance to movement of the concrete, enhancing the productivity of concrete pumps. Studies of resistance to movement of concrete in the concrete conveying pipe are performed on the mathematical simulations. **Findings.** On the proposed models are calculated the resistance to movement of concrete in the concrete conveying pipe of the autoconcrete pump with a three-section distribution boom. Reduction of the resistance to concrete movement was obtained for the four major sections of the provisions of the distribution boom in the autoconcrete pump. **Originality.** Two mathematical simulations were developed to calculate the resistivity to concrete movement in the bends of concrete conveying pipe depending on the radius of the bend. **Practical value.** The proposed by the author simulations allow us to calculate resistivity to the concrete movement in the concrete conveying pipe and general resistance to the concrete movement in the concrete pipe of the autoconcrete pump with three sections of the distribution boom. The study found a decrease of 10.3–75.5% of the resistance to concrete movement in the concrete conveying pipe with connector bends of an increased radius. These results confirm the usefulness of the bends application in the concrete conveying pipe with a radius of more than 2 m.

Keywords: concrete pump; concrete; concrete conveying pipe; viscosity; agility, resistance to movement; mathematical model; simulation

REFERENCES

1. Alekseyev S.N. Nasosnyy transport betonnoy smesi [Pump transport of concrete mixtures]. *Vsesoyuznyy nauchno-issledovatel'skiy institut osnovaniy i fundamentov* [All-Union Scientific Research Institute of Bases and Foundations]. Moscow, Gosudarstvennoye izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu i arkhitekture Publ., 1952. 40 p.
2. Anofriev P.G., Khrupalov I.Yu., Burov V.S. Matematicheskiye modeli soprotivleniya dvizheniyu betonnoy smesi v kolenakh betonovodov [Mathematical models of resistance to concrete movement in the bends of concrete conveying pipe]. *Stroitel'stvo. Materialovedeniye. Mashinostroeniye. Seriya Podemno-transportnyye, stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny i oborudovaniye* [Building. Materials Science. Mechanical Engineering. Series Lifting transport, building and road machines and equipment]. Dnepropetrovsk, PGASA Publ., 2014, issue 79, pp. 253-260.
3. Bazhenov Yu.M. *Tekhnologiya betona* [Technology of concrete]. Moscow, ASV Publ., 2002. 500 p.
4. Barlyayev K.M., Alekseyev S.N. *Betononasosy* [Concrete pumps]. Moscow, Mashgiz Publ., 1953. 147 p.
5. Brekhovskikh L.M., Goncharov V.V. *Vvedeniye v mekhaniku sploshnykh sred (v prilozhenii k teorii voln)* [Introduction to continuum mechanics (in application to wave theory)]. Moscow, Nauka Publ., 1982, 336 p.
6. Vasilev V.M. Rezhim dvizheniya betonnoy smesi po betonoprovodu [The mode of movement of the concrete mix for the concrete wire]. *Stroitel'naya promyshlennost – Construction Industry*, 1963, no. 7, pp. 42-44.
7. Gulyayev A.K. *MATLAB 5.2. Imitatsionnoyye modelirovaniye v srede Windows* [MATLAB 5.2. Imitation modeling in Windows environment]. Saint-Petersburg, Korona Publ., 1999. 288 p.
8. Dyakonov V. *Simulink 4* [Simulink 4]. Saint-Petersburg, Piter Publ., 2002. 528 p.
9. Dyakonov V., Kruglov V. *Matematicheskiye pakety rasshireniya MATLAB* [Mathematical extension package MATLAB]. Saint-Petersburg, Piter Publ., 2002. 528 p.
10. Yemlyanova I.A., Zadorozhnyy A.O., Melentsov M.O. Vliyaniye tekhnologicheskikh parametrov protsessa transportirovaniya betonnykh smesey po truboprovodam na proizvoditelnost rastvorobetononasosov (betononasosov) [The influence of technological parameters of the transport process of concrete through pipelines on the productivity of mortar concrete pumps (concrete pumps)]. *Zbirnyk naukovykh prats. Seriya: Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo* [Proc. Series: Industrial Engineering, Construction], 2013, vol. 1, no. 1 (36), pp. 3-8.
11. Netesa N.I., Palanchuk D.V. Proyektirovaniye sostavov betonov s ratsionalnym zernovym sostavom komponentov [The concrete structures design with rational grain structure components]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 22, pp. 101-105.
12. Pshinko O.M., Afanasieva T.I. Vplyv superplastyfikatora C-3 na osnovni vlastyvoli betonnoi sumishi i betonu [The influence of superplasticizer C-3 on the properties of concrete mixes and concrete]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

- Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 25, pp. 102-104.
13. *Rukovodstvo po ukladke betonnykh cmesey betononasosnymi ustanovkami* [Manual of laying the concrete mixtures by the concrete-pumping stations]. Moscow, Stroyisdat Publ., 1978. 144 p.
 14. Deng Shou-chang (邓寿昌), Zhang Xue-bing (张学兵), Qin Ying-hui (覃银辉), Luo Guan-xiang (罗冠祥). Rheological characteristic of cement clean paste and flowing behavior of fresh mixing concrete with pumping in pipeline. *Journal of Central South University of Technology*, 2007, vol. 14, issue 1, pp. 462-465. doi: 10.1007/s11771-007-0307-6.
 15. Viktor Mechtcherine, Annika Gram, Knut Krenzer Simulation of Fresh Concrete Flow Using Discrete Element Method (DEM). *Simulation of Fresh Concrete Flow*, 2014, vol. 15 of the series RILEM State-of-the-Art Reports, pp. 65-98. doi: 10.1007/978-94-017-8884-7_3.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. С. В. Ракишой (Украина); д.т.н., проф. С. В. Шатовым (Украина)

Поступила в редколлегию 11.06.2015

Принята к печати 17.08.2015

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

УДК 621.874–83–026.51/.52

В. Н. БОГОМАЗ^{1*}, Л. Н. БОНДАРЕНКО^{2*}, К. Ц. ГЛАВАЦКИЙ^{3*}, К. А. СОКОЛ^{4*}

^{1*}Каф. «Военная подготовка специалистов Государственной специальной службы транспорта», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 793 19 09, эл. почта wbogomas@i.ua, ORCID 0000-0001-5913-2671

^{2*}Каф. «Прикладная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, эл. почта bondarenko-l-m2015@yandex.ua, ORCID 0000-0001-6602-2745

^{3*}Каф. «Прикладная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, эл. почта kazimir.glavatskii@mail.ru, ORCID 0000-0002-3353-2543

^{4*}Каф. «Военная подготовка специалистов Государственной специальной службы транспорта», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 793 19 09, эл. почта erifdooG@ukr.net, ORCID 0000-0002-2073-7881

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ МОСТОВОГО КРАНА ПРИ УЧЕТЕ ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ

Цель. При расчете мощности привода мостового крана одним из основных параметров является величина сопротивления его перемещению. Одной из важных составляющих сопротивления передвижению является трение качения колеса о рельс. В работе необходимо определить зависимость величин статического (динамического) сопротивления передвижению мостового крана на прямолинейном участке пути от положения тележки в пролете и исследовать влияние величин сопротивления на износ реборд колес. **Методика.** Используя аналитические зависимости для определения коэффициента трения качения, зависящего от величины полуширины пятна контакта между колесом и рельсом, предложен усовершенствованный способ расчета необходимой мощности привода крана. **Результаты.** С помощью предложенного способа расчета мощности построены графические зависимости нагрузок на колеса крана, величины коэффициента трения качения колес, сопротивления передвижению крана от положения тележки на пролете. В результате анализа полученных графиков установлено, что мощность двигателей, полученная предложенным способом, оказывается выше, чем рекомендуемая существующими нормативами. Приведена уточненная формула определения полного коэффициента трения скольжения, учитывающего трение реборд колес о рельс. Построены графические зависимости такого коэффициента трения и суммарного сопротивления движению крана от положения тележки крана. **Научная новизна.** Учеными предложен усовершенствованный способ определения необходимой мощности двигателей мостового крана, который учитывает влияние трения качения колес о рельс и положение тележки в пролете. Приведена уточненная формула для определения коэффициента трения скольжения, учитывающего трение реборд колес о рельс. Построены графические зависимости такого коэффициента трения и суммарного сопротивления движению крана от положения тележки крана. **Практическая значимость.** Применение предложенного способа определения мощности привода крана позволяет более точно определять ее значения, учитывая при этом полное сопротивление трения качения колес с ребордами о рельс. Такой подход дает возможность более качественного подбора элементов механизма передвижения мостового крана.

Ключевые слова: мостовой кран; трение качения; реборда; мощность; привод; тележка

Введение

Составляющая сопротивления от чистого качения кранового колеса по рельсу предполагает прямую зависимость сопротивления от нагрузки. Поэтому его величина определяется из выражения:

$$W = (G + Q)2k / D ,$$

где G и Q – вес конструкции и груза; k – коэффициент трения качения; D – диаметр колеса.

Коэффициент трения качения при этом принимается в зависимости от диаметра колеса и, например, при диаметрах 400, 500, 560

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

и 630 мм его величина при скругленной головке рельса равна 0,6 мм [10].

Отбрасывая ошибочную теорию Рейнольдса о том, что главным источником сопротивления качению является трение скольжения в месте контакта, отметим, что аналитическая зависимость для определения коэффициента трения качения не могла быть получена до решения Герцем в 1881–1881 гг. задачи о контактных напряжениях и деформациях.

После, опираясь на решения Герца, Табор в 1955 г. [4] получил эти зависимости от полуширины пятна контакта и гистерезисных потерь. Однако, наличие в них последних привело к невозможности их практического применения, поскольку неизвестен способ их определения.

В работе [3] получены экспериментально-аналитические зависимости, определяющие коэффициент трения качения как при точечном, так и при линейном контактах, в которых коэффициент гистерезисных потерь находится аналитически.

Цель

Определить зависимость величин статического и динамического сопротивления передвижению мостового крана на прямолинейном участке пути от положения тележки в пролете. Исследовать влияние величин сопротивления на износ реборд колес, используя аналитические зависимости для определения коэффициента трения качения, зависящего от величины полуширины пятна контакта между колесом и рельсом.

Методика

Для определения величины сопротивления передвижению воспользуемся параметрами крана, приведенными в [7]. Примем колесо цилиндрическим диаметром $D = 2r_k = 630$ мм; рельс КР70 с радиусом закругления головки $r_p = 400$ мм; диаметр цапфы $d = 120$ мм; приведенный коэффициент трения подшипников $\mu = 0,015$ (роликовые подшипники); коэффициент, учитывающий трение реборд $k_p = 1,5$.

При схеме касания «цилиндры со взаимно непересекающимися осями» в случае равенства

модулей упругости E материалов колеса и рельса, равенства коэффициента Пуассона 0,3, полуширина пятна контакта согласно теории деформаций Герца [8] определяется:

$$b = 1,397 n_e \sqrt[3]{\frac{R r_k r_p}{E r_k + r_p}}, \quad (1)$$

где R – прижимающая к рельсу сила колеса; n_e – коэффициент, зависящий от соотношения коэффициентов уравнения эллипса касания, являющийся функцией соотношения r_k/r_p и равен 0,93.

После определения реакций опор A и B в зависимости от положения тележки в пролете, найдем по формуле (1) полуширину пятна контакта и соответствующие ей коэффициенты трения качения.

При точечном контакте коэффициент трения качения определяется из выражения [3]:

$$k = 0,16be^{0,2r_k}, \quad (2)$$

где r_k – в метрах.

Схема к расчету нагрузок на ходовые колеса показана на рис. 1. В отличие от [7] здесь вес кабины включен в вес тележки.

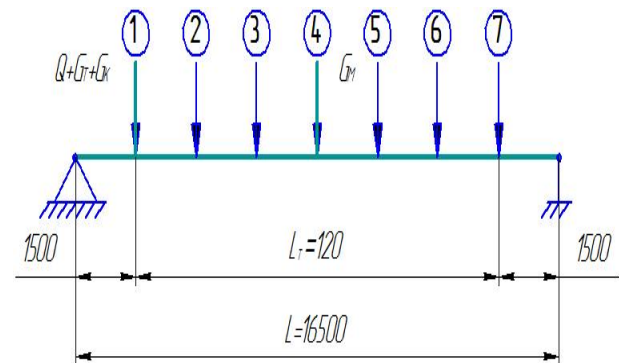


Рис. 1. Схема к расчету нагрузок на ходовые колеса:

1, 2, ..., 7 – расчетные положения тележки

Fig. 1. Chart to the calculation of loading on working wheels:

1, 2, .., 7 – calculation positions of a bogie

Отметим, что полученная Табором формула, аналогичная (2), имеет вид:

$$k = \alpha \frac{3b}{16},$$

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

где α – коэффициент гистерезисных потерь, и при $r_k = 0,5$ м по (2) $k = 0,18b\alpha$, т.е. можно считать, что экспонента здесь и представляет α . Приведенная в [5] формула $k = 0,1b$ представляет явно заниженную величину и, очевидно, получена при малых радиусах или при недостаточных деформациях.

На рис. 2, а и 2, б показаны зависимости нагрузки на одно колесо опор А и В от положения тележки в пролете (согласно рис. 1), а также соответствующие им коэффициенты трения качения.

Из рис. 2, б видно, что минимальная величина коэффициента трения качения соответствует минимальному давлению колеса на рельс и равна $k_{\min} = 0,76$ мм, а максимальная – максимальному давлению и равна $k_{\max} = 1,05$ мм при рекомендуемой величине в случае $D = 630$ мм, $k_c = 0,6$ мм [10].

С учетом этих значений k и величин максимального давления колеса на рельс $R_A = 128,73$ кН, и минимального $R_B = 49,27$ кН сопротивление чистому качению колеса опор А и В составит $W_A = 854,8$ кН и $W_B = 238,7$ кН.

Мощность двигателей опор А и В с учетом трения в подшипниках составит:

$$N_A = W_{АП} \vartheta / (1000\eta) = \\ = 2316 \cdot 1,3 / (1000 \cdot 0,85) = 3,54 \text{ кВт};$$

$$N_B = W_{ВП} \vartheta / (1000\eta) = \\ = 800 \cdot 1,3 / (1000 \cdot 0,85) = 1,22 \text{ кВт}.$$

С учетом трения реборд мощность двигателей опор А и В составит:

$$N_{AT} = 3,54 \cdot 1,5 = 5,31 \text{ кВт};$$

$$N_{BT} = 1,22 \cdot 1,5 = 1,83 \text{ кВт}.$$

Суммарная мощность двигателей $N_{CM} = 7,14$ кВт. Статическая мощность двигателей опор А и В:

$$N_C = N_{CM} (0,5 \dots 0,6) = 0,55 \cdot 7,14 = 3,93 \text{ кВт}.$$

Если тележка находится в середине пролета, то $N_{CP} = 2 \cdot 0,55 \cdot 2,304 = 2,53$ кВт.

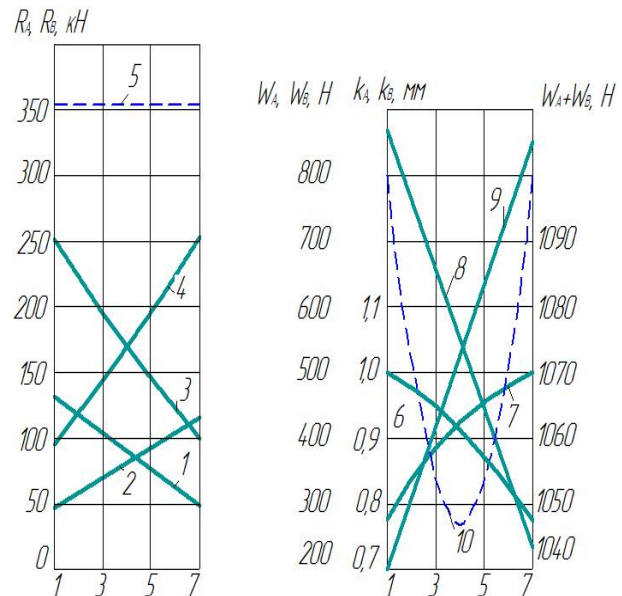


Рис. 2. Зависимости от положения тележки в пролете (1, 2, 3, ..., 7, рис. 1):

- 1, 2 – нагрузок на одно колесо опор А и В;
3, 4 – то же на два колеса; 5 – суммарная нагрузка (а);
6, 7 – коэффициенты трения качения колес опор А и В;
8, 9 – сопротивление чистому качению колес опор А и В;
10 – сопротивление передвижению крана от чистого качения (б)

Fig. 2. Dependences from the position of the bogie in flight (1, 2, 3, ..., 7, Fig. 1):

- 1, 2 – loads on one wheel supports А and В;
3, 4 – the same on two wheels; 5 – the total load (а);
6, 7 – the coefficients of rolling friction of the wheels of the supports А and В; 8, 9 – the resistance of pure rolling of the wheels of the supports А and В;
10 – resistance of the crane from pure rolling (b)

Согласно нормативной методике, статическая мощность двигателя $N_H = 2,13$ кВт, а динамическая (с учетом динамических нагрузок при пуске) $N_{НД} = 9,3$ кВт.

Динамическая мощность выше полученных статических величин: $N_{\partial A} = N_{\partial B} = 11,1$ кВт, а $N_{\partial CP} = 11,0$ кВт.

Таким образом, нормативная величина мощности (из-за разности коэффициентов трения качения) оказалась примерно на 20 % меньше полученной по предлагаемому способу.

Из-за разности мощностей двигателей опор А ($N_A = 3,54$ кВт) и В ($N_B = 1,22$ кВт) возникает вопрос о влиянии этой разницы на износ реборд.

Результаты

Исследуем влияние положения тележки мостового крана в пролете на износ реборд.

Профессор Ковальский Б.С. [6] установил, что коэффициент k_p , учитывающий трение реборд, определяется из выражения:

$$k_p = a / \left(1 - c \frac{L}{K} \right),$$

где $a=1,2$ – при центральном приводе и $a=1,3$ при раздельном приводах; $c=0,03$; L – пролет; K – база крана; например, при $L/K=6,3$ получим, что $k_p=1,48$ при центральном и $k_p=1,6$ при раздельном приводах.

Перекося моста на рельсах влечет за собой трение реборд о рельсы, увеличение сопротивления движению и расход энергии, сокращение срока службы колес и рельсов, появление при движении толчков и ударов.

Исследованию перекося, «коэффициента реборд» [6] и способов его уменьшения посвящено много работ. Основные идеи его уменьшения сводятся, в основном, к минимуму разности диаметров ведущих колес, уменьшению зазора между ребордами и рельсом или, наоборот, резкого увеличения этих зазоров. Но поиск рациональных решений не дал эффективных результатов и передвижение кранов остается узким местом.

Считалось, что применение конических колес решит проблему. Однако, дальнейшие исследования показали, что более целесообразно применение раздельного привода при цилиндрических колесах, несмотря на то, что мощность двигателей больше, чем при центральном примерно на 20 %.

Одной из причин, а, возможно, и главной, является та, что мало внимания уделялось теоретическим вопросам явления переноса и, в первую очередь, сопротивлению качения колес по рельсам.

Составляющая сопротивления от чистого качения кранового колеса по рельсу предполагает прямую зависимость сопротивления от нагрузки. Поэтому его величина определяется из выражения: $W = (Q + G)2k / D$.

Из рис. 2, б видно, что минимальная величина коэффициента трения качения соответст-

вует минимальному давлению колеса на рельс и равна $k_7 = 0,76$ мм, а максимальная – максимальному $k_1 = 1,05$ мм при рекомендуемой величине для этого диаметра колеса ($D = 630$ мм) $k_c = 0,6$.

Для равновесия моста разность максимальных сопротивлений $W_{\max} - W_{\min}$ должна удерживаться силой H , приложенной перпендикулярно рельсу и расположенной на противоположном по диагонали колесе.

При колесе L и базе B условие равновесия:

$$|W_{\max} - W_{\min}|L = HB,$$

откуда

$$H = \frac{|W_{\max} - W_{\min}|L}{B}.$$

Отметим, что эта формула получена независимо от формулы, предложенной ВНИИПТмаш [2], которая имеет примерно такие же зависимости:

$$H_{\max} = \frac{N(\varphi - w)L}{B},$$

где N – давление приводного колеса на рельс; φ – коэффициент сцепления приводного колеса с рельсом; w – коэффициент сопротивления движению.

Умножив левую и правую части этого уравнения на коэффициент трения скольжения между ребордой и рельсом, получим сопротивление трения реборд о рельс:

$$H\mu = \frac{(W_{\max} - W_{\min})L\mu}{B} = W_p. \quad (3)$$

Коэффициент, учитывающий трение реборд:

$$k_p = 1 + \frac{W_p}{W_{\max} - W_{\min}}. \quad (4)$$

Величина k_p может быть получена и из формулы ВНИИПТмаш [5]:

$$k_p = \frac{D(N\varphi L - BH_{\max})}{NL(2k + fd)}.$$

При $Q = 12500$ кг, $G = 23000$ кг максимальная величина $k_p = 1,49$ при $\mu = 0,16$

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

и $k_p = 1,43$ при $\mu = 0,14$, а при густой смазке $\mu = 0,09$ $k_p = 1,28$. Рекомендуются величина $k_p = 1,5$ [11].

В случае четырех колес и равномерного горизонтального давления между колесами и рельсом $H_1 = H/4$, составляет $H_1 = 2387$ Н, а $H = 9547$ Н.

В [6] для безребордных колес величину нагрузки на ролик рекомендуют определять как $H = (Q + G)0,04$, что составляет величину 14200 Н против 9547 Н.

На рис. 3 показана зависимость сопротивления качению опор A и B от положения тележки в пролете с учетом трения подшипников и расчетная (4) величина коэффициента, учитывающего трение реборд.

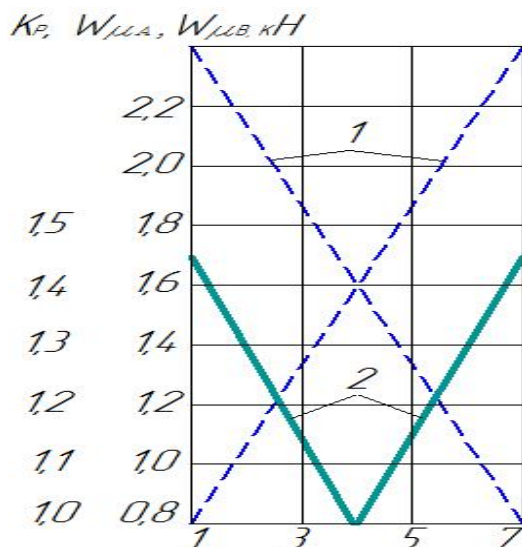


Рис. 3. Зависимость от положения тележки в пролете (1, 3, 5, 7 – расчетные положения тележки): 1 – суммарного значения сопротивления с учетом трения подшипников; 2 – коэффициента, учитывающего трение реборд

Fig. 3. Dependence from the position of a bogie in flight (1, 3, 5, 7 are calculation positions of a bogie): 1 – total value of resistance taking into account the friction of bearing; 2 – coefficient, taking into account the friction of flanges

Как отмечалось выше, k_p при центральном приводе несколько ниже, чем при раздельном (1,48 и 1,60 соответственно) несмотря на отсутствие забегания колес одной из сторон. И мож-

но предположить, что при центральном приводе основной причиной износа реборд являются толчки и удары, а также процесс, близкий к автоколебаниям вследствие разного угла закручивания вала. При полученных величинах сопротивлений опор A и B , в зависимости от положения тележки в пролете, диаметре трансмиссионного вала равном 50 мм углы закручивания отличаются на 10 %, что при базе $L = 3,7$ м дает поворот колеса относительно вертикали на $0,44^\circ$ и величина трения скольжения при этом составляет 150 Н, что близко к величине сопротивления качению при минимальной нагрузке на колесо.

Из формул (3) и (4) видно, что при $W_{\max} = W_{\min}$ $k_p = 1$. Этого можно достичь за счет расположения груза на середине пролета. Однако, это даст эффект только в период пуска, а в дальнейшем, даже в этом положении груза, будут наблюдаться явления, аналогичные центральному приводу.

Научная новизна и практическая значимость

Предложен усовершенствованный способ определения необходимой мощности двигателей мостового крана, который учитывает влияние трения качения колес о рельс и положение тележки в пролете. По результатам расчетов построены графические зависимости нагрузок на колеса крана, величины коэффициента трения качения колес, сопротивления передвижению крана от положения тележки на пролете. В результате анализа полученных графиков установлено, что величина мощности двигателей, которая принимается по существующей нормативной литературе, является заниженной.

Кроме того, предложена уточненная формула для определения коэффициента трения скольжения, учитывающего трение реборд колес о рельс. Приведены графические зависимости такого коэффициента трения и суммарного сопротивления движения крана от положения тележки крана.

Применение предложенного способа определения мощности привода крана позволяет более точно определять ее значения, учитывая при этом полное сопротивление трения качения колес с ребордами о рельс.

Выводы

Результаты проведенной работы позволяют сделать следующие выводы:

– главной причиной появления скольжения реборд колес по головке рельса является разность в сопротивлении от трения опор и величины коэффициента трения скольжения между ребордой и рельсом;

– поскольку при центральном приводе коэффициент трения реборд меньше, чем при раздельном примерно на 7–8 %, то можно считать, что износ реборд при расположении груза на середине пролета будет на этот же процент меньшим вследствие одинакового сопротивления движению опор;

– предложенный способ определения мощности двигателей механизмов передвижения мостовых кранов предполагает использование классической теории Герца по определению контактных деформаций и аналитической зависимости Табора по определению коэффициента трения качения;

– по результатам расчетов построены графические зависимости нагрузок на колеса крана, величины коэффициента трения качения колес, сопротивления передвижению крана от положения тележки на пролете;

– проведенный анализ полученных графиков показал, что мощность двигателей, полученная предложенным способом, оказывается (для приведенного примера) на 20 % выше, чем по существующим в литературе нормативам;

– при расположенной в середине пролета тележке с грузом, мощность двигателей равна их суммарной величине при других положениях тележки, поэтому мощность привода можно определить при положении тележки в середине пролета;

– приведена уточненная формула определения полного коэффициента трения скольжения, учитывающего трение реборд колес о рельс, и построены графические зависимости такого коэффициента трения и суммарного сопротивления движения крана от положения тележки крана.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Александров, М. П. Подъемно-транспортные машины : учебник / М. П. Александров. – Москва : МГТУ им. Н. Баумана : Высш. шк., 2000. – 522 с.
2. Балашов, В. В. Раздельный привод передвижения мостовых кранов / В. В. Балашов. – Москва : ВНИИПИИмаш, 1959. – 36 с.
3. Бондаренко, Л. М. Відношення між тиском реборд на рейку та коефіцієнтом опору руху і групою класифікації крана / Л. М. Бондаренко, К. Ц. Главацький // Нові матеріали в металургії та машинобудуванні : зб. наук. пр. ЗТТУ. – 2001. – № 1. – С. 106–109.
4. Бондаренко, Л. М. Деформаційні опори в машинах / Л. М. Бондаренко, М. П. Довбня, В. С. Ловейкін. – Дніпропетровськ : Дніпро-VAL, 2002. – 200 с.
5. Джонсон, К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – Москва : Мир, 1989. – 510 с.
6. Ковальский, Б. С. Вопросы передвижения мостовых кранов. – Луганск : ВНУ, 2000. – 63 с.
7. Ракша, С. В. Аналіз впливу пружних деформацій несучого каната на зусилля в тяговому канаті підвісної дороги / С. В. Ракша, Ю. К. Горячев, О. С. Куроп'ятник // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 6 (48). – С. 110–119. doi: 10.15802/stp2013/19686.
8. Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин / Ф. К. Иванченко, В. С. Бондарев, Н. П. Колесник [и др.]. – Київ : Вища шк., 1975. – 520 с.
9. Писаренко, Г. С. Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – Київ : Наук. думка, 1975. – 725 с.
10. Підйомно-транспортні машини: розрахунки підймальних і транспортувальних машин : підручник / В. С. Бондарев, О. І. Дубинець, М. П. Колісник [та ін.]. – Київ : Вища шк., 2009. – 734 с.
11. Справочник по кранам. В 2 т. Т. 2 / М. П. Александров, М. М. Гохберг, А. А. Ковин [и др.]. – Ленинград : Машиностроение, 1988. – 559 с.
12. Awrejcewicz, J. Modeling and analytical/numerical analysis of wear processes in a mechanical friction clutch / J. Awrejcewicz, D. Grzelczyk // Intern. J. of Bifurcation and Chaos. – 2011. – Vol. 21, № 10. – P. 2861–2869. doi: 10.1142/S0218-127411030192.
13. Bažant, Z. P. Stability of Structures: Elastic, Inelastic, Failure and Damage Theories / Z. P. Ba-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

- žant, L. Cedolin. – Singapore : World Scientific, 2010. – 1040 p. doi: 10.1142/9789814317047.
14. Bohomaz, V. M. Research of influencing of project discriptions of elevator on parameters of its drive / V. M. Bohomaz, K. TS. Hlavatskyi, O. A. Mazur // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 2 (56). – С. 189–206. doi: 10.15802/stp2015-42178.
15. Høyе, J. S. Casimir friction force for moving harmonic oscillators / J. S. Høyе, I. Brevik // Intern. J. of Modern Physics : Conference Series. – 2012. – Vol. 14. – P. 141–154. doi: 10.1142/S20101945-12007295.

В. М. БОГОМАЗ^{1*}, Л. М. БОНДАРЕНКО^{2*}, К. Ц. ГЛАВАЦЬКИЙ^{3*}, К. О. СОКОЛ^{4*}

^{1*}Каф. «Військова підготовка спеціалістів Державної спеціальної служби транспорту», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 09, ел. пошта wbogomas@i.ua, ORCID 0000-0001-5913-2671

^{2*}Каф. «Прикладна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, ел. пошта bondarenko-l-m2015@yandex.ua ORCID 0000-0001-6602-2745

^{3*} Каф. «Прикладна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, ел. пошта kazimir.glavatskii@mail.ru, ORCID 0000-0002-3353-2543

^{4*}Каф. «Військова підготовка спеціалістів Державної спеціальної служби транспорту», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 09, ел. пошта erifdooG@ukr.net ORCID 0000-0002-2073-7881

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ПРИВОДУ МЕХАНІЗМІВ ПЕРЕСУВАННЯ МОСТОВОГО КРАНУ ПРИ ОБЛІКУ ТЕРТЯ КОЧЕННЯ

Мета. При розрахунку потужності приводу мостового крана одним із основних параметрів є величина опору його переміщенню. Однією з важливих складових опору пересуванню є тертя кочення колеса по рейці. У роботі необхідно визначити залежність величин статичного (динамічного) опору пересуванню мостового крана на прямолінійній ділянці шляху від положення візка в прольоті та дослідити вплив величин опору на знос реборд коліс. **Методика.** Використовуючи аналітичні залежності для визначення коефіцієнта тертя кочення, що залежить від величини півширини плями контакту між колесом і рейкою, запропоновано удосконалений спосіб розрахунку необхідної потужності приводу крана. **Результати.** За допомогою запропонованого способу розрахунку потужності побудовані графічні залежності навантажень на колеса крана, величини коефіцієнта тертя кочення коліс, опору пересуванню крана від положення візка на прольоті. У результаті аналізу отриманих графіків встановлено, що потужність двигунів, отримана запропонованим способом, виявляється вищою, ніж рекомендована існуючими нормативами. Наведена уточнена формула визначення повного коефіцієнта тертя ковзання, що враховує тертя реборд коліс по рейці. Побудовано графічні залежності такого коефіцієнта тертя та сумарного опору руху крана від положення візка крана. **Наукова новизна.** Вченими запропоновано удосконалений спосіб визначення необхідної потужності двигунів мостового крана, який враховує вплив тертя кочення коліс по рейці та положення візка в прольоті. Наведена уточнена формула для визначення коефіцієнта тертя ковзання, що враховує тертя реборд коліс по рейці. Побудовано графічні залежності такого коефіцієнта тертя та сумарного опору руху крана від положення візка крана. **Практична значимість.** Застосування запропонованого способу визначення потужності приводу крана дозволяє більш точно визначити її значення, враховуючи при цьому повний опір тертя кочення коліс із ребордами по рейці. Такий підхід дає можливість більш якісного підбору елементів механізму пересування мостового крана.

Ключові слова: мостовий кран; тертя кочення; реборда; потужність; привід; візок

V. M. BOHOMAZ^{1*}, L. M. BONDARENKO^{2*}, K. TS. HLAVATSKYI^{3*}, K. O. SOKOL^{4*}

^{1*}Dep. «Military training of specialists of the State special service of transport», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793 19 09, e-mail wbogomas@i.ua, ORCID 0000-0001-5913-2671

^{2*}Dep. «Applied Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 18, e-mail bondarenko-l-m2015@yandex.ua, ORCID 0000-0001-6602-2745

^{3*}Dep. «Applied Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 18, e-mail kazimir.glavatskii@mail.ru, ORCID 0000-0002-3353-2543

^{4*}Dep. «Military training of specialists of the State special service of transport», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793 19 09, e-mail erifdooG@ukr.net, ORCID 0000-0002-2073-7881

METHOD OF THE DRIVE POWER DETERMINATION OF THE MECHANISMS OF THE BRIDGE CRANE MOVEMENT CONSIDERING THE ROLLING FRICTION

Purpose. The value of drive resistance to its movement is the main parameter at calculating the drive power of bridge crane. The value of the wheel rolling friction on the rails is one of the important parts of the resistance to movement. It is necessary to determine the dependence of static (dynamic) quantities of resistance to the bridge crane movement on a straight section of the track from the position of the bogie in the span, and explore the influence of the wheel flanges resistance for wear. **Methodology.** Using the analytical dependences for determining the rolling friction coefficient, that depends on the size of the half-width of the contact between the wheel and rail, the improved method for calculating the required drive power of the crane was proposed. **Findings.** With the proposed method of power calculation the characteristic curve of the crane wheel loads, the coefficient of rolling friction of the wheels and the crane resistance to movement from the position of the bogie on span were built. In the result of graphs analysis it was found that the engine power, obtained by the proposed method is higher than the recommended by the existing standards. The more precise formula for determining the total coefficient of sliding friction that takes into account the friction of wheel flanges on the rail is given. The characteristic curves of such coefficient of friction and the total resistance to movement of the position of the crane bogie were built. **Originality.** The scientists proposed an improved method of determining the required engine power of bridge crane, which takes into account the effect of rolling friction of the wheels on the rails and the bogie in the span. The improved formula for determining the coefficient of friction that takes into account the friction wheel flanges of the rail was given. The characteristic curve of this coefficient of friction and the total resistance movement of crane from the position of the crane bogie were built. **Practical value.** The application of the proposed method of determining the driving power of the crane allows determining its value more precisely, taking into account the impedance of the rolling friction of the wheels on the rails with a flanged on the rails. This approach enables better selection of elements of the mechanism of the bridge crane movement.

Keywords : bridge crane; rolling friction; flange; power; drive; bogie

REFERENCES

1. Aleksandrov M.P. *Podemno-transportnyye mashiny* [Lifting-transport machines]. Moscow, Moskovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskyy universitet im. N. E. Baumana, Vysshaya shkola Publ., 2000. 522 p.
2. Balashov V.V. *Razdelnyy privod peredvizheniya mostovykh kranov* [Separate drive for the movement of overhead cranes]. Moscow, VNIIPImash Publ., 1959. 36 p.
3. Bohomaz V.M., Hlavatskyi K.TS., Mazur O.A. Research of influencing of project discriptions of elevator on parameters of its drive. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2015, no. 2 (56), pp. 189-206. doi: 10.15802/stp2015/42178.
4. Bondarenko L.M., Hlavatskyi K.Ts. Vidnoshennia mizh tyskom rebord na reiku ta koefitsientom oporu rukhu i hrupoiu klasyfikatsii krana [The ratio between the pressure flange on the rail and the coefficient of resistance movement and group classification crane]. *Zbirnyk naukovykh prats Zaporizkoho natsionalnoho tekhnichnoho*

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

- universytetu «Novi materialy v metalurhii ta mashynobuduvanni»* [Proc. of the Zaporizhzhya National Technical University «New materials in metallurgy and mechanical engineering»], 2001, no. 1, pp. 106-109.
5. Bondarenko L.M., Dovbnia M.P., Loveikin V.S. *Deformatsiini opory v mashynakh* [Deformation bearings in machines]. Dnipropetrovsk, Dnipro-VAL Publ., 2002. 200 p.
 6. Dzhonson K. *Mekhanika kontaktynogo vzaimodeystviya* [Mechanics of contact interaction]. Moscow, Mir Publ., 1989. 510 p.
 7. Kovalskiy B.S. *Voprosy peredvizheniya mostovykh kranov* [The issues of bridge cranes movement]. Lugansk, VNU Publ., 2000. 63 p.
 8. Raksha S.V., Horiachev Yu.K., Kuropiatnyk O.S. Analiz vplyvu pruzhnykh deformatsii nesuchoho kanata na zusyllia v tiahovomu kanati pidvisnoi dorohy [Influence analysis of elastic deformations of the track cable on efforts in the hauling rope of aerial ropeway]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 6 (48), pp. 110-119. doi: 10.15802/stp2013/19686.
 9. Ivanchenko F.K., Bondarev V.S., Kolesnik N.P. *Raschety gruzopodemnykh i transportiruyushchikh mashin* [Calculations of lifting and transport machines]. Kyiv, Vyshcha shkola Publ., 1975. 520 p.
 10. Pisarenko G.S., Yakovlev A.P., Matveyev V.V. *Spravochnik po soprotivleniyu materialov* [Handbook of structural resistance]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1975. 725 p.
 11. Bondariyev V.S., Dubynets O.I., Kolisnyk M.P. *Pidiimno-transportni mashyny: rozrakhunky pidiimnykh i transportovalnykh mashyn* [Lifting and transport machines: calculations of lifting and transporting machines]. Kyiv, Vyshcha shkola Publ., 2009. 734 p.
 12. Aleksandrov M.P., Gokhberg M.M., Kovin A.A. *Spravochnik po kranam* [Handbook on cranes]. Leningrad, Mashinostroeniye Publ., 1988. 559 p.
 13. Awrejcewicz J., Grzelczyk D. Modeling and analytical/numerical analysis of wear processes in a mechanical friction clutch. *Intern. Journal of Bifurcation and Chaos*, 2011, vol. 21, no. 10, pp. 2861-2869. doi: 10.1142/S0218127411030192.
 14. Bažant Z.P., Cedolin L. *Stability of Structures: Elastic, Inelastic, Failure and Damage Theories*. Singapore, World Scientific Publ., 2010. 1040 p. doi: 10.1142/9789814317047.
 15. Høye J.S., Brevik I. Casimir friction force for moving harmonic oscillators. *Intern. Journal of Modern Physics: Conference Series*, 2012, vol. 14, pp. 141-154. doi: 10.1142/S2010194512007295.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. С. В. Ракшою (Україна); д.т.н., проф. В. Г. Заренбіним (Україна)

Поступила в редколлегию 11.06.2015

Принята к печати 17.08.2015

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.45:620.169.1

С. В. МЯМЛІН¹, О. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР², А. Л. ПУЛАРІЯ³, В. О. КАЛАШНИК^{4*}

¹Каф. «Вагони і 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 sergeyuyamlin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

²Каф. «Вагони і вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. /факс +38 (056) 793 19 16, ел. пошта reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180

³Каф. «Вагони і вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056)) 793 19 16, ел. пошта pularija@mail.ru, ORCID 0000-0003-1144-4179

^{4*}Каф. «Вагони і вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. /факс +38 (056) 793 19 16, ел. пошта kv47@i.ua, ORCID 0000-0002-8073-4631

ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ ІЗ ОСЕРЕДКАМИ КОРОЗІЇ ХРЕБТОВОЇ БАЛКИ

Мета. Наукова робота передбачає: 1) пошук засобів врахування впливу локальних корозійних пошкоджень конструкції вагонів, що вислужили призначений термін, із метою його продовження; 2) експериментальну перевірку відповідності матеріалу конструкції вимогам нормативної документації та обґрунтування продовження терміну служби пасажирських вагонів із осередками корозії після 30 років експлуатації; 3) оцінку відповідності залишкового ресурсу конструкції кузовів вагонів експлуатаційним навантаженням протягом наступних 5 років використання. **Методика.** Розроблений алгоритм технічного діагностування вагонів із осередками корозії хребтової балки містить у собі кілька етапів. Спочатку проводиться обстеження технічного стану конструкції візуально-оптичним методом і методами неруйнівного контролю та визначається ступінь пошкодження. На наступному етапі виконується експериментальна перевірка відповідності структури та механічних властивостей металу хребтової балки вагона з осередками корозії вимогам нормативної документації. Далі виконується дослідження міцності несучих конструкцій кузовів вагонів на підставі експериментальних статичних та ударних випробувань на міцність. Нарешті проводяться ресурсні випробування на дію поздовжніх сил і виконується оцінка та прогнозування відповідності ресурсу кузовів вагонів на наступний період. **Результати.** Дійсна робота завершена одержанням експериментальних даних із обґрунтування продовження терміну служби пасажирських вагонів як із точки зору напрацювання несучих елементів кузова вагона на ресурс, так і з точки зору хімічного складу, структури та механічних властивостей металу хребтової балки з осередками корозії. Наявність локальних корозійних пошкоджень хребтової балки представлених розмірів не складає загрози міцності конструкції та безпеці руху. **Наукова новизна.** Авторами проведені комплексні дослідження з обґрунтування терміну служби пасажирських вагонів як із боку напрацювання елементів кузова на ударну витривалість, так і з оцінки механічних властивостей металу, з якого виготовлені елементи вагона. Вперше обґрунтована можливість подальшої експлуатації вагонів із корозійними пошкодженнями хребтової балки. **Практична значимість.** Отримані вченими результати дозволя-

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ють без додаткових заходів продовжити термін служби пасажирських вагонів із осередками корозії хребтової балки.

Ключові слова: пасажирський вагон; хребтова балка; корозійні пошкодження; відповідність; хімічний склад; механічні властивості; мікроструктура; міцність конструкції; статичні випробування; ударні випробування; напруження на ресурс

Вступ

З урахуванням дефіциту пасажирських вагонів, викликаного природним скороченням інвентарного парку в зв'язку з виключенням вагонів по досягненні нормативного терміну служби, та закупівлею в недостатній кількості нових вагонів актуальним є продовження вищевказаного терміну. Комплекс робіт з продовження терміну служби передбачений методикою технічного діагностування пасажирських вагонів, що вислужили призначений термін [7], та нормативними документами [11, 16]. Деякі проблеми, що виникають під час діагностування пасажирських вагонів, розглянуті в статтях [9, 10, 12, 13, 17]. Концепція обґрунтування продовження терміну служби пасажирських вагонів з осередками корозії хребтової балки викладена в [8]. В [1] розглядається вплив зміни комплексу властивостей сталей на рівень міцності елементів конструкції.

Але ні існуюча методика, ні питання, розглянуті у вищевказаних статтях, не враховують деяких особливостей пошкоджень елементів конструкції у період експлуатації. Так, в процесі технічних оглядів та ремонту вагонів парку Укрзалізниці була виявлена група вагонів відкритого типу після 30 років служби з осередками корозії хребтової балки в кількості 779 одиниць. Такі локальні корозійні пошкодження мали довжину 400–600 мм та спостерігались на вертикальній полиці хребтової балки в її консольній частині перед шкворневою балкою (рис. 1).

У таких випадках звичайні засоби технічного діагностування згідно з [7] не дають змогу повною мірою оцінити ймовірність продовження терміну служби вагона. Тому дослідження ресурсу вагонів виконувалося з попереднім ретельним вивченням фізико-механічних властивостей металу, його хімічного складу та мікроструктури.



Рис. 1. Локальні корозійні пошкодження хребтової балки

Fig. 1. Local corrosion damages of the center sill

Мета

Метою роботи є пошук засобів обґрунтування продовження терміну служби пасажирських вагонів, що мають хребтові балки з осередками корозії. Крім того, здійснюється оцінка відповідності залишкового ресурсу конструкції кузова вагона експлуатаційним навантаженням на призначений наступний період.

Методика

На першому етапі виконувалося обстеження технічного стану конструкції вагона візуально-оптичним методом та методами неруйнівного контролю з метою визначення місць та ступеня корозійного пошкодження основних елементів конструкції. За результатами обстеження технічного стану конструкції вагонів проаналізовано виявлені пошкодження та прийнято рішення щодо виду ремонту або виключення вагона з експлуатації. На цьому етапі з парку вагонів для випробувань було відібрано два вагона відкритого типу 1983 р. побудови з характерними локальними пошкодженнями хребтової балки. На хребтовій балці були виконані штучні отвори (див. рис.1). Можливість створення таких отворів розглядалася як ознака незадовільного стану рами вагона, що вимагало експеримента-

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

льного підтвердження чи спростування. Крім того, по отворах можна візуально стежити за можливою зміною стану хребтової балки (наприклад, зміна геометрії отвору та наявність тріщин по зовнішній кромці отвору).

З метою контролю стану нижньої об'язки та стійок до, та після ударних випробувань було виконано розкриття панелі бокової стіни на ділянці шкворневого вузла на довжині 2,5–3 м (рис. 2).



Рис. 2. Розкриття панелі бокової стіни

Fig. 2. Disclosure of side wall panel

На другому етапі виконувалась експериментальна перевірка відповідності матеріалу конструкції хребтової балки вимогам нормативної документації.

Для дослідження осередків корозії та міцності металу навколо ушкоджених зон хребтової балки був відібраний вагон з найбільшими корозійними пошкодженнями. З хребтової балки вирізались зразки з місць, що були найбільш уражені корозією, так і з місць, де корозійні пошкодження відсутні. Зразки проходили такі випробування:

- для визначення марки сталі елементів хребтової балки досліджувався хімічний склад сталі;

- дослідження мікроструктури при збільшенні $100\times$ по визначенню відповідності вимогам по структурних складових внутрішньої будови металу, а саме: бальність зеренної структури та бали по неметалевих включеннях;

- механічні випробування з визначення властивостей сталі за умов статичного розтягання за кімнатної температури (межа плинності, межа тимчасового опору руйнуванню, відносні видовження і звуження металу);

- випробування з визначення ударної в'язкості за кімнатної та пониженої температурах.

На третьому етапі виконувались статичні і ударні на міцність випробування з метою оцінки міцності конструкції вагона та відповідності нормативним документам [11], [16]. Статичні міцнісні випробування на вертикальне навантаження здійснювалися шляхом посадки працівників депо (пасажирів) в кожен вагон з реєстрацією напружень в його елементах. Ударні на міцність випробування виконувались шляхом накочування вагона-бойка на дослідний вагон. Для запису напружень в елементах вагона та зусилля в автозчіпці виконувалось 50–80 співударів в діапазоні 0,5 МН–2,5 МН згідно з програмою випробувань. Перед випробуваннями на співудар для імітації маси пасажирів дослідні вагони завантажувались мішками з сипучим вантажем, розподіленими по площі підлоги таким чином, щоб максимально відтворити реальні умови.

На наступному етапі виконувались ударні ресурсні випробування з метою перевірки відповідності залишкового ресурсу вагонів навантаженням наступних 5 років експлуатації. Критерієм відповідності є напрацювання на ресурс, а обсяг випробувань визначається рівністю напрацювання вагона під час випробувань та в експлуатації [15]. Для цього було виконано цикл співударів для пари однакових вагонів як за типом, так і за роком побудови. В першій половині циклу один вагон використовувався як вагон-бойок, інший – як дослідний, в другій – їх ролі мінялись. Це стало можливим через те, що вагон-бойок при співударі відчуває таку ж силу, як і дослідний.

Результати

Обстеження технічного стану конструкції кузовів вагонів ЦМО з локальними корозійними пошкодженнями хребтової балки показало, що він є типовим для вагонів, які експлуатуються протягом 30 років. Так, зменшення товщини шворневої балки внаслідок локальної корозії досягало 43 % (мінімальна товщина полки на одному з вагонів складала 4,5 мм при початковій 8 мм). Зменшення товщини полки хребтової балки в зоні локальних корозійних по-

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

шкоджень становило біля 19 % на всіх вагонах. Найвні деформації та корозійні пошкодження нижньої обв'язки вагона (товщина полицки на деяких вагонах склала 4,2 мм – знос 35 %), поодинокі обриви стійок бокової стіни, пошкодження місць з'єднань хребтової та шворневої балок.

Обриви стійок та тріщини усунуті під час підготовки двох відібраних вагонів до виконання випробувань.

Результати досліджень фізико-механічних властивостей, хімічного складу та мікроструктури показали таке:

- за хімічним складом (частки вуглецю, кремнію, марганцю та хрому) матеріал хребтової балки відповідає вимогам якісної конструкційної сталі марки 20 [2]. Вміст шкідливих домішок (сірка та фосфор) вдвічі менше за допустимий;

- рівень неметалевих включень в 2–8 разів менший за допустимий, що відповідає вимогам високоякісних конструкційних сталей [3];

- дослідження мікроструктури показали, що сталь хребтової балки має дрібнозернисту полієдричну структуру, по товщині структура рівномірна, з відсутністю ознак ліквіації структурних складових (рис.3).

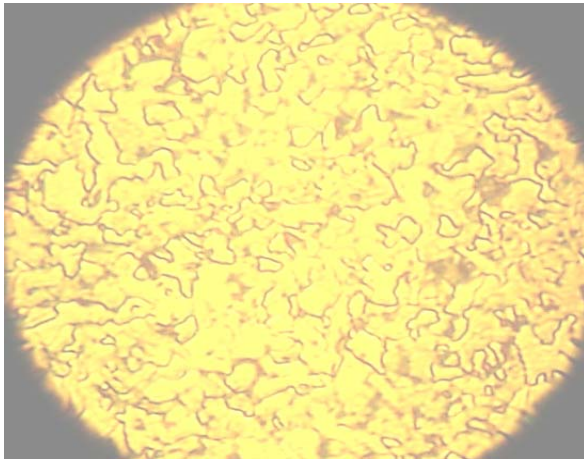


Рис. 3. Мікроструктура сталі зразка

Fig. 3. The microstructure of the steel sample

Мікроструктура сталі відповідає стану металу після контрольованої прокатки [4]:

- за рівнем міцності та пластичності (границя текучості 248–272 МПа, границя міцності 430–481 МПа, відносне залишкове подовження 27–36 %, твердість НВ 128–133) матеріал хреб-

тової балки відповідає вимогам до сталі марки 20 [5], [6];

- для металу в області максимальної корозії ударна в'язкість склала значення: за кімнатної температури 128 Дж/см², за температури – 40° С – 80 Дж/см². Допустимі значення ударної в'язкості КСУ для сталі марки 20 складають 88 Дж/см² за температури 20° С;

- матеріал хребтової балки за вищевказаними показниками з місць без ознак корозії та з місць, найбільш уражених корозією, практично не відрізняється і цілком відповідає вимогам якісної конструкційної сталі марки 20 та не становить безпосередньої загрози міцності конструкції кузова.

Результати випробувань на міцність показали таке:

- рівень напружень від маси пасажирів є незначним – найбільше значення 30,3 МПа (нижня обв'язка біля шворневої балки);

- під час випробувань на співудар при зусиллі – 2,5 МН найбільш напруженими елементами є хребтова балка біля шворневої (228 МПа) та нижня обв'язка біля шворневої (162 МПа), в той час як в шворневій та поперечній балках напруження не перевищували 79 МПа. Бокова стіна вагона також незначною мірою бере участь у сприйнятті поздовжнього зусилля – максимальне напруження 67 МПа (гофр обшивки над вікном посередині вагона);

- найбільші сумарні напруження по I розрахунковому режиму (крім вище наведених навантажень, включають в себе напруження від маси води, вугілля та ін. і власної маси кузова вагона спостерігались у поперечній балці посередині вагона (224 МПа), хребтовій балці (166 МПа) та нижній обв'язці (145 МПа), які не перевищують допустимі.

Ударні ресурсні випробування показали:

- вагони пройшли ресурсні випробування без ушкоджень, які б перешкождали виконанню випробувань і не могли бути усунуті під час виконання чергового деповського або капітального ремонту;

- вагони мали напрацювання на ресурс 6,7 років, який дозволяє продовжити термін служби вагонів на наступні 5 років;

- штучні отвори в шворневій та хребтовій балках вагонів з локальними корозійними пошкодженнями не вплинули на їх стан. Після

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

випробувань встановлено: отвори не втратили форму та відсутні ознаки розвитку тріщин в зоні отворів. Наявність отворів не вплинуло на технічний стан балок;

Огляд технічного стану вагонів, які зазнали ресурсні випробування, показав найбільш схильні до пошкоджень такі елементи: нижня об'язка (деформації, тріщини), стійки бокової стіни (тріщини, обриви). Слід зазначити, що високий рівень пошкодження нижньої об'язки зумовлений значною корозією останньої, товщина якої складала 4,2–4,5 мм при початковій 6 мм. Крім того, в одному вагоні наявні тріщини на зварювальних швах нижнього листа шворневої балки, в другому – виявлена деформація торцевої стіни. Приклади пошкоджень після ресурсних випробувань наведені на рис.4–6.



Рис. 4. Обрив стійки

Fig. 4. Break of vertical brace



Рис. 5. Деформація нижньої об'язки, обрив стійки

Fig. 5. The deformation of the lower binding, break of the vertical brace



Рис. 6. Тріщини в місці з'єднання нижнього листа зі шворневою балкою

Fig. 6. Cracks at the junction of the bottom sheet with centre bearer

Але всі вказані пошкодження можуть бути усунені під час планового ремонту і не завадять подальшій експлуатації вагонів.

Наукова новизна та практична значимість

Виконані дослідження дозволили отримати експериментальні дані з обґрунтування продовження терміну служби пасажирських вагонів з точки зору як напрацювання несучих елементів кузова на ресурс, так і з урахування хімічного складу, структури та механічних властивостей металу хребтової балки з осередками корозії. Результати досліджень можуть бути застосовані під час виконання робіт з обґрунтування подовження терміну служби, або терміну корисного використання пасажирських вагонів.

Отримані результати дозволили одночасно, без додаткових заходів продовжити термін служби 779 пасажирським вагонам з осередками корозії хребтової балки.

Висновки

Комплексні дослідження вагонів з локальними корозійними пошкодженнями хребтової балки показали, що корозійні пошкодження як за якістю матеріалу, так і з точки зору опору втомі елементів кузова не складають загрози для подальшої експлуатації вагонів. Наявність локальних корозійних пошкоджень хребтової балки наведених розмірів не складає загрози міцності конструкції та безпеці руху.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Роботи з продовження терміну служби вагонів з такими пошкодженнями рекомендується виконувати у загальному порядку.

На основі виконаних досліджень визначено, що вагони мають залишковий ресурс, достатній для їх подальшої експлуатації впродовж наступних 5 років. Після закінчення цього терміну рекомендується виконання ресурсних випробувань для оцінки залишкового ресурсу, який залежатиме від умов експлуатації та загального стану вагонів на той час. Граничний термін служби вагонів – 41 рік.

Для таких вагонів під час виконання планових видів ремонту рекомендовано:

- при локальних корозійних пошкодженнях менше 50 % здійснювати якісну антикорозійну обробку місць пошкоджень;
- якщо пошкодження досягають та перевершують 50 % – виключати вагон з інвентарного парку згідно з вимогами ЦЛ-0069 [14].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вакуленко, І. О. Металеві матеріали з підвищеною міцністю для виготовлення вагонів / І. О. Вакуленко, В. Г. Анофрієв // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 37. – С. 216–219.
2. ГОСТ 9454-78. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах. – Москва : Изд-во стандартов, 1981. – 9 с.
3. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжения. – Москва : Стандартиформ, 2005. – 26 с.
4. ГОСТ 1050-88. Прокат сортовой калиброванный со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия. – Москва : Стандартиформ, 2008. – 17 с.
5. ГОСТ 5639-82. Сталь и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. – Москва : Изд-во стандартов, 1983. – 40 с.
6. ГОСТ 1778-70. Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений. – Москва : ГК стандартов Совета Министров СССР, 1971. – 50 с.
7. Методика технічного діагностування пасажирських вагонів, що виступили призначений термін, з метою його продовження : ЦЛ-0070. – Київ : Нескінчене джерело, 2008. – 60 с.
8. Міцність та залишковий ресурс кузовів пасажирських вагонів з локальними корозійними пошкодженнями хребтової балки / О. Г. Рейдемейстер, А. Л. Пуларія, М. А. Грічаний [та ін.] // Проблеми та перспективи розвитку залізн. трансп. (15.05–16.05.2014) : тези 74 Міжнар. наук.-практ. конф. / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. – Дніпропетровськ, 2014. – С. 86–87.
9. Мямлин, С. В. Научные методы оценки ресурса несущих конструкций подвижного состава / С. В. Мямлин, В. Л. Горобец // Вісн. сертифікації залізн. трансп. – 2011. – №. 8. – С. 12–17.
10. Мямлин, С. В. Проблемы технического диагностирования пассажирских вагонов / С. В. Мямлин, А. Л. Пуларія // Розвиток наук. школи трансп. механіки : тези доп. Міжнар. наук.-техн. конф. / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. – Дніпропетровськ, 2013. – С. 65–67.
11. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – Москва : ГосНИИВ : ВНИИЖТ, 1996. – 354 с.
12. Особенности технического диагностирования подвижного состава / С. В. Мямлин, В. Г. Анофрієв, А. Л. Пуларія [и др.] // Сучасні проблеми та ефективні шляхи ремонту і відновлення залізн. рухомого складу : пр. 1 Міжнар. наук. конф. / ДП «ПВІТБ «Київдіпротранс». – Київ, 2006. – С. 16–17.
13. Остапюк, Б. Я. Подовження терміну експлуатації пасажирських вагонів / Б. Я. Остапюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2004. – Вип. 4. – С. 165–173.
14. Правила виключення пасажирських вагонів із інвентарного парку : ЦЛ-0069. – Київ : Нескінчене джерело, 2008. – 40 с.
15. Програма і методика проведення ударних ресурсних випробувань пасажирських вагонів, що виступили призначений термін служби : ПМ 01-13/ВЛВ. – Дніпропетровськ, 2013. – 16 с.
16. РД 24.050.37–95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. – Москва : ВНИИЖТ, 1995. – 101 с.
17. Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models / С. Baykasoglu, E. Sunbuloglu, S. E. Bozdag [et al.] // Intern. Iron & Steel Symposium (02.04–04.04.2012) / Karabük University. – Istanbul, 2012. – P. 579–586.

С. В. МЯМЛИН¹, А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР², А. Л. ПУЛАРИЯ³, В. А. КАЛАШНИК^{4*}

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 sergeymyamlin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

²Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 16, эл. почта reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180

³Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 793 19 16, эл. почта pularija@mail.ru, ORCID 0000-0003-1144-4179

^{4*}Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 16, эл. почта kv47@i.ua, ORCID 0000-0002-8073-4631

ОБОСНОВАНИЕ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ С ОЧАГАМИ КОРРОЗИИ ХРЕБТОВОЙ БАЛКИ

Цель. Научная работа предполагает: 1) поиск способов учета влияния локальных коррозионных повреждений конструкции вагонов, которые отслужили назначенный срок, с целью его продления; 2) экспериментальную проверку соответствия материала конструкции требованиям нормативной документации и обоснование продления срока службы пассажирских вагонов с очагами коррозии после 30 лет эксплуатации; 3) оценку соответствия остаточного ресурса конструкции кузовов вагонов эксплуатационным нагрузкам в течение следующих 5 лет использования. **Методика.** Разработанный алгоритм технического диагностирования вагонов с очагами коррозии хребтовой балки содержит в себе несколько этапов. Сначала проводится обследование технического состояния конструкции визуально-оптическим методом и методами неразрушающего контроля, а также определяется степень повреждений. На следующем этапе выполняется экспериментальная проверка соответствия структуры и механических свойств металла хребтовой балки вагона с очагами коррозии требованиям нормативной документации. Далее выполняется исследование прочности несущих конструкций кузовов вагонов на основе экспериментальных статических и ударных испытаний на прочность. Наконец проводятся ресурсные испытания на действие продольных сил и выполняется оценка и прогнозирование соответствия ресурса кузовов вагонов на следующий период. **Результаты.** Действительная работа завершена получением экспериментальных данных по обоснованию продления срока службы пассажирских вагонов как с точки зрения наработки несущих элементов кузова вагона на ресурс, так и с точки зрения химического состава, структуры и механических свойств металла хребтовой балки с очагами коррозии. Наличие локальных коррозионных повреждений хребтовой балки представленных размеров не составляет угрозы прочности конструкции и безопасности движения. **Научная новизна.** Авторами проведены комплексные исследования по обоснованию срока службы пассажирских вагонов как со стороны наработки элементов кузова на ударную выносливость, так и оценки механических свойств металла, из которого изготовлены элементы вагона. Впервые обоснована возможность дальнейшей эксплуатации вагонов с коррозионными повреждениями хребтовой балки. **Практическая значимость.** Полученные учеными результаты позволяют без дополнительных мероприятий продлить срок службы пассажирских вагонов с очагами коррозии хребтовой балки.

Ключевые слова: пассажирский вагон; хребтовая балка; коррозионные повреждения; соответствие; химический состав; механические свойства; микроструктура; прочность конструкции; статические испытания; ударные испытания; наработка на ресурс

S. V. MIAMLIN¹, O. H. REIDEMEISTER², A. L. PULARIYA³, V. O. KALASHNYK^{4*}

¹Dep. «Cars and Car Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lasaryan, Lasaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 776 84 98, e-mail sergeymyamlin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

²Dep. «Cars and Car Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lasaryan, Lasaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793-19-16, e-mail reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180

³Dep. «Cars and Car Facilities» Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lasaryan, Lasaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793 19 16, e-mail pularija@mail.ru, ORCID 0000-0003-1144-4179

^{4*}Dep. «Cars and Car Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lasaryan, Lasaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 16, e-mail kv47@i.ua, ORCID 0000-0002-8073-4631

THE RATIONALE FOR EXTENDING THE SERVICES OF PASSENGER CARS WITH POCKETS OF CORROSION IN THE CENTER SILL

Purpose. The scientific work supposed: 1) the search of accounting ways of the local corrosion damages influence to the car design, that were expired the appointed time, for the purpose of renewal; 2) experimental verification of conformity of material construction requirements of the normative documentation and justification for extending the services of passenger cars with pockets of corrosion after 30 years of operation; 3) the conformity assessment of residual life of the structure of car bodies operating pressures in the next 5 years of use. **Methodology.** The developed algorithm of technical diagnostics of cars with pockets of corrosion of the center sill contains several stages. First, a survey of technical condition of structures is conducted by a visual-optical method and nondestructive control methods, and the degree of damage is determined. In the next phase the experimental verification of conformity of the structure and mechanical properties of the center sill of the car with the pockets of corrosion to regulatory requirements are executed. Next, the study of strength of the supporting structures of car bodies on the basis of experimental static and impact tests of strength is executed. Finally, the endurance tests are conducted on the effect of the longitudinal forces and the evaluation and prediction of compliance resource car bodies for the next period are executed. **Findings.** The actual work is completed by obtaining the experimental data on the feasibility of extending the service life of passenger cars as from the point of view of an operating time of load-bearing elements of the car body to the resource, and from the point of view of chemical composition, structure and mechanical properties of the center sill with pockets of corrosion. The presence of local corrosion damages of the center sill of the presented size is not a threat to the structural strength and safety. **Originality.** The authors conducted a comprehensive study to validate the service life of passenger cars both on the part of the operating time of the car bodies elements on impact toughness and the evaluation the mechanical properties of the metal from which the elements of the car are produced. For the first time the possibility of further operation of cars with corrosion damages in the center sill is grounded. **Practical value.** The obtained results allow without the additional activities to extend the service life of passenger cars with pockets of corrosion in the center sill.

Keywords: passenger car; center sill; corrosion damage; compliance; chemical composition; mechanical properties; microstructure; structural strength; static test; impact test; time to share

REFERENCES

1. Vakulenko I.O., Anofriiev V.H. Metalevi materialy z pidvyshchenoiu mitsnistiu dlia vyhotovlennia vahoniv [Metal materials with high durability for making carriages]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 37, pp. 216-219.
2. *GOST 9454-78. Metally. Metod ispytaniya na udarnyy izgib pri ponizhennykh, komnatnoy i povyshennykh temperaturakh* [State standard 9454-78. Metals. Method for testing the impact strength at low, room and elevated temperatures]. Moscow, Standartinform Publ., 1981. 9 p.
3. *GOST 1497-84. Metally. Metody ispytaniy na rastyazheniya* [State standard 1497-84. Metals. Test methods for tension]. Moscow, Standartinform Publ., 2005. 26 p.
4. *GOST 1050-88. Prokat sortovoy kalibrovanny so spetsialnoy otdelkoy poverkhnosti iz uglerodistoy kachestvennoy konstruktsionnoy stali. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya* [State standart 1050-88. Calibrated rolled metal with special surface finish of quality carbon structural steel. General specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 17 p.
5. *GOST 5639-82. Stali i splavy. Metody vyyavleniya i opredeleniya velichiny zerna* [State standard 5639-82. Steel and alloys. Methods of detection and determination of grain size]. Moscow, Standartinform Publ., 1983. 40 p.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

6. *GOST 1778-70. Stal. Metallograficheskiye metody opredeleniya nemetallicheskih vklyucheni* [State standard 1778-70. Steel. Metallographic methods for the determination of non-metallic inclusions]. Moscow, GK standartov Soveta Ministrov SSSR Publ., 1971. 50 p.
7. *Metodyka tekhnichnoho diahnostuvannia pasazhyrskykh vahoniv, shcho vysluzhyly pryznachenyi termin, z metoiu yoho prodovzhennia. Instruktsiia TsL-0070* [Methods of technical diagnostics of passenger cars, that were expired the appointed time, for the purpose of renewal. Instruction TsL-0070]. Kyiv, Neskinchene dzherelo Publ., 2008. 60 p.
8. Reidemeister O.H., Pulariia A.L., Hrichanyi M.A. Mitsnist ta zalyshkovyi resurs kuzoviv pasazhyrskykh vahoniv z lokalnymi koroziiynymi poshkodzhenniamy khrebtovoi balky [The strength and residual life of the passenger cars bodies with local corrosion damage of center sill]. *Tezy 74 Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Problemy ta perspektyvy rozvytku zaliznychnoho transportu (15.05-16.05.2014)»* [Abstracts of the 74 Int. Sci.-Practical Conf. «Problems and prospects of development of railway transport (15.05-16.05.2014)»]. Dnipropetrovsk, 2014, pp. 86-87.
9. Myamlin S.V., Gorobets V.L. Nauchnye metody otsenki resursa nesushchikh konstruktsiy podvizhnogo sostava [Scientific methods of resource assessment of rolling stock load-bearing structures]. *Visnyk sertyfikatsii zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Railway Transport Certification]. Dnipropetrovsk, 2011, issue 8, pp. 12-17.
10. Myamlin S.V., Pulariya A.L. Problemy tekhnicheskogo diagnostirovaniya passazhirskikh vagonov [The problems of technical diagnostics of passenger cars]. *Tezy dopovidei Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Rozvytok naukovoi shkoly transportnoi mekhaniky»* [Reports abstracts of Intern. Scien.and Techn. Conf. «The Scientific Development of School Transportation Mechanics»]. Dnipropetrovsk, 2013, pp. 65-67.
11. *Normy dlya rascheta i proyektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh)* [Standards for the cars calculation and design of the Ministry of Railways of 1520 mm (not self-propelled)]. Moscow, GosNIIV-VNIIZhT Publ., 1996. 354 p.
12. Myamlin S.V., Anofriev V.G., Pulariia A.L. Osobennosti tekhnicheskogo diagnostirovaniya podvizhnogo sostava [Features technical diagnostics of rolling stock]. *Pratsi 1 Mizhnarodnoi naukovoi konferentsii «Suchasni problemy ta efektyvni shliakhy remontu i vidnovlennia zaliznychnoho rukhomoho skladu»* [Proc.of the 1st Int. Sci. Conf. Modern «Problems and effective ways of repair and restoration of railway rolling stock»]. Kyiv, 2006, pp. 16-17.
13. Ostapiuk B.Ya. Podovzhennia terminu ekspluatatsii pasazhyrskykh vahoniv [The life extension of passenger cars]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2004, issue 4, pp. 165-173.
14. *Pravyly vykliuchennia pasazhyrskykh vahoniv iz inventarnoho parku. Instruktsiia TsL-0069* [The rules passenger cars of inventory park retirement. Instruction TsL-0069]. Kyiv, Neskinchene dzherelo Publ., 2008. 40 p.
15. *Prohrama i metodyka provedennia udarnykh resursnykh vyprobuvan pasazhyrskykh vahoniv, shcho vysluzhyly pryznachenyi termin sluzhby* [Program and methodology for impact endurance tests of passenger cars, which had expired service life]. Dnipropetrovsk, 2013. 16 p.
16. *RD 24.050.37–95. Vagony gruzovyye i passazhirskiye. Metody ispytaniy na prochnost i khodovyye kachestva* [RD 24.050.37–95. The freight and passenger cars. Test methods for durability and ride performance]. Moscow, VNIIZhT Publ., 1995. 101 p.
17. Baykasoglu C., Sunbuloglu E., Bozdag S. E., Aruk F., Toprak T. Muga A. Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models. Intern. Iron & Steel Symposium (02.04.-04.04.2012). Karabük University, Türkiye, 2012, pp. 579-586.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н, професором М. І. Капицею (Україна); головним технологом ВСП «Синельниківське пасажирське вагонне депо» Придніпровської залізниці В. М. Крутенко (Україна)

Надійшла до редакції: 17.07.2015

Прийнято до друку: 23.09.2015

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.463.027.23

А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР¹, А. А. ШИКУНОВ^{2*}

¹Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180

^{2*}Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта tri_s@ua.fm, ORCID 0000-0002-8256-2634

СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БОКОВЫХ РАМ ТРЕХЭЛЕМЕНТНЫХ ТЕЛЕЖЕК

Цель. В работе предполагается найти способы усиления конструкции боковой рамы тележки в местах концентрации напряжений (соединение поясов, углы челюстных и буксовых проемов и т. п.), где, как показывает опыт эксплуатации, возможно зарождение усталостных трещин. Следует избежать заметного увеличения массы конструкции и не вызвать «перетекания» областей с большими напряжениями из одних участков конструкции в другие. **Методика.** Напряжения в боковой раме авторы определяют путем конечно-элементного моделирования. Сначала выявляют подлежащие усилению участки конструкции. На следующем этапе разрабатывают возможные способы усиления (увеличение толщины стенок, изменение радиусов сопряжения, введение дополнительных ребер жесткости и проч.). После этого по результатам моделирования оценивают эффективность каждого метода. Усиление отдельных участков боковой рамы не всегда приводит к увеличению ее прочности в целом (уменьшение напряжений в одном месте зачастую приводит к росту напряжений в другом). Дальнейшая процедура носит итерационный характер: в конструкцию рамы вносят удачные изменения, вновь выявляют ослабленные участки конструкции и т. д., до достижения приемлемого уровня прочности. **Результаты.** Направленный итерационный поиск позволяет найти комбинацию локальных усилений, существенно увеличивающих прочность конструкции. А именно: увеличены радиусы перехода от колонки к опорной поверхности и в отверстия между колонкой и наклонным поясом до 40 и 50 мм соответственно; добавлены ребра жесткости между верхней и нижней полочкой направляющей триангеля, а также на внутренней направляющей челюстного проема; уменьшена на треть площадь технологического отверстия в колонке. За счет предлагаемой комбинации усилений напряжения в конструкции удалось снизить на 41 %. **Научная новизна.** Учеными показана эффективность итерационной процедуры поиска комбинаций локальных усилений конструкции боковой рамы, позволяющих существенно увеличить ее прочность без значительного увеличения массы. **Практическая значимость.** Полученные результаты позволяют существенно повысить прочность боковой рамы трехэлементной тележки без заметного изменения ее геометрических и массовых характеристик.

Ключевые слова: боковая рама; трехэлементная тележка; прочность; модернизация; усиление

Введение

Конструкция боковой рамы трехэлементной тележки для грузовых вагонов кардинально не меняется с 1951 г. после ввода в эксплуатацию тележки типа МТ-50, заменившей поясные тележки. С развитием научно-технической мысли менялись и совершенствовались отдельные ее элементы, но сама боковая рама представляет собой стальную отливку, объединенные верхний, нижний, наклонные пояса и колонки которой образуют в средней части проем для размещения комплекта центрального рессорного подвешивания, а по концам — буксовые про-

емы. Так же на боковой раме отлиты кронштейны для крепления и опирания различных элементов тележки.

Отличаются между собой различные конструкции боковых рам тележек сечением элементов и местами перехода одних элементов в другие. Необходимость разработки новых моделей боковых рам зачастую связано с введением в конструкцию тележки новых элементов или повышением осевой нагрузки [3, 4, 5, 9, 10, 16]. Направлены новые разработки на повышение прочности и надежности боковой рамы и часто сводятся к выбору сечения отдельных элементов и оптимальных конструкторских решений

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

в местах перехода одних элементов в другие. На последние зачастую наложены ограничения, связанные с взаимодействием боковых рам и других элементов тележки.

После создания модели новой боковой рамы для нее выполняется прочностной и усталостный расчеты, при которых выявляются участки, не выдерживающие нагрузки, предусмотренные «Нормами...» [6, 12, 13, 11]. А конструктор сталкивается с необходимостью увеличения прочности отдельных участков боковой рамы без значительного увеличения ее массы и изменения ее конструкции [1, 7, 11, 14, 16, 15]. Этот этап работы конструктора в значительной мере может быть облегчен, если усиление модели проводить на основе результатов прочностного анализа при участии в их разработке специалистов, проводящих оценку прочности конструкции. Так как современные методы оценки прочности сложных конструкций, а именно метод конечных элементов (МКЭ) позволяют визуально выделить очаги концентрации напряжений, оценить поля распределения их распределения в конструкции, что позволяет более эффективно разрабатывать ее местное усиление [14].

Для исследования использовалась боковая рама трехэлементной тележки (рис. 1), конструктивными особенностями которой являются [2]:

- опирание в буксовом проеме не только через горизонтальные, но и через наклонные поверхности производится на упругий элемент буксового адаптера;
- наличие во внутреннем и наружном углах буксового проема разгрузочной канавки;
- наличие технологических отверстий в нижней части колонок центрального рессорного проема;
- отсутствие на верхнем поясе кронштейна для крепления подвески тормозного башмака – его заменила полочка для триангеля на наклонном поясе;
- наличие кронштейна для диагональных связей в зоне технологического окна;
- билинейное рессорное подвешивание и девять двухрядных пружин в центральном рессорном комплекте;
- для тележки после снятия пружин необходимо опустить надрессорную балку до упора в нижний пояс.

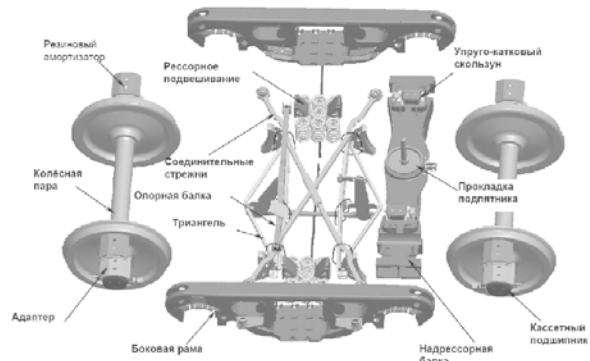


Рис. 1. Тележка нового поколения

Fig. 1. The bogie of new generation

Цель

Целью работы является поиск вариантов повышения прочности проблемных участков боковой рамы трехэлементной тележки без значительного увеличения ее массы и снижения прочности.

Методика

Оценка прочности данной боковой рамы проводилась согласно «Норм...». При этом были выявлены следующие участки, где возникающие в конструкции напряжения превышают допустимые значения (табл. 1). Допускаемые напряжения приведены для сталей, применяемых для изготовления тележек грузовых вагонов согласно ОСТ 32.183-2001 «Тележки двухосные грузовых вагонов колеи 1520 мм. Детали литые. Рама боковая и балка надрессорная. Технические условия» [8]. Минимальный предел текучести стали согласно ОСТ 32.183-2001 [σ_t]=294МПа. Предельные допускаемые напряжения для данной стали приняты согласно [6] (см. табл. 1)

Конструкция не обеспечивает достаточную прочность во всех приведенных сечениях кроме наружного угла буксового проема и требует модернизации.

Участки боковой рамы, где напряжения превышают предельные допустимые значения, показаны на рис. 2, а нумерация участков соответствует табл. 1.

Таблица 1

Напряжения в элементах боковой рамы тележки

Table 1

Stresses in the elements of a side frame of a bogie

Зона боковой рамы	I расчетный режим [σ] = 244 МПа			III расчетный режим [σ] = 140 МПа		
	Исходный вариант	Первый этап усиления	Комплексное усиление	Исходный вариант	Первый этап усиления	Комплексное усиление
Нижний угол центрального рессорного проема с внутренней стороны (рис. 2)	491	171	158	447	128	125
Нижний угол центрального рессорного проема с наружной стороны	229	169	169,6	208	126	122
Зона перехода от опорной поверхности центрального рессорного проема к нижнему поясу	264	236	219	185	128	128
Внутренний угол буксового проема	219	225	149	187	194	128
Наружный угол буксового проема	32	36	47	19	29	37
Нижний пояс	198	168	152	176	144	133
Технологическое окно возле кронштейна для диагональных связей	173	136	155	167	172	135
Ребро перехода от верхней полочки триангеля к нижней	-	236	240	-	182	140

Для усиления углов центрального рессорного проема рассмотрены следующие модернизации:

Ц1) ликвидация технологического отверстия в нижней части колонок. Данная модернизация не возможна в полном объеме, так как затрудняет формирование опок для отливок – уменьшена площадь отверстия и по периметру отверстие усилено буртом;

Ц2) увеличение радиуса угла центрального рессорного проема. Изменение возможно только на высоте буртов, ограничивающих опорную поверхность рессорного проема;

Ц3) увеличение длины вертикального ребра в нижнем поясе;

Ц4) установка ребер жесткости между колонками и опорной поверхностью рессорного проема с внутренней стороны боковой рамы

рессорного комплекта. Высота ребер жесткости не должна превышать высоту буртов, ограничивающих опорную поверхность рессорного проема, в противном случае усиление невозможно так как препятствует разборке тележки. Для усиления верхняя и нижняя полочки триангеля соединены вертикальным ребром, переходящим в бурты, ограничивающие опорную поверхность рессорного проема.

Для усиления внутреннего угла буксового проема рассмотрены три варианта:

Б1) увеличение толщины вертикальных поверхностей в зоне сопряжения верхнего и наклонного поясов;

Б2) увеличение толщины горизонтальной поверхности в зоне внутреннего угла буксового проема;

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Б3) ликвидация разгрузочной канавки в углу;

Б4) установка усиливающего ребра в проблемной зоне путем продления опорной поверхности для буксового адаптера.

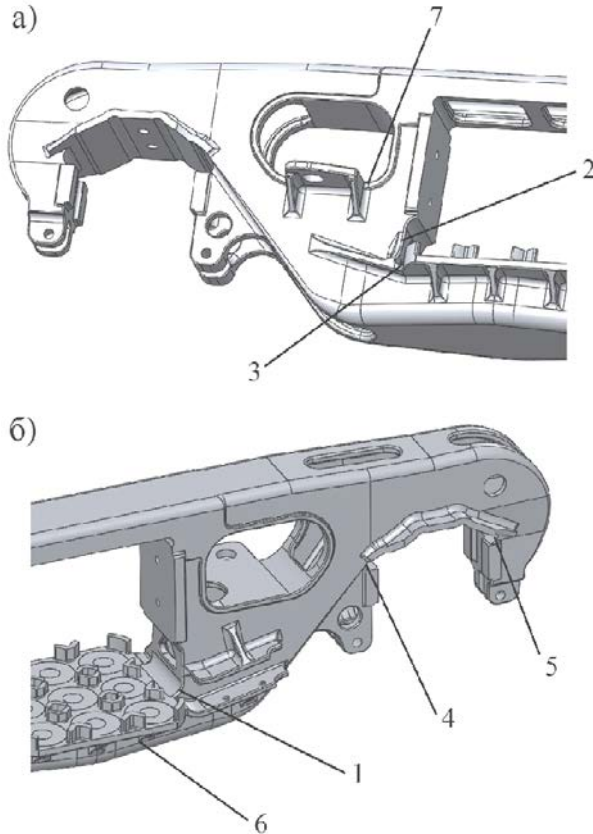


Рис. 2. Участки боковой рамы тележки, требующие усиления конструкции:
а – внешняя сторона рамы;
б – внутренняя сторона рамы.

Fig. 2. Sections of the side frame of a bogie, requiring structural reinforcements:
a – the outer side of the side frame;
b – the inner side of the side frame.

Для усиления технологического окна рассмотрены три варианта:

Т1) увеличение радиуса нижнего внутреннего угла технологического окна и толщины перемычки полосы для установки диагональных связей;

Т2) увеличение ширины усиливающего бурта вокруг технологического окна;

Т3) увеличение радиуса перехода от кронштейна диагональных связей к вертикальной плоскости боковой рамы.

Первый этап усиления конструкции наиболее благоприятно сказался на общем распределении напряжений по конструкции (табл. 1) и является основой для дальнейшей ее модернизации.

На первом этапе усиления произведено увеличение радиуса перехода от опорной поверхности центрального рессорного проема к колонке с 34 мм до 40 мм. Верхняя и нижняя полочки триангеля соединены вертикальным ребром, переходящим в бурты, ограничивающие опорную поверхность рессорного проема. А зона скругления нижнего угла рессорного проема продлена на усиливающие ребра.

Это позволило значительно снизить напряжения в нижнем углу центрального рессорного проема как с внутренней, так и с наружной стороны. Снизило уровень напряжений в зоне перехода от опорной поверхности центрального рессорного проема к нижнему поясу и в нижнем поясе в целом. Однако привело также к возрастанию напряжений во внутреннем углу буксового проема и технологическом окне на 5–8 МПа.

Также усиление привело к появлению новой зоны – ребро перехода от верхней полочки триангеля к нижней. Напряжения в данной зоне составили 236 и 187 МПа по I расчетному режиму (далее – р.р.) и III р.р. соответственно. Комбинации усилений моделей приведены в табл. 2.

Следующим шагом модернизации являлась ликвидация технологического отверстия в колонке. Это позволяло также снизить общий уровень напряжений в нижней зоне рессорного проема. Однако данный вид модернизации был отвергнут, так как наличие отверстия является обязательным для формирования литевой опоки, и его ликвидация приведет к значительным изменениям во внутреннем пространстве боковой рамы. В качестве альтернативы площадь данного отверстия была уменьшена, а кромка усилена буртом с внутренней стороны. Данная модернизация привела к перераспределению напряжений в нижней зоне рессорного комплекта и буксового узла, в целом положительному – напряжения повысились выше предельных допустимых значений только в зоне перехода от опорной поверхности центрального рессорного проема к нижнему поясу.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

А также вызвала рост напряжений в технологическом окне.

Таблица 2

Варианты комбинации усиления модели

Table 2

Possible combinations of the model reinforcement

Варианты модернизации	Способы усиления конструкции
Первоначальный вариант	Ц2 (увеличен радиус нижнего угла центрального рессорного проема с 34 мм до 40 мм); Ц4 (толщина ребра, связывающего верхнюю и нижнюю полочки триангеля 15 мм).
Комплексная модернизация	Ц2 (радиус увеличен с 34 мм до 40 мм); Ц4 (толщина ребра, связывающего верхнюю и нижнюю полочки триангеля 10 мм); Ц1 (площадь отверстия уменьшена на 35 %); Б4 (длина ребра 115 мм); Т1 (увеличен радиуса нижнего внутреннего угла технологического окна с внутренней стороны боковой рамы с 50 до 60 мм); Т3 (радиус увеличен с 10 до 50 мм)

Также с целью снижения напряжений в нижней зоне рессорного комплекта было проведено увеличение длины продольного ребра жесткости, расположенного внутри нижнего пояса. Это привело к незначительному снижению напряжений в зоне нижнего угла центрального рессорного проема, однако вызвало значительное превышение допускаемых напряжений в зоне перехода вертикальной кромки ребра жесткости в верхний лист нижнего пояса.

На следующем этапе усиления конструкции внимание было сосредоточено на внутреннем углу буксового проема.

Для его усиления были опробованы варианты увеличения толщины вертикальных листов боковой рамы в зоне данного угла с 15 мм до 20 мм и увеличение толщины нижнего листа с 28 мм до 33 мм. Оба варианта не привели к значительным снижениям напряжений в зоне их концентрации. Также не дало результатов продольное ребро усиления, расположенное внутри боковой в зоне соединения верхнего и наклонного поясов рамы с внутренней стороны, высотой 15 мм и шириной 20 мм. Попытка ликвидации разгрузочной канавки во внутреннем углу буксового проема дало увеличение концентрации напряжений в проблемной зоне на 3-4 МПа.

Уменьшить напряжения в данной зоне ниже предельных допускаемых значений стало возможным в результате продления ребра опорной поверхности буксового проема вдоль наклонного пояса за зону внутреннего угла. Максимальные напряжения во внутреннем углу буксового проема снизились с 225 до 149 МПа и с 194 до 128 МПа при I р.р. и III р.р. соответственно.

При усилении технологического окна изменение радиуса его нижнего внутреннего угла и толщины перемычки полочки для установки диагональных связей привело к снижению напряжений до уровня 160 МПа при III р.р. Увеличение толщины усиливающего бурта с 16 до 18 мм по всему периметру привело к появлению очага высоких напряжений в верхнем наружном углу.

Снижению напряжений поспособствовало увеличение угла перехода от внешней части полочки для установки диагональных связей к вертикальной поверхности боковой рамы. В сочетании с увеличением радиуса нижнего внутреннего угла технологического окна это дало снижение напряжений со 172 до 132 МПа при III р.р.

После применения выше описанных модернизаций зона с напряжениями, превышающими предельные допускаемые значения, сохранилась только на ребре, соединяющем верхнюю и нижнюю полочки триангеля – 182 МПа при III р.р. Для ее устранения проводилось изменение радиусов перехода сопрягаемых элементов, а также их толщин.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Изменение толщины данного ребра с 15 до 11 мм привело к снижению напряжений со 182 до 140 МПа, а дальнейшее уменьшение толщины до 9 мм вызвало возрастание напряжений до 151 МПа. Также результатов не дали разгрузочная канавка и ребро усиления в месте концентрации напряжений. Они вызвали при III р.р. скачек возникающих в зоне напряжений до 190 МПа и 205 МПа соответственно.

Так как эффект от уменьшения площади технологического отверстия в нижней части колонки незначителен, после комплексной модернизации выполнена оценка напряженного состояния при исходной площади отверстия. Возникающие в конструкции напряжения увеличились на 2–3 МПа.

Результаты

Полученная в результате комплексной модернизации боковая рама тележки отвечает требованиям нормативной документации (см. табл. 1), а уровень максимальных напряжений, возникающих в элементах конструкции, снижен на некоторых участках более чем в два раза.

Научная новизна и практическая значимость

Оценена целесообразность нескольких вариантов изменения конструкции боковой рамы трехэлементной тележки, направленных на местное усиление конструкции. А также их влияние на распределение напряжений в конструкции в целом.

Полученные результаты позволяют существенно повысить прочность боковой рамы трехэлементной тележки без заметного изменения ее геометрических и массовых характеристик.

Выводы

Выполненный анализ усиления боковой рамы тележки показал, что применение очевидных методов повышения прочности конструкции не всегда приводит к ожидаемым результатам, а само усиление сложно нагруженных конструкций при условии минимального изменения их массы должно выполняться как комплекс взаимосвязанных модернизаций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бороненко, Ю. П. Обобщение накопленного опыта проектирования тележек грузовых вагонов для создания их типоразмерного ряда / Ю. П. Бороненко, А. М. Орлова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2004. – Вип. 5. – С. 25–29.
2. Бубнов, В. М. Совершенствование конструкции боковой рамы двухосной тележки грузовых вагонов / В. М. Бубнов, Н. Б. Манкевич, С. В. Мямлин // Вагонный парк. – 2011. – № 2. – С. 36–39.
3. Давыдов, А. Н. Влияние продольных горизонтальных зазоров в боковых опорах непрерывного контакта на величину критической скорости грузового вагона / А. Н. Давыдов, А. В. Смольянинов // Вестн. Урал. гос. ун-та путей сообщения. – 2013. – № 1 (17). – С. 43–49.
4. Динамические качества грузовых вагонов, имеющих тележки с диагональными связями / Е. П. Блохин, К. Т. Алпысбаев, Р. Б. Грановский [и др.] // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ, 2012. – Вип. 5, ч. 1. – С. 12–16.
5. Мямлін, С. В. Прогнозування розвитку конструкції двовісного візка вантажного вагона / С. В. Мямлін, А. С. Мацюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 27. – С. 24–29.
6. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) (с изм. и доп. № 1 (с 01.02.2000 г.) и № 2 (с 01.03.2002 г.)). – Москва : ГосНИИВ : ВНИИЖТ, 1996. – 352 с.
7. 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. – Луганськ, 2013. – Вип. 9 (1). – С. 7–16.
8. ОСТ 32.183-2001. Тележки двухосные грузовых вагонов колеи 1520 мм. Детали литые. Рама боковая и балка надрессорная. Технические условия. – Введ. 2002–05–01. – Москва : МПС России, 2001. – 22 с.
9. Пути совершенствования конструкции тележки грузового вагона / А. А. Босов, С. В. Мямлин, В. Я. Панасенко, И. В. Клименко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 29. – С. 27–32.
10. Харьбин, И. А. Совершенствовать ходовую часть грузовых вагонов / И. А. Харьбин, А. М. Орлова,

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- А. В. Додонов // Вагоны и вагонное хоз-во. – 2009. – № 2 (18). – С. 26–29.
11. Bendsøe, M. P. Topology optimization. Theory, methods and applications / M. P. Bendsøe, O. Sigmund. – Berlin : Springer, 2004. – 370 p. doi: 10.1007/978-3-662-05086-6.
 12. Bubnov, V. Theoretical And Experimental Investigations Of Strength Properties Of Cast Parts For Freight Cars Bogie With Axle Load Of 245 kN / V. Bubnov, S. Myamlin, N. Mankevych // TRANSBALTICA 2013 : Selected Paper of the 8th Intern. Conf. (09.05-10.05.2013) / Vilnius Gediminas Technical University. – Vilnius, 2013. – P. 9–13. doi: 10.3846/transbaltica2013.003 .
 13. Claus, H. Modeling and simulation of railway bogie structural vibrations / H. Claus, W. Schiehlen // Vehicle System Dynamics. – 1998. – Vol. 29. – Supp. 1. – P. 538–552. doi: 10.1080/0042-3119808969585.
 14. Dietz, S. Fatigue life prediction of railway bogie under dynamic loads through simulation / S. Dietz, H. Netter, D. Sachau // Vehicle System Dynamics. – 1998. – Vol. 29. – Iss. 6. – P. 385–402. doi: 10.1080/00423119808969381.
 15. Optimum design of titling bogie frame in consideration of fatigue strength and weight / B. Park, N. Kim, Ju. Kim, K. Lee // Vehicle System Dynamics. – 2006. – Vol. 44. – Iss. 12. – P. 887–901. doi: 10.1080/00423110600737106.
 16. Park, B. U. Bogie frame design in consideration of fatigue strength and weight reduction / B. U. Park, K. Y. Lee // Proc. of the Institution of Mechanical Engineers. Part F. J. of Rail and Rapid Transit. – 2006. – Vol. 220. – Iss. 3. – P. 201–206. doi: 10.1243/09544097f01405.

О. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР¹, О. А. ШИКУНОВ^{2*}

¹Каф. «Вагоны та вагонне господарство», Дніпропетровській національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180

^{2*}Каф. «Вагоны та вагонне господарство», Дніпропетровській національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта tri_s@ua.fm, ORCID 0000-0002-8256-2634

СПОСОБИ ЗБІЛЬШЕННЯ МІЦНОСТІ БІЧНИХ РАМ ТРЬОХЕЛЕМЕНТНИХ ВІЗКІВ

Мета. В роботі передбачається знайти способи посилення конструкції бічної рами візка в місцях концентрації напружень (з'єднання поясів, кути щелепних та буксових прорізів і т. п.), де, як показує досвід експлуатації, можливе зародження втомних тріщин. Слід уникнути помітного збільшення маси конструкції та не викликати «перетікання» областей із великими напруженнями з одних ділянок конструкції в інші. **Методика.** Напруження в бічній рамі автори визначають шляхом скінченно-елементного моделювання. Спочатку виявляють ділянки конструкції, які підлягають посиленню. На наступному етапі розробляють можливі способи посилення (збільшення товщини стінок, зміна радіусів сполучення, введення додаткових ребер жорсткості та ін.). Після чого за результатами моделювання оцінюють ефективність кожного методу. Посилення окремих ділянок бічної рами не завжди призводить до збільшення її міцності в цілому (зменшення напружень в одному місці часто призводить до зростання напружень в іншому). Подальша процедура носить ітераційний характер: в конструкцію рами вносять вдалі зміни, знову виявляють ослаблені ділянки конструкції і т. п., до досягнення прийнятного рівня міцності. **Результати.** Спрямований ітераційний пошук дозволяє знайти комбінацію локальних підсилень, що істотно збільшують міцність конструкції. Ними є: збільшені радіуси переходу від колонки до опорної поверхні та в отворі між колонкою і похилим поясом до 40 і 50 мм відповідно; додані ребра жорсткості між верхньою і нижньою поличкою направляючої триангеля, а також на внутрішній направляючій щелепного отвору, зменшена на третину площа технологічного отвору в колонці. За рахунок запропонованої комбінації підсилень напруження в конструкції вдалося знизити на 41 %. **Наукова новизна.** Вченими показана ефективність ітераційної процедури пошуку комбінацій локальних підсилень конструкції бічної рами, що дозволяють істотно збільшити її міцність без значного збільшення маси. **Практична значимість.** Отримані результати дозволяють істотно підвищити міцність бічної рами трьохелементного візка без помітної зміни її геометричних та масових характеристик.

Ключові слова: бічна рама; трьохелементний візок; міцність; модернізація; посилення

O. H. REIDEMEISTER¹, O. A. SHYKUNOV^{2*}

¹Dep. «Cars and Cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180

^{2*}Dep. «Cars and Cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail tri_s@ua.fm, ORCID 0000-0002-8256-2634

STRENGTH INCREASE METHODS OF THE SIDE FRAME OF THE BOGIE IN THREE-PIECE TRUCKS

Purpose. In the paper it is proposed to find methods of structural reinforcement of a side frame of a bogie in areas of stress concentration (the compound zone, the corners of the pedestal jaw opening, etc.), where, as the experience of operation shows, it is possible the emergence of fatigue cracks. It should avoid a significant increase in weight of the structure and does not cause «overflow» areas with a lot of stress from one portion of the structure to another. **Methodology.** The stresses in the side frame are determined by finite element modeling. Firstly parts of structure that is subject to be strengthened are detected. At the next stage the possible ways of enhancement are developed (wall thickness increase, change of fillet radii, introduction of additional truss plate, etc.). After which according to the results of simulation the effectiveness of each method is evaluated. Amplification of individual sections of the side frame does not always lead to its hardening as a whole (stress decrease in one place often leads to stress increase in the other one). The further procedure is iterative in nature: best-case changes are entered in the design of the frame; weakened areas of construction again are revealed and so on, till to the achievement an acceptable level of safety. **Findings.** Directional iterative search allows finding a combination of local amplification that increasing significantly the strength of structure. Namely, radius of the transition from the column to the support surface and in the openings between the column and the inclined belt up to 40 and 50 mm are increased respectively; truss plate are added between the upper and lower shelf of Triangel guide and on the inner guide of jaw aperture; technological area of the aperture in the column is reduced by one-third. Due to the proposed stresses combination, voltages in construction were reduced by 41%. **Originality.** The efficiency of the iterative search procedure of local amplifications combinations in design of the side frame that let significantly increase its strength without a significant increase in weight is presented by scientists. **Practical value.** Obtained results give the possibility to increase significantly the strength of the side frame in the three-piece truck without any noticeable change in its geometrical and mass characteristics.

Keywords: side frame; three-piece truck; strength; modernization; strengthening

REFERENCES

1. Boronenko Yu.P., Orlova A.M. Obobshcheniye nakoplennoy opyta proyektirovaniya telezhek gruzovykh vagonov dlya sozdaniya ikh tiporazmernogo ryada [Best practice in bogies design of freight cars to create their standard series]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2004, issue 5, pp. 25-29.
2. Bubnov V.M., Mankevich N.B., Myamlin S.V. Sovershenstvovaniye konstruksii bokovoy ramy dvukhosnoy tezhki gruzovykh vagonov [Improving the design of the solebar of the four-wheel truck in the freight car]. *Vagonnyy park – Car Park*, 2011, no. 2, pp. 36-39.
3. Davydov A.N., Smolyaninov A.V. Vliyaniye prodolnykh gorizontalnykh zazorov v bokovykh oporakh nepreryvnogo kontakta na velichinu kriticheskoy skorosti gruzovogo vagona [Impact of longitudinal horizontal gaps in side bearers of continuous contact on the critical speed of freight cars]. *Vestnik Uralskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Proc. of Ural State University of Railway Transport], 2013, no. 1 (17), pp. 43-49.
4. Blokhin Ye.P., Alpysbayev K.T., Granovskiy R.B. Dinamicheskiye kachestva gruzovykh vagonov, imeyushchikh tezhki s diagonalnymi svyazyami [The dynamic properties of freight cars, having bogies with diagonal braces]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia* [Proc. of East Ukrainian Volodymyr Dahl National University], 2012, issue 5, part 1, pp. 12-16.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

5. Miamlin S.V., Matsiuk S. Prohnozuvannya rozvytku konstrukttsii dvovisnoho vizka vantazhnoho vahona [The prediction of the two-axles development of freight car truck]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 27, pp. 24-29.
6. *Normy dlya rascheta i proyektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh)* [The rules for the calculation and design of railway cars MRW, track 1520 mm (unpowered)]. Moscow, GosNIIV–VNIIZhT Publ., 1996. 352 p.
7. Golubenko A.L., Gubacheva L.A., Andreyev A.A., Mokrousov S.D. Osobennosti ramy telezhki gruzovogo vagona i ustalostnaya wynoslivost [Features of a bogie frame in the freight car and fatigue endurance]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia* [Proc. of East Ukrainian Volodymyr Dahl National University], 2013, issue 9 (1), pp. 7-16.
8. *OST 32.183-2001 Telezhki dvukhosnyye gruzovykh vagonov kolei 1520 mm. Detali lityye. Rama bokovaya i balka nadressornaya. Tekhnicheskiye usloviya* [BS 32.183-2001. Four-wheel truck in the freight car, track of 1520 mm. Molded pieces. Solebar and the truck bolster. Technical conditions]. Moscow, MRW, Russia Publ., 2001. 22 p.
9. Bosov A.A., Myamlin S.V., Panasenko V.Ya., Klimenko I.V. Puti sovershenstvovaniya konstrukttsii telezhki gruzovogo vagona [The ways of the freight train trucks design improvement]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 29, pp. 27-32.
10. Kharybin I.A., Orlova A.M., Dodonov A.V. Sovershenstvovat khodovuyu chast gruzovykh vagonov [To improve the running gear of freight cars]. *Vagony i vagonnoye khozyaystvo – Car and Cars Facilities*, 2009, no. 2 (18), pp. 26-29.
11. Bendsøe M.P., Sigmund O. Topology optimization. Theory, methods and applications. Berlin, Springer, 2004. 370 p. doi: 10.1007/978-3-662-05086-6.
12. Bubnov V., Myamlin S., Mankevych N. Theoretical And Experimental Investigations Of Strength Properties Of Cast Parts For Freight Cars Bogie With Axle Load Of 245 kN. Thesis of the 8th Intern. Conference «TRANSBALTICA 2013 (09.05-10.05.2013)». Vilnius, 2013, pp. 9-13. doi: 10.3846/transbaltica2013.003 .
13. Claus H., Schiehlen W. Modeling and simulation of railway bogie structural vibrations. *Vehicle System Dynamics*, 1998, vol. 29, supp. 1, pp. 538-552. doi: 10.1080/00423119808969585.
14. Dietz S., Netter H., Sachau D. Fatigue life prediction of railway bogie under dynamic loads through simulation. *Vehicle System Dynamics*, 1998, vol. 29, issue 6, pp. 385-402. doi: 10.1080/00423119808969381.
15. Park B., Kim N., Kim Ju., Lee K. Optimum design of tilting bogie frame in consideration of fatigue strength and weight. *Vehicle System Dynamics*, 2006, vol. 44, issue 12, pp. 887-901. doi: 10.1080/00423110600737106.
16. Park B.U., Lee K.Y. Bogie frame design in consideration of fatigue strength and weight reduction. Proc. of the Institution of Mechanical Engineers. Part F. Journal of Rail and Rapid Transit, 2006, vol. 220, issue 3, pp. 201-206. doi: 10.1243/09544097f01405.

Статья рекомендована к публикации д.т.н, проф. И. Э. Мартыновым (Украина); д.т.н, проф. С. В. Мямлиным (Украина)

Поступила в редколлегию 11.06.2015

Принята к печати 17.08.2015

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

UDC [624.131.382:624.15]:004.94

M. S. IVANOVA^{1*}, S. V. KONOVAL^{2*}, S. F. ABED^{3*}

^{1*}Dep. «Building Constructions», Donbass State Technical University, Lenin St., 16, Alchevsk, Ukraine, 94204, tel. +38 (095) 387 75 13, e-mail marij5@mail.ru, ORCID 0000-0003-0622-3208

^{2*}Dep. «Industrial and Civil Engineering», Cherkasy State Technological University, T. G. Shevchenko Blvd., 460, Cherkasy, Ukraine, 18006, tel. +38 (097) 384 08 34, e-mail seryoga.conoval@yandex.ua, ORCID 0000-0001-5184-8683

^{3*}Dep. «Bases and Foundations», Kyiv National University of Construction and Architecture, Povitroflotskyi Ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03680, tel. +38 (063) 348 30 78, e-mail samar_fg2013@yahoo.com, ORCID 0000-0003-2297-9427

IMPROVEMENT THE CALCULATION OF THE STABILITY OF BUILDING LOCATED NEAR THE SLOPES FOR STRUCTURAL UNSTABLE SOILS

Purpose. This article is devoted to research of soil in complex engineering and geological conditions, as well as ways to improve the stability of the stacked bases structurally unstable soils. The relevance of this work lies in the solution of grounds stability problem interacting with foundations established on structurally unstable soils. In accordance with the researches results compiled recommendations aimed to the improvement of the base stability folded by structurally unstable soils is supposed. **Methodology.** The aim of the work is to improve the reliability of the strength characteristics obtained by the method of mathematical modeling of the expected processes. The objective was the enhancements the existing testing methods and technologies in order to determine the relative value of safety factor and reliability assessment of the bearing capacity of the base folded structurally unstable soils.

Findings. This system was designed to ensure the automated measurement of deformation parameters on the on-line with followed mathematical processing and presentation of data in an accessible form. Thus, the obtained results allow drawing the conclusions about the patterns of structure strain state, as well as predicting its future behavior. It all depended on well-formed mathematical algorithm, which is adjusted by tests conducted in natural conditions in selected regions of the Donbass region. **Originality.** One of the most effective ways to start and register a timely activation of deformation processes in plant cells from the damaging effects is the use of automated systems with high reliability which receive signals from the deformable objects. The main tool used to solve the problem, was the method of mathematical modeling in ACS reproducing receptive model processes in the soil with a program «HRUNT» and «MONOMAKH». And modeling the three-dimensional base of the building on the joint work of the soil mass and building by the finite element method (FEM-calculation) in the PC-LIRA system. **Practical value.** The problem of increasing the sustainability of slope, the prognosis of deformations and their strengthening, remains urgent. This is due to the increasing shortage of available land area and the location of facilities in cramped conditions, near the slopes composed of the non-uniform grounds.

Keywords: soil; subsidence; part; investigation; methods of testing; cramped conditions

Introduction

The problem of increasing sustainability of escarpment him prognosis, deformations and their strengthening, remains urgent. This is due to the increasing shortage of available land area and the

location of facilities in cramped conditions, near of escarpment stacked up from heterogeneous soils. It is important to know, too, whether the possibility of reduced resistance of materials and structures under from any from factors. For example, a very

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

important factors can be as flammability, and accordingly flame resistance, and stability of constructs interacting the base ground surface, which loses structural strength at 500 ° C. Particularly acute, this problem with respect to the stability of slopes, their phenomena occurring on the territory of Ukraine. Contribute to this, first, strongly dissected relief, secondly, complex engineering-geological conditions that endanger the lives of people [4-9, 11-16].

These circumstances make it necessary to improve the methods of calculation on the stability of soil masses, particularly by escarpment.

Purpose

The purpose, all the work is to improve the reliability of the strength characteristics obtained by the method of mathematical modeling of the expected processes.

The objective was to enhancements the existing testing methods and technologies in order to determine the relative value of safety factor and reliability assessment of the bearing capacity of the base folded structurally unstable soils.

Methodology

Object is achieved empirically by study sites Donbass region and in the laboratory using real groundwater characteristics. Unlike the previously known methods for calculating estimates for the stability of the array is the mathematical modeling of real basis to the settings through a comprehensive program for calculating algorithm specified.

Basic option would be the use of results from prior continuous testing, maintaining the current load in the study in the field [4, 9].

New variant provides modeling, which should be carried out through an integrated computer-based program (EBM), using actual ground conditions. It is contemplated the load transmitted from the simulation modeled structures located near the slope by scaling in real-time by mathematical apparatus containing the complex calculation programs that allow to forecast occurring processes.

To determine necessary to carry out the relevant calculations that will compare traditional evaluation methods for calculating the stability array folded structurally unstable soil under them with the proposed load.

The task is complicated by the investigations in parts establish limit relative values safety factor and reliability assessment of the bearing capacity of the base folded structurally unstable soils for buildings located in cramped conditions.

In Parts creating recommendations, for incorporating parameters affecting the calculation to determine the resilience of buildings increased fire combustion mode, depending on the cramped conditions.

Unlike the previously known methods for calculating estimates for the stability of the array folded structurally unstable soils under the action of the load transmitted from facilities located near the slope in cramped conditions, is the mathematical modeling of real base unit with the specified parameters and process control test using a computer, using complex programs (EBM).

In improving the method of calculation and increase the accuracy of the recommendations of parameters affecting the bearing capacity of the foundation, in particular, to recommend the most secure location facilities from the edge of slope.

In the account of the parameters affecting the calculation to determine the resilience of buildings increased combustion fire regime. From the analysis of works of reference materials on the grounds and foundations are values in the stability factor K_y for strengthening slopes by conventional anti-landslide measures, but these measures are not always acceptable.

There is a statement that to improve the accuracy of the calculations and the use of more efficient anti-landslide measures in order to limit degradability structures required value of the stability coefficient should decline only very small values of K_y in excess of unity. That is enough to wonder at the K_y values from 1.05 to 1.1. This assumption is controversial and requires clarification by obtaining the most reliable data.

Known variational calculation methods, the proposed A.D. Girgidovym, M.N. Goldstein, A.G. Dorfman, W.H. Magdeeva etc. The complexity of the known methods is enclosed in a large volume of calculations, the possibility of a human error, and complexity of calculations in such methods is not justified by any refinement results [1-3, 9-16].

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

The main disadvantages of the currently existing numerical methods are: the absence of a rigorous analysis of the soil mass the VAT; slope stability calculation is carried out using only the vertical component of stress and excluding such important characteristics of soils, as the coefficient of lateral thrust and elastic modulus.

These shortcomings in many cases do not allow sufficiently accurately and reliably determine their stability. This requires further study and improvement of methods of calculation for the stability of slopes composed of heterogeneous, with which one could establish the impact of all factors on the overall stability. Therefore, the issues of the problem solved, to improve the sustainability of action bases foundations sensing load of the entire structure, are the first and quite relevant. The urgency of this problem increases also due to the ever-increasing shortage of available land area continues to be significant, especially when assessing the bearing capacity of foundation for structures located in cramped conditions, taking into account the influence of the degree of their increased resistance to fire the combustion mode of information directly in the literature.

Essence of the method lies in the implementation of the calculation of the total stability of the slope along the most probable or known surface displacement by summing the values of private K_y , received well-known formula, (1):

$$K_y \sum_{i=1}^{i=n} \tau_i / \sum_{i=1}^{i=n} \tau_i, \quad (1)$$

where: K_y – the stability factor; n – number of attracted in the calculation private values; τ_i – private values of shear stresses

If the relative value of the stability factor $K_y < 1.10$ – this means an unstable state of the wedge. The reason is explained by the fact that the wedge differ between a shape and dimensions that make up the segment, the clipped area and rolling in the overall wedge (Fig. 1, 2). The experiment was carried out to verify the conditions for the most safe distance for the location of the building near the slope, by mathematical modeling using integrated programs and the introduction of real soil conditions.

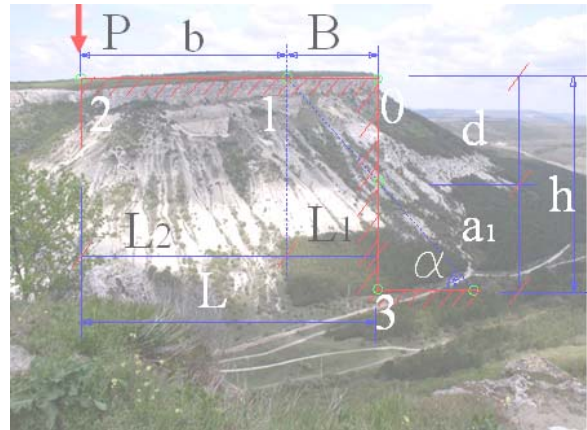


Fig. 1. General view of a portion of the slope planned for construction

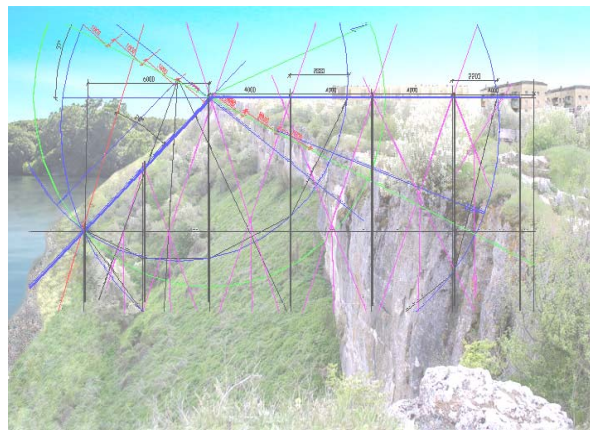


Fig. 2. Calculation scheme for the definition of stability base and a safe distance required for location of the building near the slope.

Required recalculation and empirically confirm that the planned location of facilities performed within a convenient distance. Preliminary calculations were obtained, as well field points and interpolated data points stability factor K_y , which allowed us to estimate these values and to reflect them in the form of contouring at $K_y = \text{const}$, which allowed for further experiments: Objectively select the position of the surface likely Slope failure corresponding to the cut-off line stability, with chalky soil masses Donbass region (Fig. 2, 4) and on the slope near the undermined areas (Fig. 2).

Assess the overall slope stability along the surface displacement in the form factor of safety or stability $K_y = K_3$ and found in rock mass slope zone of potential instability, where: $K_y < 1$;

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

-To quantify the degree of influence of various geotechnical factors (Surcharging, anti-destroying activities, decreased strength of rocks, hydrostatic and hydrodynamic pressure) on the overall stability; -construct a graph particular values along the selected stability factor or known surface displacement (Fig. 3).

Further studies showed that a more reliable determination of the required values of the coefficient of stability base folded structurally unstable soils K_{TP} strength (the first limit state) should be determined by the expression:

$$K_{TP} = \frac{K_n \cdot n_c \cdot n_0}{m_0}, \quad (2)$$

K_n – safety factor for purpose facilities; n_c - factor load combinations; $n_c = 1$; n_0 – load factor; $n_0 = 1,1, n_0 = 1,2$; then coefficient of working conditions; $m_0 = 0,9$ – for salty clay soils in a stabilized condition, $m_0 = 0,85$ – in unsterilized condition [10-16].

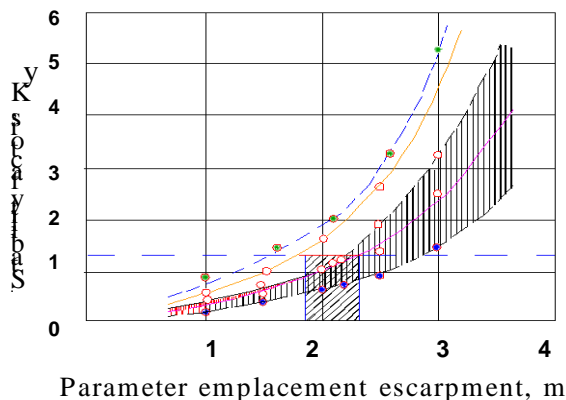


Fig. 3. Nomograms to determine the stability factor in dependence on the strength characteristics.

Important value has factors that affect the overall stability of structures interconnected with the base is not enough and not always taken into account in the design of foundations – the quantities fire resistance, flammability which require further study, particularly in the wall conditions.

Us in the study of factors such as the impact on the fire set the earth's surface and the material of construction of the structure [9]. Setting its value showed that the base loses structural strength at

500 ° C. It is therefore not necessary to plant at the location in cramped conditions and near slopes, increasing the distance between the buildings is not less than 30% see Table 1.

Table 1

Values of temperature capable materials resist fire.

material	$\rho_o, \text{ kg/m}^3$	$T_{bm}, ^\circ\text{C}$	$T_{em}, ^\circ\text{C}$
sand	1.76	100	500
clay	1.78	100	510
sandstone	2.20	150	400
metal steel	2.70	150	400
concrete	2.20		
reinforced concrete	2.40		

To elucidate the effect of the strength characteristics of the material from which the construction is made on the general stability at ignition and to determine the fracture resistance value of the interval of time were examined various materials constituting an idea of interacting with the base construction [4, 8-9].

Research was marked difference in the readings, temperature softer emosti times. For example, some materials when heated to certain temperatures (below the melting point) are transformed into a plastic state is softened (e.g., by heating the glass to 750-900°C; asphalt than 50°C).

Some materials softened after cooling accept previous structural condition. Further study of factors affecting the overall stability of the structures necessary to take account of mathematical modeling showed that some of the material ductility increases with heat and decreases with decreasing temperature (steel, bitumen, some plastics). Relaxation occurs, ie, other owls voltage drop in the material at a constant initial strain. Relaxation is detected in the material due to the gradual transition to a plastic deformation of an elastic, particularly enhanced at elevated temperatures. Therefore, the material structures must have a higher resistance at high temperatures than the test samples

In mathematical modeling and drafting calculation algorithm were introduced by the studied parameters: Mo 1 700-2 000 °C,

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

2 200-2 500 °C tungsten, niobium, 1 900-2 300 °C, and others [1, 3].

Dependence an algorithm provided by the saturated vapor pressure and temperature to calculate the ignition point t_v , °C, substances composed of atoms of C , H , O and N , and to record, based on the known formula (3):

$$t_v = \frac{453}{P_v \cdot D_0 \cdot \beta}, \quad (3)$$

where P_v — partial vapor pressure of flammable liquid at a temperature flash kPa; D_0 – the vapor diffusion coefficient in air, cm²/s; β – the stoichiometric coefficient of oxygen in the combustion reaction

For the calculation of the ignition temperature of the substances in the molecules which contain structural group recommended Table 1, wherein the algorithm is calculated according to the formula, (4), °C:

$$t_v = -47,79 + 0,882 \cdot t_k + \sum_{j=2}^q a_j l_j, \quad (4)$$

Where t_k – the boiling temperature of the liquid at 101 kPa, °C; l_j – the number of structural groups of j -th species in the molecule; a_j – empirical coefficients, which values are shown in Table 1.

All these factors were taken into account and the algorithm used to determine the deformability of the mass soil and Forecasting processes.

Findings

One of the main factors affecting the quality assessment base for the design of foundations, is the lack of reliable features are included in the calculation formulas. Ambiguous conclusions obtained by engineering surveys are fraught with consequences. This particularly applies to the buildings on the grounds designed stacked structurally unstable soils, where the slightest deviations result in significant costs to strengthen the foundations and crumbling foundation interacting with the construction. Or leads to the suspension of construction works or their complete cessation.

The object of the study are presented with the aim of designing buildings on their sites undermined mine yard Torez, Donetsk region and near slopes (Figure 4 *a,b*) composed of chalky soil masses Donbass region (Figure1).

– a



– b



Fig. 4. General view of a building under construction and a portion of the modeled area near the slope

In the period 2012-2014 we have studied and investigated soil conditions plots for the design of structures, in order to improve methods of calculation using the potential of mathematical modeling in the laboratory and comprehensive calculation programs, by definition, the stability of the soil mass and prediction of deformation properties [3, 9].

One of the most effective ways to start and register a timely activation of deformation processes in plant cells from the damaging effects is the use of automated systems with high reliability which receive signals from the deformable objects. Came to help computer technology, enabled the massive processing, with the probability of making a possible exception error from the influence of the human factor in the removal of the information and further processing

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

of payment indicators included in the calculation formulas [2].

And, also, allowed to confirm the accuracy of the results processed by tables, graphs, monograms, when compared with the full-scale tests, the results of which were published previously in other studies [1, 3].

This system was designed to ensure the automated measurement of deformation parameters on the on-line, followed by mathematical processing and presentation of data in an accessible form. So that the results obtained allow to draw conclusions about the patterns of strain state of the structure, as well as predicting its future behavior, and it all depended on well-formed mathematical algorithm, which is adjusted by tests conducted in natural conditions in selected regions of the Donbass region.

Originality and practical value

The main tool used to solve our problem, was the method of mathematical modeling in ACU reproducing receptive model processes in the soil with a program «PRIMER» MONOMAH and modeling three-dimensional base of the building on the joint work of the soil mass and building the finite element method (FEM-calculation) in the PC-LIRA.

The solution to this problem and the reliability of these decisions is a direct function of how accurately and fully adopted calculation scheme corresponds to the real conditions of collaboration considered structures and subgrade.

Studies have shown that not every design scheme adopted model can fully describe the processes occurring in the soil and the array so far not been adequately studied. Calculation scheme model should reflect the main features of the process of interaction with the engineering structure subgrade – this requirement allows for a simplified mathematical model of a good enough reason to get the convergence of predicted values with the experimental data.

From our point of view the study object is the subject of today's discussion and an example to find the most practical activities that do not allow the destruction of structures during construction and further operation of the building. As reported above, research has focused on the search patterns of change in the properties of construction site of

a ground layer, which is in a dangerous state of emergency. And also do not need to confirm the emergence of strains of assumptions drawdown respectively banks and as a result, disorders compounds, followed by confirmation of the reliability of the results applied in determining the adequacy of the bearing capacity of the underlying layer under the foundation.

To date, many publications in which they treat them with two points of view. Geologists who study these processes, based on the method of field observations and methods for using the experience accumulated over the centuries.

The direct use of techniques without specific conditions in many cases leads to serious errors: the reason for this – a variety of natural conditions and soil types, conditions of their occurrence, and hydrogeological conditions. The most promising solution to this problem is to study the stress-strain state of the soil mass the VAT using the finite element method. Therefore, improving the methods of research and calculation slope stability analysis based on VAT is relevant task in mechanics soils and rocks [14-16].

However, many questions have not been studied, and in the formulation and solution of problems of escarpment stability has a number of drawbacks.

The main disadvantages of the currently existing numerical methods are: the absence of a rigorous analysis of the soil mass the VAT. Calculation of slope stability is carried out using only the vertical component of stress and excluding such important characteristics of soils, as the coefficient of lateral thrust and elastic modulus. These shortcomings in many cases do not allow sufficiently accurately and reliably determine their stability.

Conclusions

In conclusion we can say this improved method will:

1. Estimate the magnitude of creep strain for a period equal to the beginning of changes in the structural strength of the subgrade and the beginning of recovery to improve the strength properties of soils measures applied in those cases where $K_n < 1$, a $K_{oy} \geq 1$.
2. Know the amount of space stability factor, we can predict compiled by nomograms (Fig. 2, 3)

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

for the load and, what distance from the edge the slope must have structure, so as not collapsed, or make provision precluding change the structural strength of the subgrade with to restore and improve the strength properties of soils.

3. To detect probable zone of plastic deformation and fracture ($K=1$) helps to organize and purposefully mining and drilling operations, selection and testing of samples, and apply measures aimed at improving the sustainability of the base, folded structurally unstable soils (eg soils with folded subsidence properties Cretaceous origin or undermined arrays).

4. To take into account factors that affects the strength properties of the material of construction of the structure.

5. Get interval fire resistance values over time, according to the classification of the material, to take into account when designing their appointment and use the material for construction, which will reduce accidents.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Иванова, М. С. Определение коэффициента устойчивости основания сложенного структурно-неустойчивыми грунтами / М. С. Иванова // Вестн. МАНЭБ. – 2011. – Т. 16, № 4. – С. 22–25.
2. Иванова, М. С. Определение характеристик грунтов при строительстве на территориях с просадочными грунтами / М. С. Иванова, А. П. Иванов // Зб. наук. пр. Серія : галузеве машинобуд., буд-во / Полтав. нац. тех. ун-т. – Полтава, 2012. – Вип. 4 (34), т. 2. – С. 91–97.
3. Иванова, М. С. О факторах, влияющих на расположение сооружений в стесненных условиях, вблизи откоса на структурно неустойчивых грунтах / М. С. Иванова // Будівельні конструкції : міжвід. наук.-техн. зб. / Наук.-дослід. ін-т буд. конструкцій. – Київ, 2011. – Вип. 75. – С. 412–422.
4. Пат. 87778 Україна, ПМК G 01 N 9/08. Пристрій для визначення щільності ґрунту зважуванням у воді / Иванова М. С. ; заявник і патентовласник ДонДТУ. – У 2013 06140 ; заявл. 17.05.2013 ; опубл. 25.02.14, Бюл. № 4. – 4 с.
5. Петренко, В. Д. Моделирование насыпи земляного полотна на слабом основании / В. Д. Петренко, И. О. Святоко // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2015. – № 4 (58). – С. 198–204. doi: 10.15802-STP2015/49286.
6. Bowmen, E. T. General Report of TC 208. Slope Stability in Engineering Practice / E. T. Bowmen, R. J. Fannin // Challenges and Innovation in Geotechnics : Proc. of the 18th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Paris, France : Press and Pons, 2013. – P. 2137–2144.
7. Budhu, M. Soil Mechanics and Foundations. 7 ed. / M. Budhu. – New-York : John Wiley & Sons, 2015. – XXVIII. – 342 p.
8. Demchyshyn, M. Instability of different genetic slope types / M. Demchyshyn, T. Kril // 7th European Congress on Regional GEOscientific Cartography and Information System (12.06–15.06.2012). – Bologna, Italy, 2012. – Vol. 1. – P. 78–79.
9. Ivanova, M. S. Method for determining soil density in laboratory conditions / M. S. Ivanova, Y. A. Otrosh, N. V. Kamakina // Пожежна безпека: теорія і практика : зб. наук. пр. / Акад. пожежної безпеки. – Черкаси, 2013. – № 14. – С. 33–38.
10. Kikuchi, Y. Mechanism of inner friction of an open-ended pile / Y. Kikuchi // Press-in Engineering 2011 : Proc. of Third IPA International Workshop in Shanghai / Intern. Press-in Association. – Japan, Tokyo, 2011. – P. 65–83.
11. Kisse, A. A Consistent Failure Model for Probabilistic Analysis of Shallow Foundations / A. Kisse // Proc. of the 3rd Intern. Symposium on Geotechnical Safety and Risk (ISGSR20U). – Germany, Munich, 2011. – P. 385–392.
12. Mayne, P. W. Direct CPT method for footing response in sands using a database approach / P. W. Mayne, F. Illingworth // 2nd Int. Symp. on Cone Penetration Testing (09.05-11.05.2010). – Huntington Beach, California, 2010. – Vol. 3. – P. 315–322.
13. Shahin, M. A. Probabilistic Analysis of Bearing Capacity of Strip Footings / M. A. Shahin & E.M. Cheung // Proc. of the 3rd Intern. Symposium on Geotechnical Safety and Risk (ISGSR2011). – Germany, Munich, 2011. – P. 225–230.
14. Wesley, L. D. Fundamentals of Soil Mechanics for Sedimentary and Residual Soils / L. D. Wesley. – Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons Inc., 2009. – 389 p. doi: 10.1002/9780470549056.
15. Zotsenko, M. Evaluation of failure probability of soil cushions / M. Zotsenko, Y. Vynnykov, M. Kharchenko // Proc. of the 3rd Intern. Symposium on Geotechnical Safety and Risk (ISGSR2011). – Germany, Munich, 2011. – P. 249–257.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

16. Zotsenko, M. Modern practice of determination of strength characteristics of cohesive soils by penetration methods / M. Zotsenko, Y. Vynnykov, A. Yakovlev // Proc. of the XIV Danube – Euro-

pean Conf. on Geotechnical Engineering / Slovak University of Technology. – Bratislava, 2010. – P. 245–253.

М. С. ІВАНОВА^{1*}, С. В. КОНОВАЛ^{2*}, С. Ф. АБЕД^{3*}

^{1*}Каф. «Будівельні конструкції», Донбаський державний технологічний університет, вул. Леніна, 16, Алчевськ, Україна, 94204, тел. +38 (095) 387 75 13, ел. пошта marij5@mail.ru, ORCID 0000-0003-0622-3208

^{2*}Каф. «Промислове та цивільне будівництво», Черкаський державний технологічний університет, б-р Т. Г. Шевченка, 460, Черкаси, Україна, 18006, тел. +38 (097) 384 08 34, ел. пошта seryoga.conoval@yandex.ua, ORCID 0000-0001-5184-8683

^{3*}Каф. «Основи та фундаменти», Київський національний університет будівництва та архітектури, просп. Повітрофлотський, 31, Київ, Україна, 03680, тел. +38 (063) 348 30 78, ел. пошта samar_fg2013@yahoo.com, ORCID 0000-0003-2297-9427

УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКУ СТІЙКОСТІ БУДІВЛІ, РОЗТАШОВАНОЇ ПОБЛИЗУ УКОСІВ НА СТРУКТУРНО-НЕСТІЙКИХ ГРУНТАХ

Мета. Ця стаття присвячена дослідженню ґрунтів у складних інженерно-геологічних умовах, а також пошуку шляхів підвищення стійкості основ, складених із структурно-нестійких ґрунтів. Актуальність даної роботи полягає у вирішенні проблем стійкості основ, взаємодіючих із фундаментами, встановленими на структурно-нестійких ґрунтах. За результатами досліджень необхідно викласти рекомендації, що спрямовані на підвищення стійкості основ, складених структурно-нестійкими ґрунтами. **Методика.** Суть всієї роботи полягає у підвищенні достовірності міцнісних характеристик, що одержуються методом математичного моделювання передбачуваних процесів. Задача досліджень полягала в удосконаленні існуючих методів та технологій випробувань для визначення відносної величини коефіцієнта запасу надійності та оцінки несучої здатності основ, складених структурно-нестійкими ґрунтами. **Результати.** Ця система спрямована на забезпечення автоматизованого вимірювання деформаційних параметрів у режимі on-line із подальшою математичною обробкою та представленням даних у доступному вигляді. Так, отримані результати дозволили зробити висновок про закономірності деформаційного стану споруди, а також спрогнозувати його подальшу поведінку. Все це залежить від правильно складеного математичного алгоритму, який коректувався випробуваннями, проведеними в натурних умовах на обраних ділянках Донбаського регіону. **Наукова новизна.** Одним із найефективніших способів, що дозволяє своєчасно зареєструвати початок й активізацію деформаційних процесів у елементах споруд від руйнівного впливу, є використання автоматизованих систем, які з високою вірогідністю сприймають сигнали від об'єктів, що деформуються. Основним інструментом, використаним для вирішення нашої задачі, був метод математичного моделювання в системі АСУ, що відтворює та сприймає моделі процесів у ґрунті за допомогою програм «ГРУНТ» та «МОНОМАХ». Використано також моделювання тривимірної основи будівлі з урахуванням спільної роботи ґрунтового масиву та будівлі методом кінцевих елементів (МКЕ-розрахунок) у системі ПК-ЛІРА. **Практична значимість.** Проблема підвищення стійкості укосів, прогноз деформацій та їх зміцнення продовжує залишатися актуальною. Це пов'язано зі збільшенням дефіциту вільних земельних площ та розташуванням споруд в обмежених умовах, поблизу укосів, складених неоднорідними ґрунтами.

Ключові слова: ґрунти; прasadочність; підробіток; дослідження; методи випробування; обмежені умови

М. С. ІВАНОВА^{1*}, С. В. КОНОВАЛ^{2*}, С. Ф. АБЕД^{3*}

^{1*}Каф. «Строительные конструкции», Донбасский государственный технологический университет, ул. Ленина, 16, Алчевск, Украина, 94204, тел. +38 (095) 387 75 13, эл. почта marij5@mail.ru, ORCID 0000-0003-0622-3208

^{2*}Каф. «Промышленное и гражданское строительство», Черкасский государственный технологический университет, б-р Т. Г. Шевченко, 460, Черкасы, Украина, 18006, тел. +38 (097) 384 08 34, эл. почта seryoga.conoval@yandex.ua, ORCID 0000-0001-5184-8683

^{3*}Каф. «Основания и фундаменты», Киевский национальный университет строительства и архитектуры, просп. Воздухофлотский, 31, Киев, Украина, 03680, тел. +38 (063) 348 30 78, эл. почта samar_fg2013@yahoo.com, ORCID 0000-0003-2297-9427

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ЗДАНИЯ, РАСПОЛОЖЕННОГО ВБЛИЗИ ОТКОСА НА СТРУКТУРНО-НЕУСТОЙЧИВЫХ ГРУНТАХ

Цель. Эта статья посвящена исследованию грунтов в сложных инженерно-геологических условиях, а также поиску путей повышения устойчивости оснований, сложенных из структурно-неустойчивых грунтов. Актуальность данной работы заключена в решении проблемы устойчивости оснований, взаимодействующих с фундаментами, установленными на структурно-неустойчивых грунтах. По результатам исследований предполагается составление рекомендаций, направленных на повышение устойчивости основания, сложенного структурно-неустойчивыми грунтами. **Методика.** Суть всей работы состоит в повышении достоверности прочностных характеристик, получаемых методом математического моделирования предполагаемых процессов. Задача исследований состояла в усовершенствовании существующих методов и технологий испытаний для определения относительной величины коэффициента запаса надежности и оценки несущей способности основания, сложенного структурно-неустойчивыми грунтами. **Результаты.** Эта система была направлена на обеспечение автоматизированного измерения деформационных параметров в режиме on-line с последующей математической обработкой и представлением данных в доступном виде. Так, полученные результаты позволили сделать заключение о закономерностях деформационного состояния сооружения, а также спрогнозировать его дальнейшее поведение. Все это зависело от правильно составленного математического алгоритма, который корректировался испытаниями, проведенными в натуральных условиях на выбранных участках Донбасского региона. **Научная новизна.** Одним из самых эффективных способов, позволяющих своевременно зарегистрировать начало и активизацию деформационных процессов в элементах сооружений от разрушающего воздействия, является использование автоматизированных систем, которые с высокой достоверностью воспринимают сигналы от деформирующихся объектов. Основным инструментом, используемым для решения нашей задачи, был метод математического моделирования в системе АСУ, воспроизводящего и воспринимающего модель процессов в грунте с помощью программ «ГРУНТ» и «МОНОМАХ». Использовано также моделирование трёхмерного основания здания с учётом совместной работы грунтового массива и здания методом конечных элементов (МКЭ-расчёт) в системе ПК-ЛИРА. **Практическая значимость.** Проблема повышения устойчивости откосов, прогноз деформаций и их укрепление продолжает оставаться актуальной. Это связано с увеличивающимся дефицитом свободных земельных площадей и расположением сооружений в стесненных условиях, вблизи откосов, сложенных неоднородными грунтами.

Ключевые слова: грунты; просадочность; подработка; исследования; методы испытания; стесненные условия

REFERENCES

1. Ivanova M.S. Opredeleniye koeffitsienta ustoychivosti osnovaniya slozhennogo strukturno-neustoychivymi gruntami [Determination of the stability coefficient of the foundation composed by structurally unstable soils]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii nauk ekologii i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti* [Bulletin of the Intern. Academy of Environmental Sciences and Life Safety], 2011, vol. 16, no. 4, pp. 22-25.
2. Ivanova M.S., Ivanov A.P. Opredeleniye kharakteristik gruntov pri stroitel'stve na territoriyakh s prosadochnymi gruntami [The determination of soils characterization at construction in areas of collapsible soils]. *Zbirnyk naukovykh prats (haluzeve mashynobuduvannya, budynystvo)* [Proc. of Industrial Engineering, Construction], 2012, vol. 2, issue 4 (34), pp. 91-97.
3. Ivanova M.S. O faktorakh, vliyayushchikh na raspolozheniye sooruzheniy v stesnennykh usloviyakh, vblizi otkosa na strukturno neustoychivykh gruntakh [About the factors influencing on the location of facilities in confined spaces, near the slope on structurally unstable soils]. *Budivel'shni konstruksii: mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk* [Building structures : the interdepartmental scientific and technical collection], 2011, issue 75, book 2, pp. 412-422.
4. Ivanova M.S. Prystrii dlia vyznachennia shchilnosti gruntu vzhuvanniam u vodi [A device for determining the density of soil weighing in water]. Patent UA, no. u 2013 06140, 4 p.
5. Petrenko V.D., Svyatko I.O. Modelirovaniye nasypi zemlyanogo polotna na slabom osnovanii [Simulation of subgrade embankment on weak base]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho*

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

- universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2015, no. 4 (58), pp. 198-204. doi: 10.15802/STP2015/49286.
6. Bowmen E.T., Fannin R.J. General Report of TC 208. Slope Stability in Engineering Practice. Proc. of the 18th Inter. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: Challenges and Innovation in Geotechnics. Paris, France, Press and Ponto Publ., 2013, pp. 2137-2144.
 7. Budhu M. Soil Mechanics and Foundations. 7 ed. New-York, John Wiley & Sons Publ., 2015. XXVIII. 342 p.
 8. Demchyshyn M., Kril T. Instability of different genetic slope types. 7th European Congress on Regional GEO-scientific Cartography and Information System (12.06–15.06.2012). Bologna, Italy, 2012, issue 1, pp. 78-79.
 9. Ivanova M.S., Otrosh Y.A., Kamakina N.V. Method for determining soil density in laboratory conditions. *Pozhezhna bezpeka: teoriia i praktyka: zbirnyk naukovykh prats* [Fire safety: theory and practice: Proc.]. Cherkasy, APB im. Heroiv Chornobylia Publ., 2013, no. 14, pp. 33-38.
 10. Kikuchi Y. Mechanism of inner friction of an open-ended pile. Proc. of Third IPA Int. Workshop in Shanghai. Intern. Press-in Association. Press-in Engineering 2011. Japan, Tokyo, 2011, pp. 65-83.
 11. Kisse A. A Consistent Failure Model for Probabilistic Analysis of Shallow Foundations. Proc. of the 3rd Int. Symp. on Geotechnical Safety and Risk (ISGSR20U). Germany, Munich, 2011, pp. 385-392.
 12. Mayne P.W., Illingworth F. Direct CPT method for footing response in sands using a database approach. 2nd Int. Symp. on Cone Penetration Testing (09.05-11.05.2010). Huntington Beach, California, 2010, vol. 3, pp. 315-322.
 13. Shahin M.A., Cheung E.M. Probabilistic Analysis of Bearing Capacity of Strip Footings. Proc. of the 3rd Int. Symp. on Geotechnical Safety and Risk (ISGSR2011). Germany, Munich, 2011, pp. 225-230.
 14. Wesley L.D. Fundamentals of Soil Mechanics for Sedimentary and Residual Soils. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons Inc. Publ., 2009, pp. 354-389. doi: 10.1002/9780470549056.
 15. Zotsenko M., Vynnykov Y., Kharchenko M. Evaluation of failure probability of soil cushions. Proc. of the 3rd Int. Symp. on Geotechnical Safety and Risk (ISGSR2011). Germany, Munich, 2011, pp. 249-257.
 16. Zotsenko M., Vynnykov Y., Yakovlev A. Modern practice of determination of strength characteristics of cohesive soils by penetration methods. Proc. of the XIV Danube – European Conf. on Geotechnical Engineering. Bratislava, Slovak University of Technology Publ., 2010, pp. 245-253.

Prof. M. M. Biliaiev, D. Sc. (Tech.) (Ukraine); Prof. S. V. Holub, D. Sc. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Received: June 15, 2015

Accepted: Aug. 14, 2015

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 624.954.014.2-417.2

В. В. КАЧУРЕНКО^{1*}, Д. О. БАННИКОВ^{2*}

^{1*}Каф. «Будівельні конструкції», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (097) 532 54 46, ел. пошта valentina.kachurenko@gmail.com, ORCID 0000-0001-7383-205X

^{2*}Каф. «Будівельні конструкції», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (063) 400 43 07, ел. пошта bdo2013@yandex.ua, ORCID 0000-0002-9019-9679

КОНСТРУКЦІЯ РАЦІОНАЛЬНОГО СТАЛЕВОГО ГОФРОВАНОГО ПРОФІЛЮ

Мета. У роботі проводиться виклад результатів пошуку нових, більш економічних конструктивних рішень металевих силосів, а саме: аналіз існуючих типів поперечного перерізу профілів сталеві стінки такого силосу та розроблення менш матеріалоємного перерізу гофрованого профілю. **Методика.** Для досягнення поставленої мети досліджені існуючі типи профілів ємнісних конструкцій та їх напружено-деформований стан при дії навантаження. Аналіз виконувався за результатами обчислювальних експериментів. Об'єктом для дослідження були математичні комп'ютерні моделі. Розрахунки проведено з використанням методу скінчених елементів. Для обчислювального експерименту був використаний проектно-обчислювальний комплекс Structure CAD для Windows. **Результати.** У роботі були отримані дані, що дозволяють оцінити роботу профілів та знайти більш ефективний тип поперечного перерізу з точки зору його матеріалоємності. У процесі спільного дослідження авторами був розроблений новий тип профілю для ємнісних конструкцій, що має більш високу ефективність використання та вузол кріплення окремих сталевих листів із даним типом профілю. Обидва рішення прості в монтажі, надійні в експлуатації та можуть бути виготовлені в умовах сучасного промислового виробництва з використанням стандартного обладнання, матеріалів і комплектуючих. **Наукова новизна.** Авторами запропонований новий тип поперечного перерізу профілю гофра для сталевих стінок силосних споруд, який має підвищену несучу здатність і жорсткість та надає можливість зменшити товщину металу, не змінюючи при цьому несучу спроможність конструкції, чим знижує матеріаломісткість всієї конструкції. Для цього та подібних типів профілів сконструйований та запропонований варіант вузлового кріплення окремих гофрованих листів на болтах із подовжувачем фланцем, який дає можливість влаштування з'єднання при невеликих розмірах хвилі гофра, де недостатньо відстані для розміщення шапки болта між окремими гофрами. **Практична значимість.** Застосування запропонованих рішень дозволяє підвищити економічність, технологічність та ремонтпридатність конструкції стінок сталевих силосів. Отримані в дослідженнях результати свідчать про перспективність подальшого розвитку науково-дослідних робіт із пошуку нових, більш економічних рішень сталеві гофрованої стінки для силосних споруд, а також інших способів зменшення матеріалоємності конструкцій для зберігання сипучих матеріалів.

Ключові слова: силос; ємнісна споруда; стінка силосу; гофрований профіль; економічність; новий тип профілю; вузол кріплення

Вступ

У найбільш широкому і загальному визначенні ємності, призначені для зберігання і перевантаження різних сипучих матеріалів, називаються силосами і бункерами. Бункери та силоси мають давню історію застосування. Археологічні розкопки і древні тексти свідчать, що прототипи сучасних силосів використовувались в Древній Греції ще наприкінці 8-го століття до нашої ери [15]. Звісно вони кардинально відрізнялись від ємностей сьогодення, проте цей приклад свідчить, що ще в стародавності люди

переймалися такою проблемою, як зберігання сипучих матеріалів. Актуальне це питання і сьогодні.

Будівництво силосів і бункерів, яким вони є зараз, почалося у XIX столітті одночасно з розвитком гірничорудної промисловості. З часом найбільш широке застосування цей вид конструкцій знайшов у сільському господарстві, де з року в рік необхідно зберігати тисячі тонн зернових матеріалів [17]. Прогрес не стоїть на місці. За останні 20 років вигляд ємностей для зберігання набув найрізноманітніших

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

форм і може бути виконаний з найрізноманітніших матеріалів – від класичних силосів із залізобетону до рукавів з полімерних матеріалів [12]. Проте на сьогодні лідируючі позиції в українській агропромисловості займають саме сталеві циліндричні силоси.

Повноправними системами для зберігання зернових культур стали силоси саме зі сталевими гофрованими стінками [11, 13]. Для більшої стійкості від дії навантаження від сипучого матеріалу для таких стінок використовують спеціальні зносостійкі сталі [1]. Де-факто сучасним стандартом для корпусів універсальних металевих вентильованих силосів зазвичай є хвилясті панелі [16]. Така форма профілю витримує дуже великі навантаження, які виникають під час експлуатації силосів і передаються на вертикальні стійки (ребра жорсткості), без додаткового потовщення стінки і зайвої витрати металу. В Україні панелі з хвилястого профілю використовуються для будівництва металевих силосів порівняно недавно. Відсутність повноцінної нормативної бази та інформації, пов'язаної з особливостями виготовлення, проектування та експлуатації таких сховищ – основна причина ускладнень, пов'язаних з впровадженням металевих зерносховищ, адже досвіду роботи з ними у фахівців України практично не було.

Мета

Загальними критеріями щодо зберігання зерна є високотехнологічність, надійність і, звичайно, економічна вигідність як для виробника, так і для споживача. Метою цієї роботи є пошук нових, більш економічних конструктивних рішень металевих силосів, а саме сталевій гофрованої стінки такого силосу, оскільки вона порівняно з плоскою стінкою має більшу міцність на розрив і вигин. В цей час існує надзвичайно велике різноманіття поперечного перерізу профілю гофра [14] для стінки силосів, одним з яких є хвилястий профіль, що використовується для будівництва силосів порівняно недавно і запозичений нашими підприємствами із зарубіжного досвіду. Проте дослідження щодо економічності за рахунок зменшення матеріалоемності таких профілів активно не виконувались. Тому основну увагу авторів привернув аналіз існуючих профілів та пошук нового,

менш матеріалоемного перерізу гофрованого профілю, який би дозволив при зменшенні товщини витримувати ті ж навантаження, що і його аналоги і при цьому задовольняти вимоги міцності та жорсткості.

Методика

Дослідження виконувались за допомогою математичного моделювання [3]. Логічність і формалізованість комп'ютерних моделей дозволяють визначити основні фактори, що впливають на властивості досліджуваного об'єкта-оригіналу, зокрема дослідити відгук модельованої фізичної системи на зміни її параметрів і початкових умов. Розрахунки виконано з використанням методу скінченних елементів. Для обчислювального експерименту був використаний проектно-обчислювальний комплекс Structure CAD для Windows (SCAD) [4], реалізований як інтегрована система міцнісного аналізу та проектування конструкцій на основі методу скінченних елементів (МСЕ), який дозволяє визначити напружено-деформований стан конструкцій від статичних і динамічних впливів, а також виконати низку функцій проектування елементів конструкцій.

Комп'ютерне моделювання полягало в проведенні серії обчислювальних експериментів, метою яких був аналіз, інтерпретація і зіставлення результатів моделювання з реальною поведінкою досліджуваного об'єкта, подальше уточнення моделі. У процесі дослідження побудовано просторові геометричні моделі. Застосовувані експериментальні комп'ютерні моделі відповідають вимогам, що висувуються до створення моделі в МСЕ, а саме: за необхідною густотою сітки скінченних елементів (СЕ) [2], типом та розміром СЕ, способом розміщення СЕ та їх орієнтації по відношенню до потоків основних напружень.

Варто зауважити, що досліджувані об'єкти моделювались у вигляді циліндричного кільця з гофрованими стінками, на які передається навантаження від сипучого матеріалу – зерна. Більш детально вигляд розрахункових моделей та опис обчислювального експерименту наведено в попередніх роботах авторів [9, 10]. Всі розрахунки були виконані згідно з вимогами чинних нормативних документів [5, 6] та проведені для восьми різних типів профілів гофра,

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

переріз яких зображено на рис. 1. Для їх порівняльного аналізу профілі були з однаковою висотою гофра (44 мм), довжиною хвилі (138 мм) і товщиною листа (1 мм). Для кожного типу профілю був проаналізований напружено-деформований стан при дії навантаження. Величини навантаження визначалися відповідно до ДБН [5] за виразом (1):

$$P_h^n = \frac{\gamma\rho}{f} \left(1 - e^{-\lambda fz/\rho} \right), \quad (1)$$

де γ – питома вага зерна; ρ – гідравлічний радіус поперечного перерізу силосу, м, $\rho = A/U$, (A , U – площа і периметр поперечного перерізу силосу відповідно); f – коефіцієнт тертя зерна по металу.

Рівномірно розподілений по периметру горизонтальний тиск сипучих матеріалів (кгс/м²) на стіні силосів визначається на глибині Z (м) від верху насипу.

При цьому нехтувати тертям матеріалу по стінці неприпустимо, оскільки це призводить до значних помилок. Внаслідок тертя засипки об стінки вертикальні і горизонтальні тиски зростають непропорційно по висоті: по мірі збільшення глибини приріст тиску зменшується. При цьому передбачається, що відношення горизонтального тиску до вертикального – величина постійна.

Таким чином, горизонтальний тиск на стіну силосу залежить від зовнішнього кута тертя зерна об стіну, щільності продукту, діаметра і висоти силосу.

Експериментальні дослідження виконувалися для декількох комбінацій висоти та діаметра силосу.

Слід звернути увагу, що останній тип профілю (рис. 1, *е*) є авторським рішенням, варіант якого виник після аналізу роботи всіх попередніх поперечних перерізів профілів.

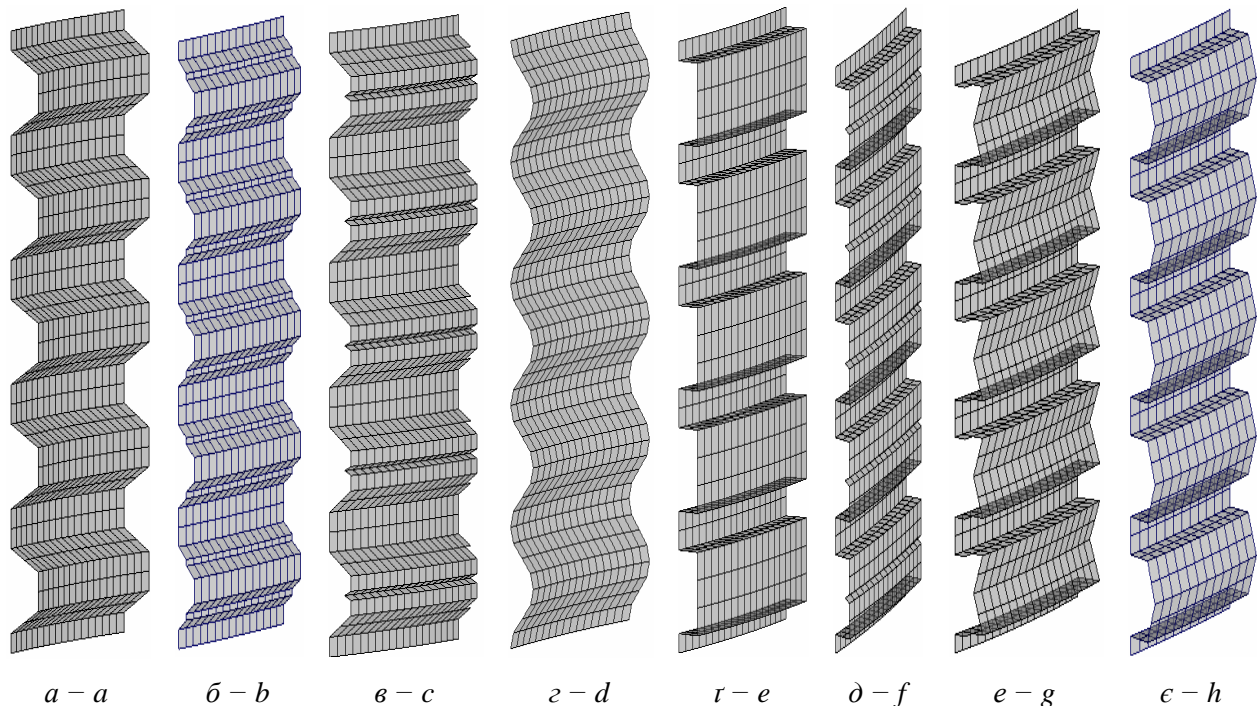


Рис. 1. Досліджувані типи гофрованих профілів:

a – коритний; *b* – коритний з підсиленням горизонтальних ребром; *c* – коритний з підсиленням вертикальним ребром; *d* – хвилястий; *e* – квадратний; *f* – квадратний з підсиленням вертикальним ребром; *g* – шедовий; *h* – новий

Fig. 1. Research types of corrugated profiles:

a – channel; *b* – channel with an enhanced horizontal edge; *c* – channel with an enhanced vertical edge; *d* – corrugated; *e* – quadrate; *f* – quadrate with an enhanced vertical edge; *g* – shed; *h* – new

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Результати

Для кожного з вищенаведених типів профілів були обчислені основні геометричні характеристики, що відіграють найбільшу роль при роботі ємнісних конструкцій під навантаженням – площа поперечного перерізу A і момент опору в горизонтальному напрямку W . Розглядалася одна хвиля гофра.

Також був додатково обчислений параметр $\rho = W/A$, що характеризує ефективність використання профілю. Отримані результати наведено в табл. 1 в порядку збільшення коефіцієнта ефективності.

Таблиця 1

Геометричні характеристики гофрованих профілів

Table 1

Geometrical characteristics of corrugated profiles

№ п/п	Тип профілю	Площа перерізу, A , см ²	Момент опору, W , см ³	Коефіцієнт ефективності, ρ
1		1,666	1,502	0,902
2		2,342	2,260	0,965
3		1,892	2,108	1,114
4		2,360	2,725	1,155
5		2,260	2,764	1,223
6		1,992	2,570	1,290
7		1,892	2,619	1,384
8		2,342	3,705	1,582

З табл. 1 видно, що з усіх досліджуваних профілів мінімальну площу перерізу має хвилястий профіль № 1, проте найбільше значення мінімального моменту опору має новий тип профілю № 8. Найгіршим за цим показником виявився хвилястий профіль № 1. Про це саме свідчить і параметр ρ , який характеризує відношення мінімального моменту опору до площі

перерізу гофра. Якщо порівняти між собою ці два типи профілів, то виходить, що за геометричними характеристиками новий тип переважає хвилястий профіль на 75 %.

У процесі спільної роботи авторів був розроблений новий тип профілю для ємнісних конструкцій, що має більш високу ефективність використання (в табл. 1 профіль № 8). Він дозволяє забезпечувати необхідну міцність з меншою товщиною металу порівняно з традиційними хвилястим і коритним профілями, які зазвичай застосовуються в силосних ємностях.

Такий профіль, що містить систему виконаних по площі листа гофрів, має прямокутний їх переріз по всій довжині сталевго листа і відрізняється від найбільш близького квадратного профілю (№ 5) тим, що посилюється вигином однієї з полиць у вигляді двосхилого даху. Виконання вигину подібної форми забезпечує конструкції підвищену несучу здатність і жорсткість.

На рис. 2, наведеному нижче, видно, що кожен гофр такого профілю складається з системи пластин, в яких паралельно осі $x-x$ розташовані пластини позиції 1 в одній площині. У перпендикулярному напрямку від пластин 1 розміщуються пластини 2 і 5. Пластини 2 і 5 з'єднуються між собою пластинами 3 і 4, які розміщуються з нахилом відносно осі $x-x$ в дзеркальній орієнтації одна до одної і утворюють переріз, подібний до абрису двоскатного даху будинку. Кут нахилу пластин 3 і 4 однаковий і може варіюватися залежно від параметрів передбачуваного сипучого матеріалу і сфери його використання.

Звичайно, порівняно з коритним профілем матеріаломіцність окремого гофра дещо збільшується, але з урахуванням того, що новий профіль дає можливість зменшити товщину самого металу. не змінюючи при цьому несучу здатність конструкції, матеріаломіцність всієї конструкції в загальному зменшується.

Профільований лист простий в монтажі, надійний в експлуатації і може бути виготовлений в умовах сучасного промислового виробництва з використанням стандартного обладнання, матеріалів і комплектуючих.

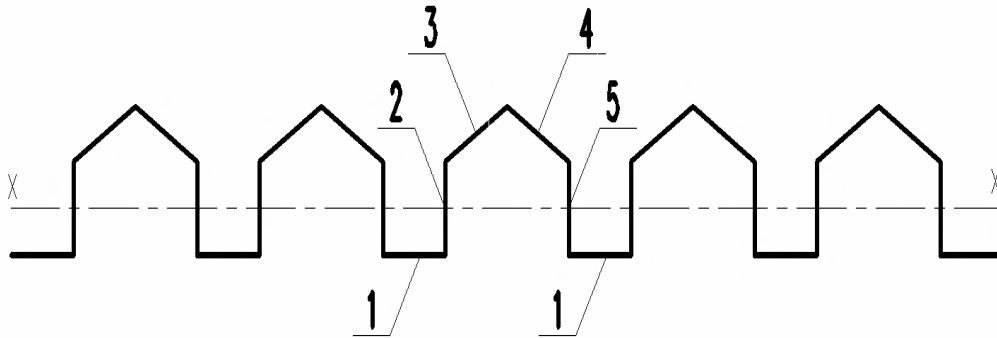


Рис. 2. Загальний вигляд поперечного перерізу конструкції профілю підвищеної жорсткості

Fig. 2. General view of the structural cross section of a profile with high rigidity

Крім того, порівнюючи цей тип профілю з подібними йому квадратним № 5 і шедовим № 2 (див. табл. 1) можна говорити про технологічні переваги нового профілю. Оскільки кут перегину листа металу при виготовленні зменшується, то це позитивно впливає на здатність матеріалу не утворювати тріщини.

Авторами подана патентна заявка [7] на гофрований профіль нового типу і в цей час ведеться оформлення авторських прав.

При використанні гофрованого профілю нового типу окремим питанням стала можливість забезпечення надійного стикового вузла кріплення листів між собою. Основна складність при цьому полягала в тому, що стандартний типовий вузол для подібних конструкцій не може бути використаний, оскільки в цьому випадку не вистачає достатньої відстані для розміщення шапки болта між окремими гофрами.

Ймовірним рішенням у цьому випадку може бути запропонований нижче на рис. 3 варіант, який покращує технологічність збірки і підвищує ремонтпридатність конструкції вузла і споруди в цілому.

Особливість цього вузла полягає в тому, що для забезпечення надійної роботи з'єднання і коректної передачі зусиль на листи використовується болт спільно з подовжуючим фланцем, який дає можливість розташувати шапку болта на потрібній відстані від гофра листа для того, щоб уникнути зминання і при цьому передати стягуюче зусилля на елементи, що скріплюються.

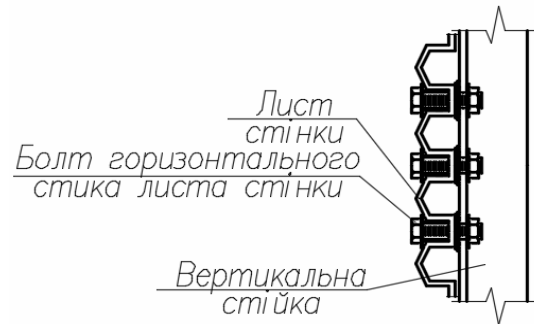


Рис. 3. Загальний вигляд стикового кріплення гофрованих листів

Fig. 3. General view of the butt fastening of corrugated sheets

Детально конструкція вузла наведена на рис. 4.

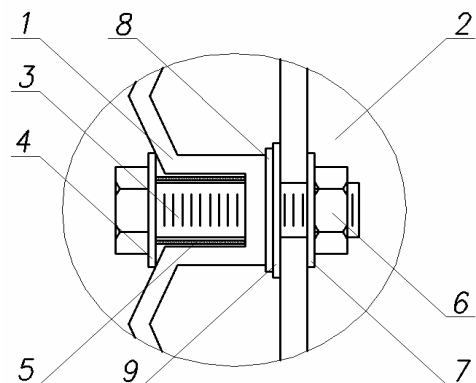


Рис. 4. Стиковий вузол кріплення гофрованого профілю нового типу

Fig. 4. Mount pickup fitting of a corrugated profile of a new type

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Вузол складається із стінової гофрованої панелі 1, вертикальної стійки 2, болта 3, металевих шайб 4 і 7, подовжуючого фланця 5, гайки 6, ущільнюючої шайби 8, пружної прокладки із полімерного матеріалу 9.

З'єднання виконується таким чином. Стінові панелі 1, виконані із профільованих сталевих листів, кріпляться до вертикальної стійки 2 за допомогою болта 3 з нанесеною різьбою на одному кінці стержня для подальшого затягування шестигранною гайкою 6. Попередньо болт 3 вставляється у подовжуючий фланець 5 для того, щоб була можливість відвести шапку болта разом із шайбою 4 на потрібну для кріплення відстань. Металеві шайби 4 і 7 підкладають під гайку і головку болта для створення більшої площі опорної поверхні, запобігання самовідгвинчування кріпильної деталі. Збільшення площі притиску дозволяє застосувати більше зусилля затяжки, оберігає поверхню елементів, що скріплюються, від пошкоджень, збільшує ступінь ущільнення з'єднання з прокладкою 8. Для герметичності з'єднання використовується прокладка 8, виконана із полімерного матеріалу, та ущільнююча шайба 9 на металевій основі. В результаті при затягуванні болтів 3 гайкою 6 утворюється щільне болтове з'єднання, яке придатне для застосування у випадку, коли головка болта 3 не може розташовуватися безпосередньо між хвилями гофра.

Таким чином досягається можливість улаштування болтових з'єднань при невеликих розмірах хвилі гофра, виключення протікання води в болтових з'єднаннях у процесі експлуатації і підвищення надійності і герметичності таких з'єднань. Крім цього покращується технологічність збірки і підвищується ремонтпридатність конструкції.

Це рішення також патентується авторами [8], і може з успіхом застосовуватися в практиці для проектування і будівництва більш економічних і менш матеріалоемних конструкцій для сипучих матеріалів.

Наукова новизна та практична значимість

Запропоновано новий тип поперечного перерізу профілю гофра для сталевих стінок силосних споруд, який має підвищену несучу здатність і жорсткість та дає можливість зменшити

товщину металу, не змінюючи при цьому несучу спроможність конструкції, чим знижує матеріаломісткість всієї конструкції.

Для цього та подібних типів профілів сконструйовано та запропоновано варіант вузлового кріплення окремих гофрованих листів на болтах з подовжуючим фланцем, який дає можливість влаштування з'єднання при невеликих розмірах хвилі гофра, де недостатньо відстані для розміщення шапки болта між окремими гофрами.

Обидва рішення прості в монтажі, надійні в експлуатації і можуть бути виготовлені в умовах сучасного промислового виробництва з використанням стандартного обладнання, матеріалів і комплектуючих. Крім цього при їх застосуванні збільшується економічна вигідність, покращується технологічність збірки і підвищується ремонтпридатність конструкції.

Висновки

На підставі виконаних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Застосування запропонованих рішень дозволяє підвищити економічність, технологічність та ремонтпридатність конструкції стінок сталевих силосів.
2. Отримані в дослідженнях результати свідчать про перспективність подальшого розвитку науково-дослідних робіт з пошуку нових, більш економічних рішень сталевій гофрованої стінки для силосних споруд, а також інших способів зменшення матеріалоемності конструкцій для зберігання сипучих матеріалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Акимов, И. В. Повышение износостойкости графитизированной стали / И. В. Акимов // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 6 (48). – С. 81–87. doi: 10.15802/stp2013/19678.
2. Банников, Д. О. Корректировка результатов расчета напряжений по МКЭ методом HSS / Д. О. Банников, А. Э. Гуслистая // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 38. – С. 134–141.
3. Босов, А. А. Математичне моделювання планування експериментів / А. А. Босов, В. В. Артемчук // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

- трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 25. – С. 118–121.
4. Вычислительный комплекс / В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. А. Маляренко [и др.]. – Москва : СКАД СОФТ, 2007. – 590 с.
 5. ДБН В.2.2-8-98. Підприємства, будівлі і споруди по зберіганню та переробці зерна. – На заміну СНиП 2.10.05-85. : введ. 1998–01–07. – Київ : Держбуд України, 1998. – 39 с.
 6. ДБН В.2.6-163:2010. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу. – На заміну СНиП II-23-81* : введ. 2011–01–12. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 202 с.
 7. Заявка на винахід в Укрпатент «Сталевий листовий гофрований профіль». – № а 2015 03703 від 20.04.2015 р. – 1 с.
 8. Заявка на корисну модель в Укрпатент «Болтове з'єднання з подовжуючим фланцем». – № у 2015 04467 від 20.04.2015 р. – 1 с.
 9. Качуренко, В. В. Эффективный гофрований профіль для сталевих емностей / В. В. Качуренко, Д. О. Банніков // Будів. вир-во. – 2014. – № 56. – С. 56–60.
 10. Качуренко, В. В. Особливості моделювання тиску сипучого матеріалу на гофровані сталеві елементи / В. В. Качуренко, Д. О. Банніков // Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. – Рівне, 2014. – Вип. 28. – С. 367–376.
 11. Куприевич, А. Б. Про отечественные металлические силосы. Особенности проектирования и строительства / А. Б. Куприевич // Зерно. – 2011. – № 10. – С. 121–126.
 12. Шкорупеев, Д. Г. Как в Украине локализуется заграничное зернохраниение / Д. Г. Шкорупеев // Зерно. – 2012. – № 5. – С. 184–187.
 13. Antonowicza, R. Analysis of loads and structural capacity of steel silo with corrugated wall for pelleted material / R. Antonowicza, C. Bywalskia, M. Kaminskia // J. of Civil Engineering and Management. – 2014. – Vol. 20. – Iss. 3. – P. 372–379. doi: 10.3846/13923730.2014.906497.
 14. Bródka, J. Blachy fałdowe w budownictwie stalowym / J. Bródka, R. Garncarek, K. Miłaczewski. – Warszawa : Arcady, 1984. – 152 p.
 15. Buxton, D. R. Silage science and technology / D. R. Buxton, R. E. Muck, J. H. Harrison. – Madison, Wisconsin, USA, 2003. – 897 p.
 16. Nemeth, C. Silo with a Corrugated Sheet Wall / C. Nemeth, J. Brodniansky // Slovak J. of Civil Engineering. – 2013. – Vol. 21. – Iss. 3. – P. 19–30. doi: 10.2478/sjce-2013-0013.
 17. Sloane, E. An age of barns / E. Sloane. – New York : Funk, 2001. – 351 p.

В. В. КАЧУРЕНКО^{1*}, Д. О. БАННИКОВ^{2*}

^{1*}Каф. «Строительные конструкции», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (097) 532 54 46, эл. почта valentina.kachurenko@gmail.com, ORCID 0000-0001-7383-205X

^{2*}Каф. «Строительные конструкции», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (063) 400 43 07, эл. почта bdo2013@yandex.ua, ORCID 0000-0002-9019-9679

КОНСТРУКЦИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО СТАЛЬНОГО ГОФРИРОВАННОГО ПРОФИЛЯ

Цель. В работе проводится изложение результатов поиска новых, более экономичных конструктивных решений металлических силосов, а именно: анализ существующих типов поперечного сечения профилей стальной стенки такого силоса и разработки менее материалоемкого сечения гофрированного профиля.

Методика. Для достижения поставленной цели исследованы существующие типы профилей емкостных конструкций и их напряженно-деформированное состояние при воздействии нагрузки. Анализ выполнялся по результатам вычислительных экспериментов. Объектом для исследования были математические компьютерные модели. Расчеты проведены с использованием метода конечных элементов. Для вычислительного эксперимента был использован проектно-вычислительный комплекс Structure CAD для Windows.

Результаты. В работе были получены данные, позволяющие оценить работу профилей и найти более эффективный тип поперечного сечения с точки зрения его материалоемкости. В процессе совместного исследования авторами был разработан новый тип профиля для емкостных конструкций, который имеет более высокую эффективность использования и узел крепления отдельных стальных листов с данным типом профиля. Оба решения просты в монтаже, надежны в эксплуатации и могут быть изготовлены в условиях современного промышленного производства с использованием стандартного оборудования, стандартных материалов и комплектующих. **Научная новизна.** Предложен новый тип поперечного сечения профиля

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

гофра для стальных стенок силосных сооружений, который имеет повышенную несущую способность и жесткость и позволяет уменьшить толщину металла, не изменяя при этом несущую способность конструкции, чем уменьшает материалоемкость всей конструкции. Для этого и подобных типов профилей сконструирован и предложен вариант узлового крепления отдельных гофрированных листов на болтах с удлиняющим фланцем, который дает возможность устройства соединения при небольших размерах волны гофра, где мало расстояния для размещения шапки болта между отдельными гофрами. **Практическая значимость.** Применение предложенных решений позволяет повысить экономичность, технологичность и ремонтпригодность конструкции стенок стальных силосов. Полученные в исследованиях результаты свидетельствуют о перспективности дальнейшего развития научно-исследовательских работ по поиску новых, более экономичных решений стальной гофрированной стенки для силосных сооружений, а также других способов уменьшения материалоемкости конструкций для сохранения сыпучих материалов.

Ключевые слова: силос; емкостное сооружение; стенка силоса; гофрированный профиль; экономичность; новый тип профиля; узел крепления

V. V. KACHURENKO^{1*}, D. O. BANNIKOV^{2*}

^{1*}Dep. «Building Structures», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (097) 532 54 46, e-mail valentina.kachurenko@gmail.com, ORCID 0000-0001-7383-205X

^{2*}Dep. «Building Structures», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (063) 400 43 07, e-mail bdo2013@yandex.ua, ORCID 0000-0002-9019-9679

RATIONAL STEEL CORRUGATED PROFILE DESIGN

Purpose. The work sets forth the search results of new, more efficient design solutions for metal silos, namely, the analysis of existing types of profiles cross-section in a steel wall of such silo and development of less material-intensive section of corrugated profile. **Methodology.** To achieve the set goal there were researched the existing types of capacitive structure profiles and their strain-stress state under the load. The analysis was performed on the results of computational experiments. The prototype object was mathematical computer models. The calculations were made using the finite-element method. For computational experiment there was used the design-computing system Structure CAD for Windows. **Findings.** In this work there were obtained the data allowing to assess work of the profiles and to find more effective type of cross-section in terms of its material consumption. In the process of joint study of the authors a new type of profile for capacitive structures was developed; it has higher utilization efficiency and the attachment point of individual steel sheets with this type of profile. Both solutions are easy to install, reliable in operation and can be manufactured in the conditions of modern industrial production using standard equipment, materials and components. **Originality.** A new type of corrugated profile cross-section for steel silo walls was proposed; it has higher load carrying capacity and rigidity and allows reducing the metal thickness without changing the structure carrying capacity that results in material consumption reduction of the whole structure. For this and similar types of profiles there was designed and proposed the attachment point of individual corrugated sheets screwed with extending flange, which enables the unit connection in case of small size corrugations, where the distance is not sufficient to accommodate the bolt cap between the individual corrugations. **Practical value.** Application of the proposed solutions can increase efficiency, manufacturability and maintainability of steel silo wall structures. The results obtained during the research show promise for further development of research on finding new and more economic solutions for corrugated steel silo wall design, as well as other ways to reduce material consumption of bulk material storage structures.

Keywords: silo; capacitive structure; silo wall; corrugated profile; efficiency; a new type of profile; attachment point

REFERENCES

1. Akimov I.V. Povysheniye iznosostoykosti grafitizirovannoy stali [Increasing of wear resistance of the graphitized steel]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 6 (48), pp. 81-87. doi: 10.15802/stp2013/19678.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

2. Bannikov D.O., Guslistaya A.E. Korrektirovka rezultatov rascheta napryazheniy po MKE metodom HSS [Correcting accounting results of tension using FEM by HSS method]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 38, pp. 134-141.
3. Bosov A.A., Artemchuk V.V. Matematychno modeliuвання planuvannya eksperymentiv [Mathematical modeling of experiments planning]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 25, pp. 118-121.
4. Karpilovskiy V.S., Kriksunov E.Z., Malyarenko A.A. *Vychislitelnyy kompleks* [Computing complex]. Moscow, SKAD SOFT Publ., 2007. 590 p.
5. *DBN V.2.2-8-98 Pidpryemstva, budivli i sporudy po zberihanniui ta pererobtsi zerna* [SCS V. 2.2-8-98. Enterprises, buildings and structures for the storage and processing of grain]. Kyiv, Derzhbud Ukrainy Publ., 1998. 39 p.
6. *DBN V.2.6-163:2010 Stalevi konstruksii. Normy proektuvannya, vyhotovlennia i montazhu* [SCS V. 2.6-163:2010. Steel construction. The standards for the design, fabrication and installation]. Kyiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2011. 202 p.
7. *Zaiavka na vynakhid v Ukrpatent «Stalevyi lystovyi hofrovanyi profil» № a 2015 03703 vid 20.04.2015 r.* [Application for the invention in Ukrpatent «Steel sheet corrugated profile!» no. u 2015 03703 from 20.04.2015]. 1 p.
8. *Zaiavka na korysnu model v Ukrpatent «Boltove ziednannia z podovzhuiuchym flantsem» № u 2015 04467 vid 20.04.2015 r.* [The application for a utility model in Ukrpatent «Bolted connection with odourous flange» no. u 2015 04467 from 20.04.2015]. 1 p.
9. Kachurenko V.V., Bannikov D.O. Efektyvnyi hofrovanyi profil dlia stalevykh yemnostei [Efficient corrugated profile for stainless steel containers]. *Budivnele vyrobnytstvo – Construction Operations*, 2014, no. 56, pp. 56-60.
10. Kachurenko V.V., Bannikov D.O. Osoblyvosti modeliuвання tysku sypuchoho materialu na hofrovani stalevi elementy [Features of modeling the pressure of granular material in corrugated steel elements]. *Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy – Resource-Efficient Materials, Structures, Buildings and Facilities*, 2014, issue 28, pp. 367-376.
11. Kuprievich A.B. Pro otechestvennyye metallicheskiye silosy. Osobennosti proyektirovaniya i stroitelstva [About domestic metal silos. Features of design and construction]. *Zerno – Grain*, 2011, no. 10, pp. 121-126.
12. Shkorupeyev D.G. Kak v Ukraine lokaliziruetsya zagranichnoye zernokhraneniye [As in Ukraine the overseas grain storage are localized]. *Zerno – Grain*, 2012, no. 5, pp. 184-187.
13. Antonowicza R., Bywalskia C., Kaminskia M. Analysis of loads and structural capacity of steel silo with corrugated wall for pelleted material. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2014, vol. 20, issue 3, pp. 372-379. doi: 10.3846/13923730.2014.906497.
14. Bródka J., Garncarek R., Miłaczewski K. *Blachy fałdowe w budownictwie stalowym*. Warszawa, Arcady Publ., 1984. 152 p.
15. Buxton D.R., Muck R.E., Harrison J.H. *Silage science and technology*. Madison, Wisconsin, USA, 2003. 897 p.
16. Nemeth C., Brodniansky J. Silo with a Corrugated Sheet Wall. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 2013, vol. 21, issue 3, pp. 19-30. doi: 10.2478/sjce-2013-0013.
17. Sloane E. *An age of barns*. New York, Funk Publ., 2001. 351 p.

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

Надійшла до редколегії: 23.06.2015
 Прийнята до друку: 18.08.2015

UDC 624.137.5 – 047.42

M. A. LISNEVSKIY^{1*}, V. O. SUKHORSKIY^{2*}

^{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 (056) 373 15 53, e-mail listik-007@mail.ru, ORCID 0000-0002-5550-8253

^{2*}STBU «South-West Railway», Separate Business Unit, Construction of Rail-Road Bridge Administration across the river Dnieper in Kyiv, Zhylianska St., 97, Kyiv, Ukraine, 01135, tel. +38 (044) 309 66 63, e-mail dn6@sw.uz.gov.ua, ORCID 0000-0002-9072-9107

CONDUCTING AND ANALYZING THE RESULTS OF THE EXPERIMENTAL BOX TEST OF RETAINING WALL MODELS WITHOUT PILES AND ON THE PILE FOUNDATION

Purpose. Taking into consideration that the bearing capacity of the foundation may be insufficient, in the study it is assumed that pile foundation can be used to reduce the impact of the construction of new retaining structures on roads and railways near the existing buildings or in areas of dense urban development and ensure the stability of the foundation. To reduce the volume of excavation it is necessary to choose the economic structure of the retaining wall. To do this, one should explore stress-strain state (SSS) of the retaining walls, to develop methods to improve their strength and stability, as well as to choose the most appropriate method of their analysis. **Methodology.** In the design of retaining walls foundation mat and piles are considered as independent elements. Since the combined effect of the retaining wall, piles and foundation mat as well as the effect of soil or rock foundation on the structure are considered not fully, so there are some limitations in the existing design techniques. To achieve the purpose the box tests of retaining walls models without piles and with piles for studying their interaction with the surrounding soil massif were conducted. **Findings.** Laboratory simulation of complex systems «surrounding soil – retaining wall – pile» was carried out and on the basis of the box test results were analyzed strains and its main parameters of the stress-strain state. Analysis of the results showed that the structure of a retaining wall with piles is steady and stable. **Originality.** So far, in Ukraine has not been carried out similar experimental box tests with models of retaining walls in such combinations. In the article has been presented unique photos and test results, as well as their analysis. **Practical value.** Using the methodology of experimental tests of the retaining wall models with piles and without them gives a wider opportunity to study stress-strain state of such structures.

Keywords: retaining wall; pile foundation; box tests; soil massif; stability and strength of structure; comparative analysis of options

Introduction

Modern construction requires maximum space use in the city. Engineering defenses and technologies of their application play a significant role in these conditions. They should provide minimal changes of strain-stain state (SSS) both of retaining wall and surrounding massif of soil [1].

Retaining walls throughout the service life must ensure safety and continuity of normal traffic, and also the simplicity and the lowest complexity of their service in the operation process.

In the thin retaining walls stability is provided by its own weight and the weight of soil, which is involved in to operation by the wall's construction [2].

Retaining walls have to be calculated taking into account the horizontal and vertical external

loads, located on the wedge of failure, including vehicle loads, technological equipment, stocked material, etc. [1].

Load of wheels in the form (LW-100) (NK-100) was taken as notmative live vertical load from traffic when calculating the retaining wall, which consists of one wheeled machine.

Calculations of retaining walls should be performed taking into account the characteristics of the nonlinear behavior of soil. Moreover, some existing construction technologies, such as piles engineering without soil excavation, are new and have not been reflected in the standards [4].

Solving transportation problems in Ukraine is connected with the complex challenges in the construction of bridge crossings of combined type. Today one of these objects is a bridge across the Dnieper River in Kiev city at the Kyiv-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Moskovskiy-Darnytsia railway section, which is provided with road exits on the right and left banks. One of these structures on the bridge approaches is a motorway junction with the over

Dnieper highway on the right bank of the Dnieper river. This junction in a form of road exit is designed using retaining walls of complex structure, as shown in Fig. 1. [3, 10].

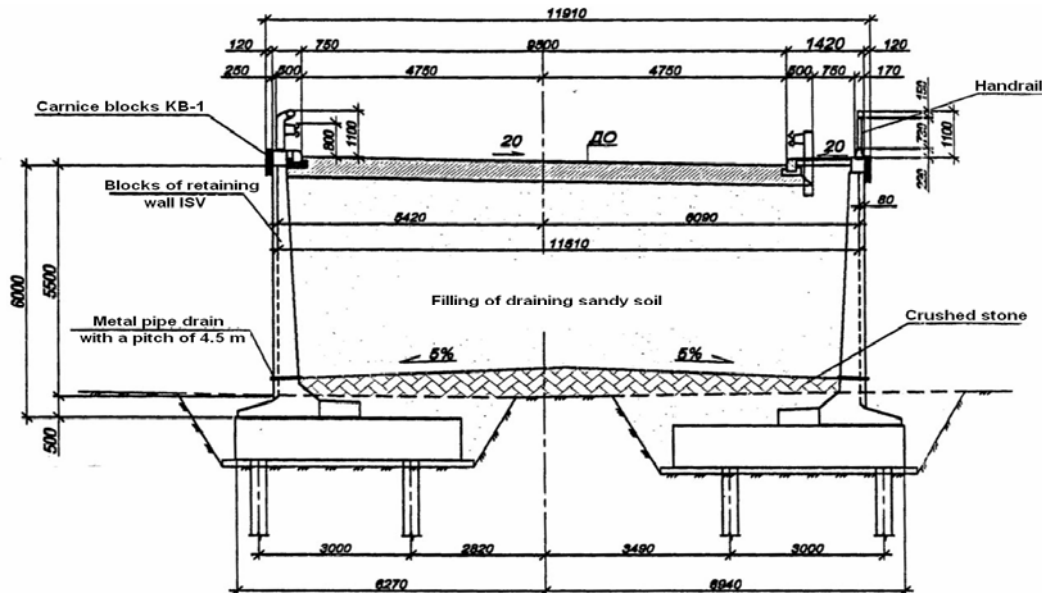


Fig. 1. Structure of a retaining wall

Purpose

The principal purpose of the research is conducting and comparison of experimental box tests results of retaining walls models without piles and with pile foundation with the surrounding soil, and analysis of obtained results.

In order to achieve this purpose it was necessary to solve the following tasks:

- Experimental study the stress-strain state of structures in the laboratory;
- Creation of computational model that without any changes could be used in the calculation of retaining walls;
- Creation of soil models, which would describe closely work of soil base;
- Development the model of pile calculation, flexible retaining walls;
- Development methodology of experimental research of interaction between the surrounding soil massif with different models of retaining walls at different loads and movements;
- Implementation the results of the experimental box tests at design, reconstruction or strengthening of mentioned structures;

- Results comparison of calculation accordingly to the method, which is offered with the experimental data of the author and other researchers, as well as with the results of calculation accordingly to regulatory documents;

- Recommendations development concerning the use of research results.

Methodology

For laboratory research a road section with the retaining wall «construction number 7P» at the interchange leg from the over Dnieper highway on the right bank of the Dnieper river was examined.

The total length of right-hand wall is 84 m. The retaining wall was designed using unified concrete structures of an angular bar from blocks.

Thus at the length of 42 m blocks of the retaining wall are installed together with sole blocks on the crushed-stone bed, thickness of 0.2 m. All dimensions correspond to the drawing (see Figure 1).

The area of 42 m length houses 50 pieces of piles with rectangular cross section 35x35 cm, therefrom 12 piles, 12 m long each, were ramed at 12 m long part of the area, and 38 piles, 14 m long, were installed at the other 30 m long part. The

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

highest and the most complicated construction of the wall, with length of 30 m and maximum height of 6.5 m and 14 m long piles is considered in the paper.

For the purposes of this work several series of experimental box tests were conducted. Assembled device together with the installed box is shown in Fig. 2.

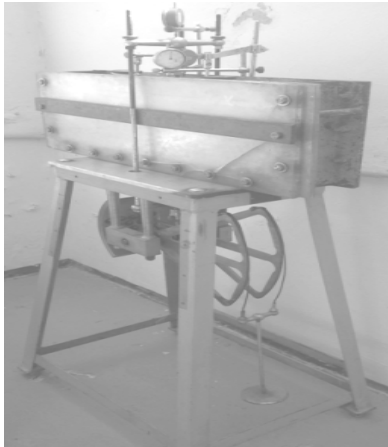


Fig. 2. General view of a device with installed box

Testing flat box (see Fig. 2) has a width of 5.12 m, so for the test was taken a part of an angular wall, the length of 12.5 m along passage. Dimensions for production of models were taken from the drawing (see. Fig. 1). They were made on scale 1: 100, respectively sizes of models are: height 6.5 cm, width 4.5 cm on the sole and the length of the walls part in the direction of passage is 12.5 cm (Fig. 3) [6, 7, 8].

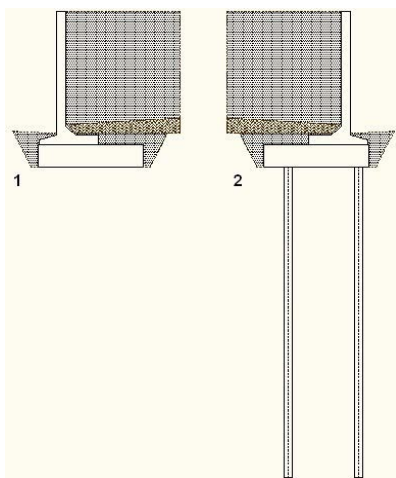


Fig. 3. Options of retaining wall:
1 – without piles;
2 – with 14 m long piles

Models of retaining walls, which are shown in Fig. 4, were produced in specially built form. Reinforcement cage was in the form of steel wire. Concrete was prepared of cement, additives for strength, graded sand and crushed stone of appropriate size [13].

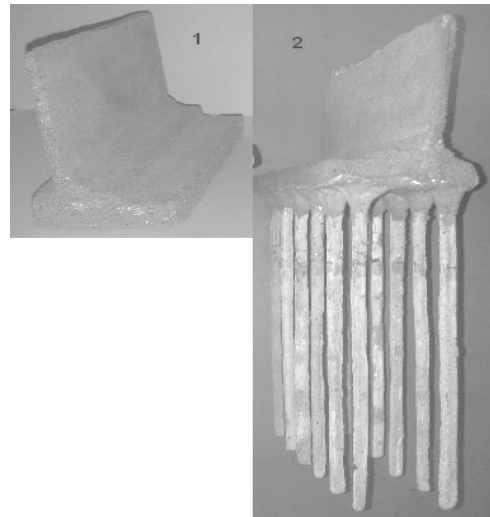


Fig. 4. Models of retaining wall:
1 – without piles;
2 – with piles, length of 14 m

In order to simulate the surrounding soil mass of a wall, the basic soil model, which is shown in Fig. 5, created from loam by soil layers compaction with tamping was applied. Density, humidity and deformation characteristics of models in different series of tests were identical, it gives the possibility to compare the stress-strain state (SSS) of models at different options.

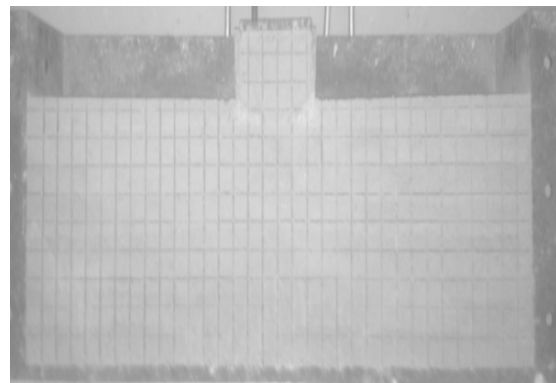


Fig. 5. The model of soil

Tamping is a horizontal metal disk and a rod, connected rigidly with it. A striker has the cylindrical shape with a hole in the center, by which it places on the rod and can move freely along it.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Weight of the striker is 25 H. Shocks were hit on the horizontal disk of temping, which was on a wooden board on soil in the test box.

In order that power of strokes would be the same, the striker is released with free fall from a height of 30 cm, which is fixed by a limiter. For convenience the striker is lifted using a cable. Number of tamping strokes were experimentally established so that soil characteristics of each layer were similar.

On the side of soil massif a grid was divided (see. Fig. 5), which was drawn with a pencil into squares measuring 2 by 2 cm for a better view and test results processing.

Features of soil massif from loam were determined by laboratory tests (Fig. 6a) from selected samples and soil rings (Fig. 6b). An average, they were: moisture of soil was equal to 11.5%, soil density – 1.5 g / cm³, the density of soil parts – 2.7 g / cm³, initial ratio of porosity – 1 module of strain – 3.4 MPa. There were also found some other characteristics.

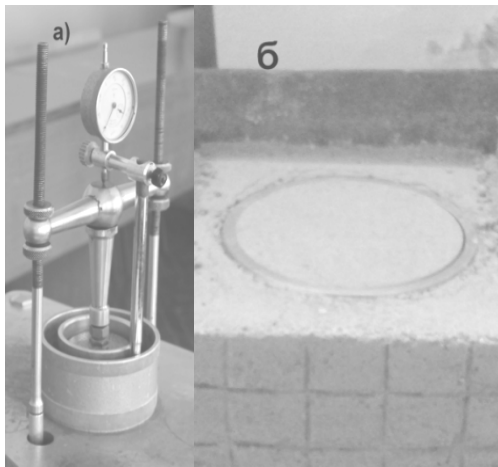


Fig. 6. Laboratory tests:
a) a type of device for compression tests;
b) soil rings

After preparing the soil by tamping for bedding, models of retaining wall were set in the center of the box (Fig. 7), soil was tamped by tamping between them and on either side of them. Then, on soil that was modeling the permanent way and locating between retaining walls at the maximum height, there was installed a metal die, width of 10 cm, length of 12.5 cm and height of 1 cm (Fig. 7.2).

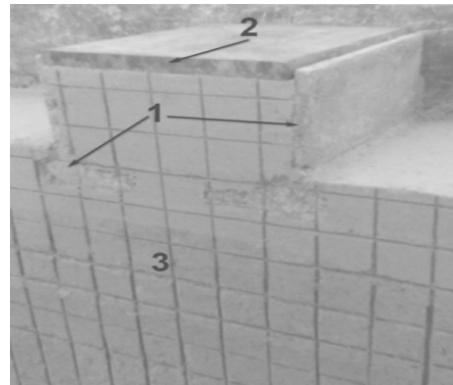


Fig. 7. Superstructure of a model:
1 – retaining walls; 2 – a metal die;
3 – massif of soil

Final box with soil massif in the box was mounted on compression device (see Fig. 2). Further lever system was set with lever arm 1:10. Through it the load on the die, area of 116 cm² was supplied. Load was applied by steps of 20N to achieve pressure under die, which corresponded to the existing load of wheels LW-100 (HK-100) in regulations.

On the die and lever five indicators of clock controlled type were installed (Fig. 8). During the loading of models, level was controlled both as the absolute displacements, with dial gage, an accuracy of 0.01 mm, and relative strains, which were calculated by dividing the displacements at the starting height of soil massif. At appropriate intervals of time readings were taken and recorded in the log for further processing.

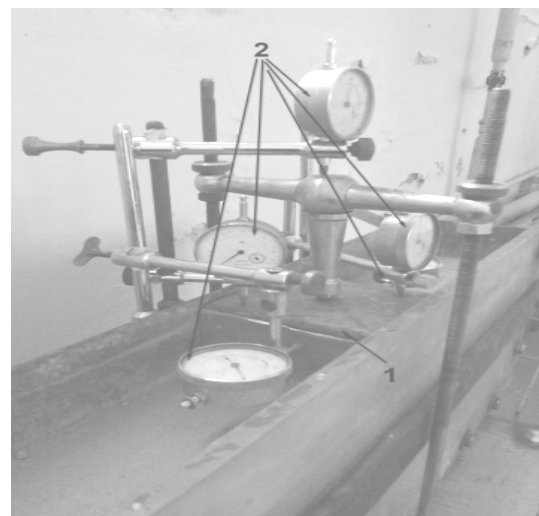


Fig. 8. Installing the lever system and indicators:
1 – a metal die; 2 – indicators of time type

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

After reaching 100% or more of the (LW-100) NK-100 load, device and box were disassembled for examination of soil massif, the plotted grid, and also for photographing the results (Fig. 9).



Fig. 9. Analysis of test results

Findings

When conducting research, was investigated the general nature of the work, strain and fracture of the soil massif with retaining walls. These studies were conducted on two models:

- models of soil with an angular retaining wall without pile;
- models of soil with an angular retaining wall on pile foundation.

In course of experiments, connected with the nature study of soil massif fracture, at all stages of the model load it was monitoring over deformation of soil massif using the deformation grid and absolute moving of vertical roadway surface by indicators of clock type, placed in 5 points [9].

During the experiments the values of vertical and horizontal displacements of the first model in soil massif were obtained.

Results of points displacements at ten degrees of load of retaining walls models without piles are presented in Table 1.

A typical strain of a retaining wall model without piles is the case of soil massif compression between retaining walls and beneath them, which is visible upon bend of grid 2 x 2 cm, marked on the front side of the model (Fig. 10). Also, analyzing the results and calculating the relative strain of the model (Table 2) was constructed dependence graph of the relative strains from tension in the model with the retaining wall without piles, as it is shown in Fig. 11.

Table 1

Absolute strain of retaining walls models without piles, mm

Pressure on die of a model	Test number					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
МПа	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0.0172	0.08	0.09	0.14	0.07	0.09	0.11
0.0345	0.29	0.31	0.37	0.27	0.3	0.33
0.0517	0.44	0.46	0.52	0.48	0.5	0.47
0.069	0.67	0.74	0.81	0.74	0.81	0.71
0.0862	1.03	1.08	1.14	1.02	1.06	1.09
0.1035	1.91	2.05	1.81	1.83	1.91	2.01
0.1207	3.66	3.72	3.39	3.45	3.59	3.55
0.1379	5.34	5.71	5.45	5.83	5.95	5.85
0.1552	7.45	7.98	7.84	7.53	7.78	7.64
0.1724	9.05	9.08	9.23	8.93	9.05	9.13

Table 2

Relative strain of retaining walls models without piles, mm

Pressure on die of a model	Test number					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
МПа	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0.017	0.003	0.004	0.006	0.003	0.004	0.005
0.035	0.012	0.013	0.015	0.011	0.013	0.014
0.052	0.018	0.019	0.022	0.02	0.021	0.02
0.069	0.027	0.031	0.034	0.031	0.034	0.03
0.086	0.042	0.045	0.048	0.043	0.044	0.045
0.104	0.08	0.085	0.075	0.076	0.08	0.084
0.121	0.152	0.155	0.141	0.144	0.15	0.148
0.138	0.223	0.238	0.227	0.243	0.248	0.244
0.155	0.31	0.333	0.327	0.314	0.324	0.318
0.172	0.377	0.378	0.385	0.372	0.377	0.38

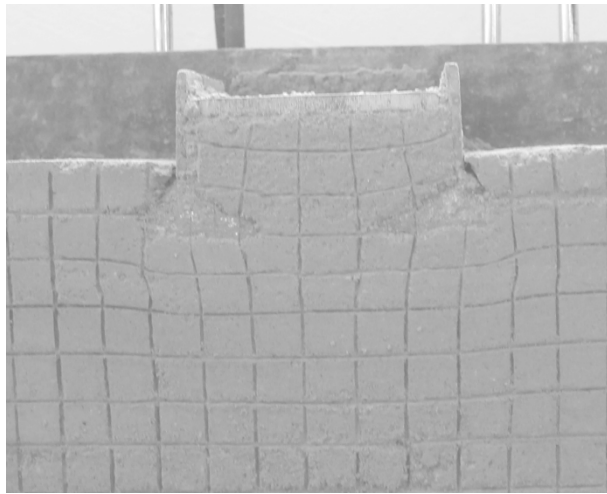


Fig. 10. Strain of the retaining wall model without piles after load application

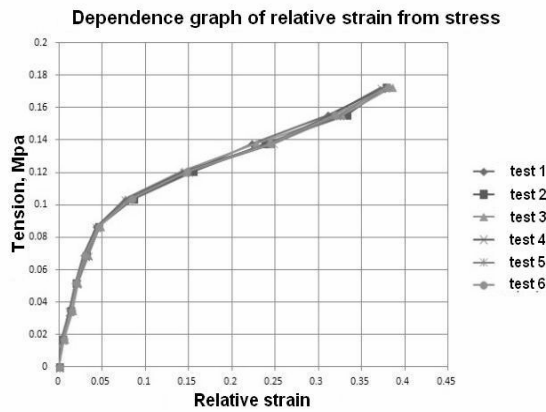


Fig. 11. Relative strain of the retaining wall model without piles

In the course of the study and results processing of experimental box testing of retaining walls models on pile foundation, values of vertical and horizontal displacements of models at different levels of load were obtained (Table 3).

Using of pile foundation in the retaining wall model has improved the strain figure as it is shown in Fig. 12. This model has revealed no character strain of soil massif and forming the core of soil compression between retaining walls and beneath them in comparison with the version without pile.

Application of piles has reduced vertical displacement, absolute strains of retaining walls model on pile foundation and strain of soil massif around them compared with the option without piles at average from 9.15 mm up to 2.34 mm.

Table 3

Absolute strain of retaining walls models on pile foundation, mm

Pressure on die of a model МПа	Test number					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
0	0	0	0	0	0	0
0.0172	0.045	0.11	0.04	0.065	0.06	0.04
0.0345	0.205	0.275	0.21	0.2	0.2	0.22
0.0517	0.4	0.42	0.4	0.34	0.35	0.4
0.069	0.59	0.55	0.6	0.47	0.495	0.58
0.0862	0.76	0.69	0.77	0.61	0.65	0.765
0.1035	0.97	0.84	0.96	0.765	0.83	0.955
0.1207	1.19	1.03	1.18	0.94	1.03	1.175
0.1379	1.46	1.28	1.46	1.19	1.32	1.46
0.1552	1.85	1.68	1.85	1.55	1.72	1.85
0.1724	2.48	2.18	2.49	2.15	2.24	2.5



Fig. 12. Strain of the retaining wall model with piles after load application

According to relative strain reducing, models with pile foundation are quite significant (table 4).

Using calculations were constructed dependency graph of relative strains from tension in the model with the retaining wall on pile foundation (Fig. 13).

Table 4

Relative strain of retaining walls models on pile foundation, mm

Pressure on die of a model МПа	Test number					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
0	0	0	0	0	0	0
0.017	0.003	0.004	0.006	0.003	0.004	0.005
0.035	0.012	0.013	0.015	0.011	0.013	0.014
0.052	0.018	0.019	0.022	0.02	0.021	0.02
0.069	0.027	0.031	0.034	0.031	0.034	0.03
0.086	0.042	0.045	0.048	0.043	0.044	0.045
0.104	0.08	0.085	0.075	0.076	0.08	0.084
0.121	0.152	0.155	0.141	0.144	0.15	0.148
0.138	0.223	0.238	0.227	0.243	0.248	0.244
0.155	0.31	0.333	0.327	0.314	0.324	0.318
0.172	0.377	0.378	0.385	0.372	0.377	0.38

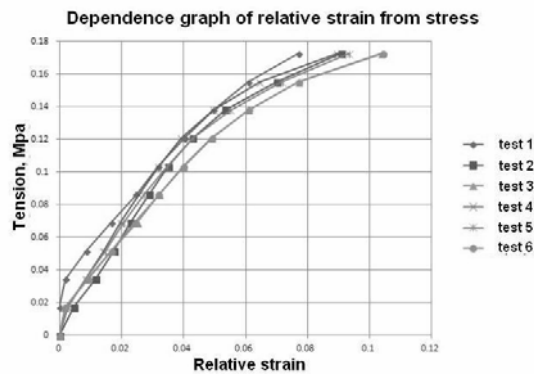


Fig. 13. Relative strain of the retaining wall model on pile foundation

In figure 14 the dependence joint graph of relative strain from tensions under a stamp of the first and second versions of retaining walls models with the surrounding soil massif is presented.

From this graph one can conclude that the use of piles has positive impact on the stability of retaining walls [14, 15].

The observations allowed studying models fracture pattern of fixed soil massif by piles of the retaining wall and unfixed soil massif (Fig. 10 and 12). As it can be seen in the figure, nature of their

fracture is different [16, 17]. Loads are also different at which the destruction has occurred: soil massif, fixed by retaining walls on piles, did not ruin under load of 172.41 kPa, which is approximately 171% of the equivalent load (LW-100) (HK-100), and soil massif, fixed by the retaining wall without piles under this load destructed and lost stability.

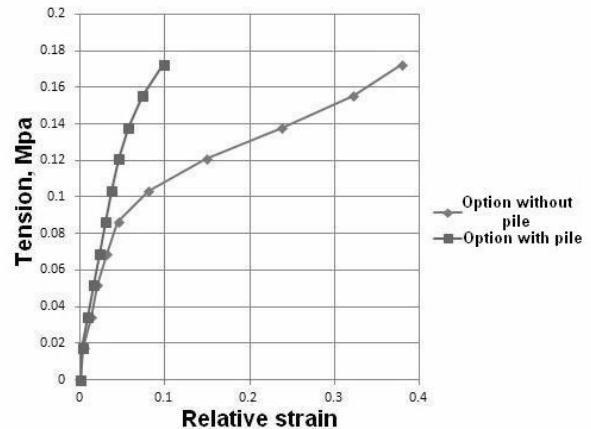


Fig. 14. Relative strain of the supporting wall model on pile foundation

The vertical strains of the second variant of the soil massif model with retaining walls on pile foundation are by 3.91 times smaller than the first version of soil massif of soil with retaining walls on a natural basis. It was also noted reduction of horizontal displacements (deviation from vertical ones) of retaining walls with piles by 2.5 ... 3 times.

Originality and practical value

Originality of the research is the following:

- Firstly in practice of simulation with equivalent materials was developed the method of experimental studies of retaining walls on pile foundation and without it in large-scale models. It let reproduce their work in semi-stabled soil and identify the nature of the interaction between retaining walls and soil massif;

- Experimental research of the soil massif stability with two options of retaining walls were performed. As a result, new scientific results were obtained, that allow revealing and assessing the stability of the construction of retaining walls, depending on various factors;

- Conducted field studies in real construction projects allowed assessing not only

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

assurance factor, technical feasibility, economic efficiency and a degree of this fastening security, but confirm theoretical and experimental research reliability on models;

– Design scheme and the proposed method of construction calculating of retaining walls that takes into account the actual loading pattern were substantiated.

Conclusions

The complexity of the mechanical processes when there is an interaction of angled retaining walls on the pile foundation and without them with soil massif, as well as the variety of factors affecting the nature of their interaction, cause difficulties both for the analytic solution of the problem at static work of supporting walls and for the direct research in the full-scale conditions. This circumstance has determined the choice of research line, mainly with experimental and laboratory methods on models.

Taking into account such specific features of challenge as engineering and geological conditions of construction, the need for experiments on models, variety parameters under research and others, it is worthwhile further investigation of the system operation «pile foundation– retaining wall –surrounding soil massif» to carry out by the method of equivalent materials.

To study the static work features of supporting walls on models using equivalent materials the author has developed a method of experimentations that includes recommendations concerning equivalent materials selection that simulate soil massif and functions of main criteria of similarity depending on the considered range of tasks.

Experimental research on two variant models, conducted with the purpose to study the stability of retaining walls construction on pile foundation and without it, showed that as a result of piles application in the foundation of retaining walls there is soil massif reinforcement and self-supporting soil massif is formed. It was found that the pile foundation in the retaining walls is a robust design, a feature of which is determined by its interaction with the surrounding soil massif.

The stability of the retaining wall, fixed with pile foundation, and performance of formed, self-supporting soil mass depends on applied load.

The results of the experimental studies let obtaine changes dependences of absolute and relative strains from load and stress under die.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Байнатов, Ж. Б. Новые конструкции и методы расчета противооползневых сооружений и методы их расчета. / Ж. Б. Байнатов, А. Жусупов // Вестн. КазНТУ. – 2011. – Вып. 3 (85) – С. 1–5.
2. Гузченко, В. Т. Класифікація підпірних стін / В. Т. Гузченко, М. А. Лісневський // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : зб. наук. пр. / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вып. 3. – С. 39–44.
3. Исследование подпорной стенки при сооружении автодорожной развязки на железнодорожно-автомобильном мостовом переходе через р. Днепр в г. Киеве / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, А. Л. Тюткин, М. А. Лисневский // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр. / Приднпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры – Днепропетровск, 2011. – Вып. 61. – С. 303–307.
4. Каганов, Г. М. Гидротехнические сооружения армированного грунта : учеб. пособие / Г. М. Каганов, И. М. Евдокимова, К. И. Шевченко. – Москва : Полиграф. комплекс НИИ-Природа, 2004. – 607 с.
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 залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вып. 32. – С. 101–105.
6. Петренко, В. Д. Порівняльний аналіз напружено-деформованого стану кутової підпірної стінки на пальовому фундаменті / В. Д. Петренко, М. А. Лісневський // Зб. наук. пр. Серія : галузеве машинобуд., буд-во / Полтав. нац. тех. ун-т. – Полтава, 2013. – Вып. 3 (38), т. 2. – С. 279–287.
7. Полевиченко, А. Г. Расчет свайной подпорной стены для укрепления неустойчивых откосов и склонов / А. Г. Полевиченко – Хабаровск : ДВГУПС, 2006. – 25 с.
8. Результати аналізу параметрів експериментальних досліджень армування геотекстилем земляного полотна / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, А. Л. Тюткін, А. М. М. Алхдур // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вып. 34. – С. 131–135.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

9. Савенко, В. Я. Актуальність проблеми оптимального конструювання дорожніх одягів автомобільних доріг / В. Я. Савенко, С. В. Гавриленко, В. В. Петрович // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : зб. наук. пр. / Нац. трансп. ун-т. – Київ, 2001. – Вип. 63. – С. 16–20.
10. 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 залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 35. – С. 139–144.
11. Тимофеева, Л. М. Армирование грунтов. Теория и практика применения. Ч. 1. Армированные основания и армогрунтовые подпорные стены / Л. М. Тимофеева – Пермь : ППИ, 1991. – 478 с.
12. Basha, B. M. Reliability assessment of internal stability of reinforced soil structures: A pseudo-dynamic approach / B. M. Basha, S. G. L. Babu // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2010. – Vol. 30. – Iss. 5. – P. 336–353. doi: 10.1016/j.soildyn.2009.12.007.
13. Gao, Z. H. Experimental Study and Numerical Analysis of Mechanical Behavior of Piled Retaining Wall Structure / Z. H. Gao // Master Thesis Sichuan University. – Chengdu, China, 2005. – P. 37–41.
14. Qiao, C. L. Study on Action Mechanism of Piled Retaining Wall / C. L. Qiao // Master Thesis Sichuan University. – Chengdu, China, 2004. – P. 56–61.
15. Zhang, M. Study on Designing Theory and Engineering Application of Piled Retaining Wall Structure / M. Zhang // Master Thesis Jiaotong University. – Chengdu, China, 2007. – P. 94–99.

М. А. ЛІСНЕВСЬКИЙ^{1*}, В. О. СУХОРСЬКИЙ^{2*}

^{1*}Каф. «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53, ел. пошта listik-007@mail.ru, ORCID 0000-0002-5550-8253

^{2*}ДТГО «Південно-Західна залізниця», Відокремлений підрозділ, Дирекція з будівництва залізнично-автомобільного мостового переходу через р. Дніпро у м. Києві, вул. Жилиняська, 97, Київ, Україна, 01135, тел. +38 (044) 309 66 63, ел. пошта dn6@sw.uz.gov.ua, ORCID 0000-0002-9072-9107

ПРОВЕДЕННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЛОТКОВОГО ВИПРОБУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ПІДПІРНОЇ СТІНИ БЕЗ ПАЛЬ І НА ПАЛЬОВОМУ ФУНДАМЕНТІ

Мета. Беручи до уваги, що несуча здатність фундаменту може бути недостатньою, в науковій роботі передбачається, що паливий фундамент може бути використаний для зниження впливу будівництва нових підпірних споруд на автомобільних і залізничних дорогах, біля вже існуючих будівель або в місцях щільної міської забудови, та гарантувати стабільність фундаменту. Для зниження обсягів земляних робіт потрібно обрати економічну конструкцію підпірної стінки. Для цього необхідно дослідити напружено-деформований стан (НДС) підпірних стін, розробити методи підвищення їх міцності та стійкості, а також обрати найбільш доцільний метод їх аналізу. **Методика.** При проектуванні підпірних стінок ростверк і палі вважаються незалежними елементами. Оскільки спільна дія підпірної стінки, палі, ростверку, а також вплив ґрунту або скельної основи на споруду враховуються не в повній мірі, тому є деякі обмеження в існуючих методах їх проектування. Для досягнення мети були проведені лоткові випробування моделей підпірних стін без палі і з палями з метою вивчення їх взаємодії із оточуючим масивом ґрунту. **Результати.** Вченими було виконано лабораторне моделювання складної системи «оточуючий ґрунт – підпірна стінка – паля». На основі результатів лоткових випробувань були проаналізовані деформації та основні параметри їх напружено-деформованого стану. Аналіз отриманих результатів показав, що конструкція підпірної стіни з палями є стійкою та міцною. **Наукова новизна.** До цього часу в Україні не було проведено аналогічних експериментальних лоткових випробувань із моделями підпірних стін у таких комбінаціях. В статті приведені унікальні фотографії та результати випробувань, а також їх аналіз. **Практична значимість.** Використання методики проведення експериментальних лоткових випробувань моделей підпірних стін із

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

палями і без них дає більш широкую можливість дослідження напружено-деформованого стану таких конструкцій.

Ключові слова: підпірна стінка; пальовий фундамент; лоткові випробування; ґрунтовий масив; стійкість та міцність конструкції; порівняльний аналіз варіантів

М. А. ЛИСНЕВСКИЙ^{1*}, В. О. СУХОРСКИЙ^{2*}

^{1*}Каф. «Тоннели, основания и фундаменти», Днепропетровский национальний университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53, эл. почта listik-007@mail.ru, ORCID 0000-0002-5550-8253

^{2*}ГТОО «Юго-Западная железная дорога», Обособленное подразделение, Дирекция по строительству железнодорожно-автомобильного мостового перехода через р. Днепр в г. Киеве, ул. Жилинская, 97, Киев, Украина, 01135, тел. +38 (044) 309 66 63, эл. почта dn6@sw.uz.gov.ua, ORCID 0000-0002-9072-9107

ПРОВЕДЕНИЕ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЛОТКОВОГО ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛЕЙ ПОДПОРНОЙ СТЕНЫ БЕЗ СВАЙ И НА СВАЙНОМ ФУНДАМЕНТЕ

Цель. Принимая во внимание, что несущая способность фундамента может быть недостаточной, в научной работе предполагается, что свайный фундамент может быть использован для снижения влияния строительства новых подпорных сооружений на автомобильных и железнодорожных дорогах, возле существующих строений или в местах плотной городской застройки, и гарантировать стабильность фундамента. Для снижения объемов земляных работ нужно выбрать экономичную конструкцию подпорной стенки. Для этого необходимо исследовать напряженно-деформированное состояние (НДС) подпорных стен, разработать методы повышения их прочности и устойчивости, а также выбрать наиболее целесообразный метод их анализа. **Методика.** При проектировании подпорных стенок ростверк и сваи считаются независимыми элементами. Поскольку совместное действие подпорной стенки, свай, ростверка, а также влияние почвы или скального основания на сооружение учитываются не в полной мере, то есть некоторые ограничения в существующих методах их проектирования. Для достижения цели были проведены лотковые испытания моделей подпорных стен без свай и со сваями с целью изучения их взаимодействия с окружающим массивом грунта. **Результаты.** Учеными было выполнено лабораторное моделирование сложной системы «окружающий грунт – подпорная стенка – свая». На основании результатов лотковых испытаний были проанализированы деформации и основные параметры их напряженно-деформированного состояния. Анализ полученных результатов показал, что конструкция подпорной стены со сваями является устойчивой и прочной. **Научная новизна.** До сих пор в Украине не было проведено аналогичных экспериментальных лотковых испытаний с моделями подпорных стен в таких комбинациях. В статье приведены уникальные фотографии и результаты испытаний, а также их анализ. **Практическая значимость.** Использование методики проведения экспериментальных лотковых испытаний моделей подпорных стен со сваями и без них дает более широкую возможность исследования напряженно-деформированного состояния таких конструкций.

Ключевые слова: подпорная стенка; свайный фундамент; лотковые испытания; ґрунтовый массив; устойчивость и прочность конструкции; сравнительный анализ вариантов

REFERENCES

1. Baynatov Zh., Zhusupov A. Novyye konstruktсии i metody rascheta protivopolznevnykh sooruzheniy i metody ikh rascheta [New designs and methods of calculation of anti-structures]. *Vestnik Kazakhskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta imeni K. I. Satpayeva* [Bulletin of Kazakh Technical University after K. I. Satpayev], 2011, issue 3 (85), pp. 1-5.
2. Huzhenko V.T., Lisnevskiy M.A. Klyasifikatsiia pidpirnykh stin [Classification of retaining walls]. *Zbirnyk naukovykh prats «Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka»* [Proc. «Bridges and tunnels: Theory, Research, Practice»]. Dnipropetrovsk, 2012, vol. 3, pp. 39-44.
3. Petrenko V.D., Guzhenko V.T., Tyutkin A.L., Lisnevskiy M.A. Issledovaniye podpornoy stenki pri sooruzhenii avtodorozhnoy razvyazki na zheleznodorozhno-avtomobilnom mostovom perekhode cherez r. Dnepr v g. Kiyeye [Research of a retaining wall in the construction of a of the road junction at the rail-road

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

- bridge across Dnieper River in city Kiev]. *Sbornik nauchnykh trudov «Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroeniye»* [Proc. «Construction, Materials Science, Mechanical Engineering»]. Dnepropetrovsk, 2011, issue 61, pp. 303-307
4. Kaganov G.M., Yevdokimova I.M., Shevchenko K.I. *Gidrotekhnicheskiye sooruzheniya armirovannogo grunta* [Hydraulic structures of reinforced soil]. Moskva, Poligraficheskiy kompleks NIA-Priroda Publ., 2004. 607 p.
 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 study of the influence of the deformation characteristics of the layer of reinforcement on SSS railway embankment at the entrance to the bridge crossing]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 32, pp. 101-105.
 6. Petrenko V.D., Lisnevskiy M.A. Porivnialnyi analiz napruzhenno-deformovanoho stanu kutovoi pidpirnoi stinky na palovomu fundamenti [Comparative analysis of stress-strain state of an angular retaining wall on pile foundations]. *Zbirnyk naukovykh prats «Serii: haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo»* [Proc. «Series: Industrial engineering, construction»], 2013, issue 3 (38), vol. 2, pp. 279-287.
 7. Polevichenko A.G. *Raschet svaynoy podpornoy steny dlya ukrepleniya neustoychivyykh otkosov i sklonov* [Calculation of a pile retaining wall for pitching and strengthening of unstable slopes]. Khabarovsk, DVGUPS Publ., 2006. 25 p.
 8. Petrenko V.D., Huzchenko V.T., Tiutkin A.L., Alkhdur A.M.M. Rezultaty analizu parametriv eksperymentalnykh doslidzhen armuvannia heotekstylem zemlianoho polotna [The results of analysis of experimental research parameters of the geotextile-reinforced ground]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 34, pp. 131-135.
 9. Savenko V.Ya., Havrylenko S.V., Petrovych V.V. Aktualnist problemy optimalnoho konstruiuvannia dorozhnikh odiahiv avtomobilnykh dorih [The relevance of optimal pavement design of roads]. *Zbirnyk naukovykh prats «Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo»* [Proc. «Roads and road construction»]. Kyiv, 2001, issue 63, pp. 16-20.
 10. Petrenko V.D., Guzchenko V.T., Tyutkin A.L., Alkhdur A.M.M. Sravnitelnyy analiz rezultatov eksperymentalnykh issledovaniy usileniya zemlyanogo polotna malodeformiruemym sloem [Comparative analysis of the experimental research results of the subgrade strengthening by small-deformable layer]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 35, pp. 139-144.
 11. Timofeyeva L. M. *Armirovaniye gruntov. Teoriya i praktika primeneniya. Chast 1. Armirovannyye osnovaniya i armogruntovyie podpornyye steny* [Soil reinforcement. Theory and Practice. Part 1. The armoured bases and reinforced retaining walls]. Perm, PPI Publ., 1991. 478 p.
 12. Basha B.M., Babu S.G.L. Reliability assessment of internal stability of reinforced soil structures: A pseudo-dynamic approach. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2010, vol. 30, issue 5, pp. 336-353. 10.1016/j.soildyn.2009.12.007.
 13. Gao Z.H. Experimental Study and Numerical Analysis of Mechanical Behavior of Piled Retaining Wall Structure. Master Thesis Sichuan University. Chengdu, China, 2005, pp. 37-41.
 14. Qiao C.L. Study on Action Mechanism of Piled Retaining Wall. Master Thesis Sichuan University. Chengdu, China, 2004, pp. 56-61.
 15. Zhang M. Study on Designing Theory and Engineering Application of Piled Retaining Wall Structure. Master Thesis Jiaotong University. Chengdu, China, 2007, pp. 94-99.

Prof. A. V. Radkevych, D. Sc. (Tech.), (Ukraine); Prof. S. I. Holovko., D. Sc. (Tech.), (Ukraine) recommended this article to be published

Received: June 15, 2015

Accepted: Aug. 14, 2015

УДК 625.745.2.03-408.8:624.014.046.2

Й. Й. ЛУЧКО^{1*}, В. В. КОВАЛЬЧУК^{2*}, О. С. НАБОЧЕНКО^{3*}

^{1*}Каф. «Рухомий склад і колія», Львівська філія Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. І. Блажкевич, 12а, Львів, Україна, 79052, тел. +38 (097) 033 18 36, ел. пошта kovalchuk.diit@mail.ru, ORCID 0000-0002-3675-0503

^{2*}Каф. «Рухомий склад і колія», Львівська філія Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. І. Блажкевич, 12а, Львів, Україна, 79052, тел. +38 (097) 223 72 43, ел. пошта kovalchuk.diit@mail.ru, ORCID 0000-0003-4350-1756

^{3*}Каф. «Рухомий склад і колія», Львівська філія Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. І. Блажкевич, 12а, Львів, Україна, 79052, тел. +38 (067) 451 55 93, ел. пошта olganabochenko@mail.ru, ORCID 0000-0001-6048-2556

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ МЕТАЛЕВОЇ ГОФРОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ЗА КРИТЕРІЄМ РОЗВИТКУ ПЛАСТИЧНОГО ШАРНІРУ

Мета. Дане дослідження спрямоване на: 1) проведення розрахунку еквівалентних сил, які виникають від рухомого складу залізниць у зимовий та літній періоди року при різних параметрах нерівностей залізничної колії та модуля пружності підрейкової основи; 2) дослідження несучої здатності металевої гофрованої конструкції (МГК) за показником розвитку пластичного шарніру у вершині металевої труби внаслідок отримання незворотних залишкових деформацій вертикального та горизонтального діаметрів труби.

Методика. Розрахунок еквівалентних сил проведений за методикою розрахунку залізничної колії на міцність та стійкість. Далі було розроблено математичний алгоритм у програмному середовищі Mathcad 14, за допомогою якого проводились розрахунки утворення пластичного шарніру у вершині труби при різних величинах нерівності залізничної колії та ступеню ущільнення ґрунтової засипки. При даних дослідженнях розрахунки проводилися при проектному значенні ступеня ущільнення ґрунтової засипки та величини динамічного навантаження від рухомого складу залізниць. **Результати.** Аналіз багатоваріантних розрахунків перевірки умови виникнення пластичного шарніру у вершині склепіння труби показав, що зародження пластичного шарніру, яке має місце у склепінні МГК, виконується тільки за умовою одночасного, несприятливого впливу двох факторів (причин). Це фактори: допущення розвитку нерівності колії за межі допустимих значень без виконання заходів щодо її усунення чи обмеження швидкості руху поїздів (перша причина); зниження ступеня ущільнення ґрунтової засипки нижче 90 % (друга причина). При відсутності однієї із причин зародження пластичного шарніру не відбудеться. **Наукова новизна.** Вперше досліджено несучу здатність металевої гофрованої конструкції великого діаметру (більше 6 м) при врахуванні комплексу факторів: ступеню ущільнення ґрунтової засипки, величини динамічного навантаження від рухомого складу залізниць за критерієм розвитку пластичного шарніру у металі труби при виникненні залишкових незворотних деформацій вертикального та горизонтального діаметрів МГК. **Практична значимість.** Отримані авторами результати несучої здатності металевих гофрованих конструкцій (типу горизонтальний еліпс поперечного перетину) можуть бути використані інженерами Мостовипробувальних станцій Укрзалізниці та Укравтодору й проектними організаціями, які займаються проектуванням металевих гофрованих конструкцій діаметром, більшим за 6 м.

Ключові слова: металеві гофровані конструкції; залишкові деформації; еквівалентні сили; пластичний шарнір; напруження

Вступ

Металеві гофровані конструкції (МГК) в останні два-три десятиліття набули широкого розповсюдження у всьому світі через їх високу ефективність застосування. Ці споруди поступово адаптуються у транспортне будівництво і України. Такі конструкції використані під час

будівництва транспортних розв'язок та перепуску водотоків в АР Крим на автомобільній дорозі Київ – Одеса, Харків – Сімферополь [7, 8], на залізниці споруджено МГК на дільниці Вадул-Сирет – Держкордон [2, 4, 10].

Під час спостереження за поведінкою металевої гофрованої труби у процесі експлуатації [4] виявилось, що вони мають незату-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

хаючий характер. Так, аналіз інтенсивності накопичення залишкових деформацій за один рік служби металеві гофрованої труби показав, що відносні деформації труби не збільшуються, а поступово зменшуються. Графік залишкових вертикальних та горизонтальних деформацій із окресленням граничної (допустимої) величини цього значення наведено на рис. 1.

Мета

Метою роботи є оцінка несучої здатності металеві гофрованої конструкції за показником утворення пластичного шарніру у вершині металеві труби при виникненні незворотних залишкових деформацій вертикального та горизонтального діаметрів МГК у момент експлуатації.

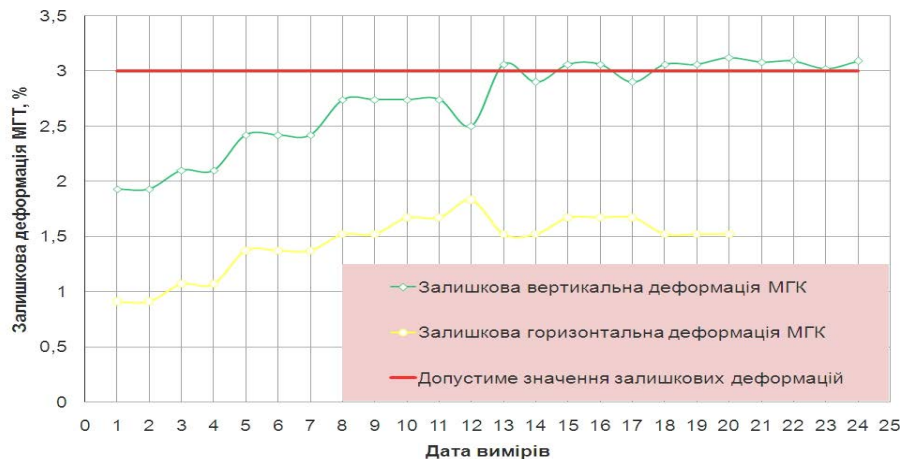


Рис. 1. Графік накопичення залишкових деформацій металеві гофрованої труби в період експлуатації

Fig. 1. Accumulation graph of residual deformation of the metal corrugated pipes during the operation

Аналіз досліджень та публікацій. Досвід застосування металевих гофрованих конструкцій показує, що значний вплив на їх напружено-деформований стан має ступінь ущільнення ґрунтової засипки [12, 14–19, 21]. Рекомендоване значення ступеня ущільнення повинно знаходитися у межах 0,95–0,97 (ступінь ущільнення визначений за методом Проктора [9, 18]). У роботі [16] зазначено, що зниження ступеня ущільнення ґрунту з 0,95 до 0,8 призводить до зменшення модуля деформації ґрунту у 4 рази, що, у свою чергу, спричиняє значне зростання у стінках конструкції напружень і деформацій.

Здійснення багаторічного моніторингу понад 900 об'єктів з гофрованих труб, побудованих протягом 1951–1965 рр. в штаті Огайо (США) [4], дозволило зробити такий висновок: у всіх випадках для конструкцій, які не зазнали руйнувань, великі деформації становили 22–34 %; для конструкцій, які зазнали руйнувань, такі деформації сягали 45–55 %. Дані

дослідження однозначно довели, що причиною надмірних деформацій було недостатнє ущільнення ґрунту або використання для засипки невластивого типу матеріалу. За даними [15], якщо деформації перебувають у межах 15–20 %, а висота шару над трубою більша за 1,8 м, то конструкція не вимагає для свого зміцнення додаткових заходів.

Проте у жодній із проаналізованих науково-дослідних роботах не виконувалася оцінка несучої здатності металевих гофрованих конструкцій за показником розвитку пластичного шарніру у вершині металеві труби. Тому дослідження напружено-деформованого стану металевих гофрованих конструкцій при виникненні залишкових деформацій вертикального та горизонтального діаметрів труби є актуальною задачею.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Методика

За основну умову перевірки несучої здатності металевої гофрованої конструкції вибрано перевірку розвитку пластичного шарніру у верхній частині труби. Двома основними факторами впливу на його розвиток є нерівність геометрії колії над віссю труби та ступінь ущільнення ґрунтової засипки.

Вихідні дані до розрахунку МГК за міцністю та стійкістю. З метою оцінки впливу нерівності на величину розвитку пластичного шарніру були виконані дослідження несучої здатності МГК при нерівностях геометрії колії у трьох випадках:

- у проектному стані;
- допустима нерівність згідно з діючими на залізницях України нормативними документами (тобто така нерівність, яка не потребує обмеження встановленої швидкості згідно з табл. 5 Технічних вказівок [13] та таблицею Д.8.11 Інструкції [6]);
- на момент виникнення найбільшої нерівності у профілі колії над трубою.

Приймається металева гофрована труба конструкції Multiplate MP 150 довжиною 12,69 м у формі горизонтального еліпсу (рис. 2) з такими параметрами: внутрішнім вертикальним діаметром 6,20 м, внутрішнім горизонтальним діаметром 6,57 м, довжиною хвилі 150 мм, висотою хвилі 50 мм, товщиною металевого листа 6 мм, щільністю цинкового покриття товщиною 85 мікрон (567 г/м^2), питома вага ґрунту засипки становить $\gamma = 20 \text{ кН/м}^3$; модуль деформації ґрунту засип-

ки – $E_0 = 33 \text{ МПа}$; відстань від підшви рейок до верху склепіння труби – $h = 1,88 \text{ м}$; еквівалентне навантаження, відповідно до ДБН В.2.3-14 залежно від довжини і форми лінії впливу – $q = 235,3 \text{ кН/м}$; модуль пружності сталі – $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; коефіцієнт Пуассона матеріалу споруди – $\nu = 0,25$; питома вага матеріалу МГК – $\gamma_{sh} = 145,4 \text{ кН/м}^2$; площа перерізу однієї хвилі гофри – $A = 0,757 \cdot 15 = 11,355 \text{ см}^2$; розрахунковий опір сталі за межею текучості – $R_y = 235 \text{ МПа}$; коефіцієнт умов роботи – $m = 0,9$. Розподіл навантажень по шпалах вздовж колії отримали із розрахунків колії на міцність [3].

У поздовжньому напрямку тіло труби складається з 14 кілець. Кожне кільце складається з 10 листів, які з'єднані болтами. Оголовки труби виконані за допомогою габіонів системи Террамеш. Модулі розташовуються горизонтальними ярусами. Основою для оголовок служать габіонні матраци Рено 3:2:0,23, вкладені на геотекстиль та сітку секугрід.

Висота верхового оголовка 7,5 м, висота низового оголовка 7,5 м. Довжина укріплення лівобережного укусу земляного полотна 1 м та довжина кріплення правобережного укусу земляного полотна 28 м.

Параметри нерівностей та інші вихідні дані, які були прийняті для розрахунку еквівалентних сил від локомотива 2М62 та вантажного вагона, наведені в табл. 1.

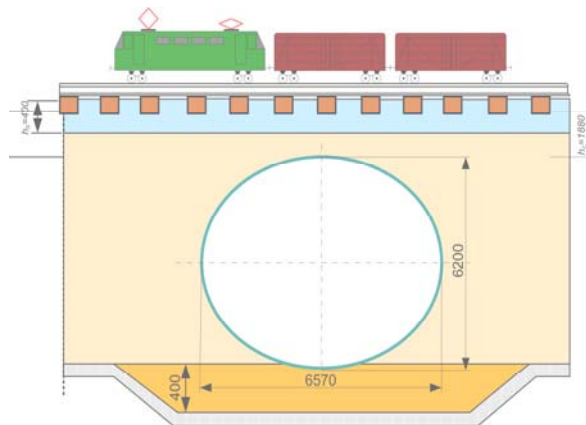


Рис. 2. Розрахункова схема задачі

Fig. 2. Calculation scheme of the task

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунку еквівалентних сил

Table 1

Initial data for calculation of equivalent forces

№ з/п	Вид вихідних даних	Розмірність	Значення
1	Локомотив	–	2М62, Вантажні напіввагони
2	Швидкість	км/год	40
3	Тип рейок	–	Р65
4	Тип шпал	–	залізобетонні
5	Рід баластної подушки	–	щебінь
6	Висота засипки	м	1,88
Параметри експлуатаційної нерівності			
7	Довжина нерівності	м	5,7
8	Глибина нерівності	мм	44,7
9	Ухил нерівності	‰	16,5
Параметри нерівності, що допускаються згідно з [10–14]			
10	Довжина нерівності	м	3
11	Глибина нерівності	мм	10
12	Ухил нерівності	‰	3,3
13	Модуль пружності підрейкової основи згідно з Правилами [3]	МПа	73,6 (літо) 92,1 (зима)
14	Відстань між осями шпал	м	0,625
15	Коефіцієнт α_0	–	0,403
16	Коефіцієнт γ	–	1,0
17	Коефіцієнт α_1	–	0,931
18	Коефіцієнт ε	–	0,332
19	Коефіцієнт β	–	0,87
20	Момент інерції рейки відносно горизонтальної осі	см ⁴	3 548
21	Момент опору рейки відносно горизонтальної осі	см ³	436
22	Опорна площа підкладки	см ²	262,5
23	Довжина шпали	см	285
24	Ширина нижньої постелі шпали	см	27,5
25	Опорна площа напівшпали	см ²	3 918,75

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Результати

Виклад основного матеріалу досліджень.
Результати розрахунків величин еквівалентних

сил від локомотива 2М62 наведені на рис. 3–4,
а від вантажного вагона – на рис. 5–6.

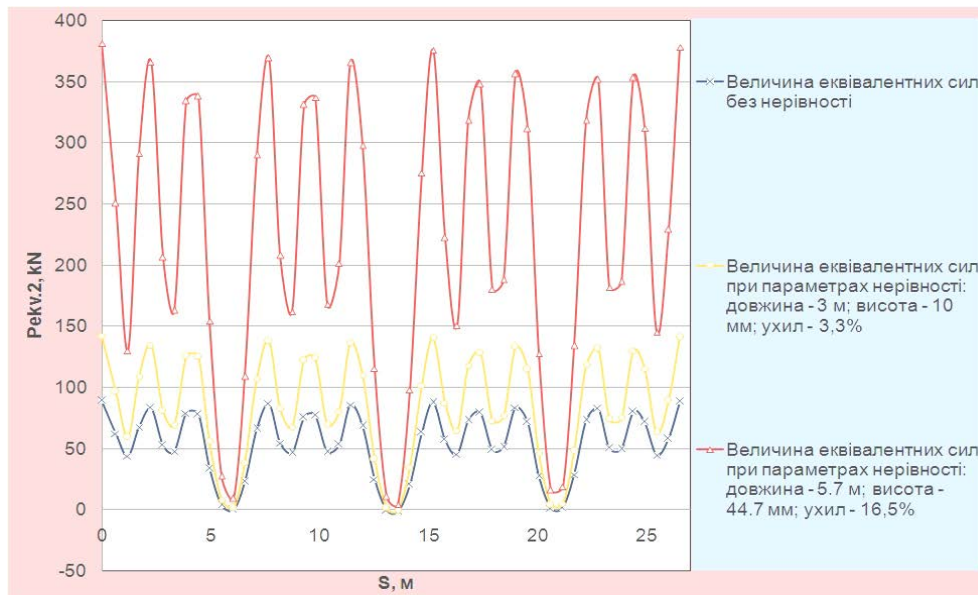


Рис. 3. Варіантний розрахунок величини еквівалентних сил від локомотива 2М62 при значенні модуля пружності підрейкової основи 73,6 МПа

Fig. 3. Variational calculation of equivalent forces from the locomotive 2M62 when the value of the modulus of elasticity of the rail base is 73,6 MPa

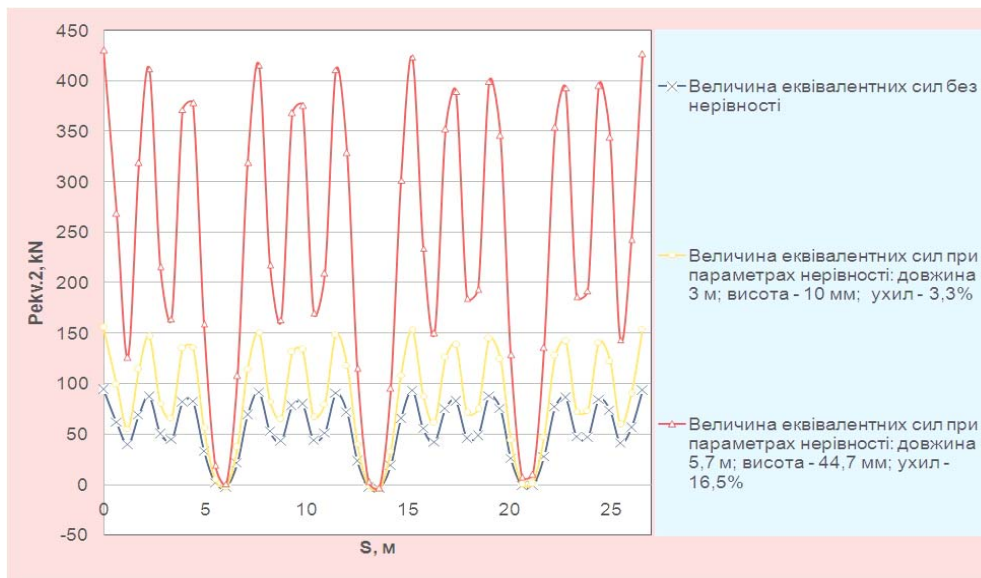


Рис. 4. Варіантний розрахунок величини еквівалентних сил від локомотива 2М62 при значенні модуля пружності підрейкової основи 92,1 МПа

Fig. 4. Variational calculation of equivalent forces from the locomotive 2M62 when the value of the modulus of elasticity of the rail base is 92,1 MPa

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

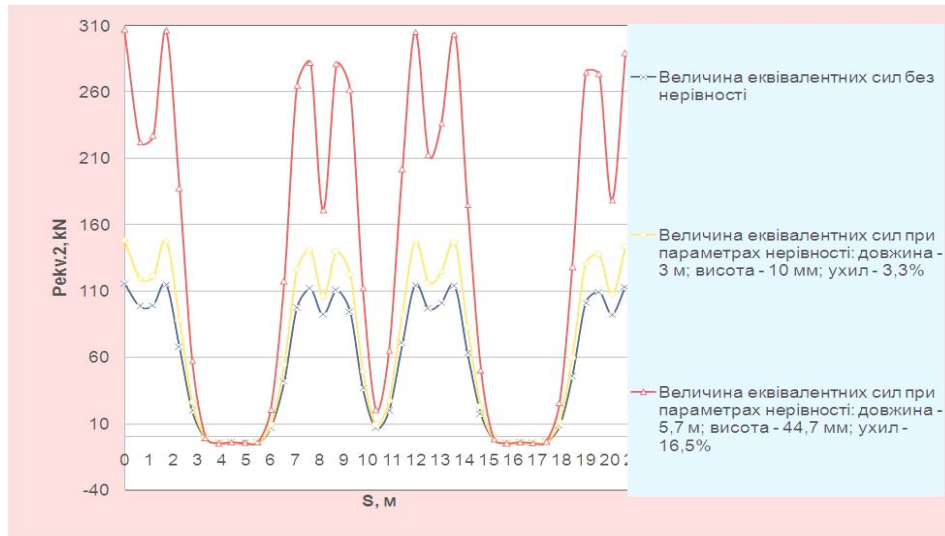


Рис. 5. Варіантний розрахунок величини еквівалентних сил від вантажного вагона при значенні модуля пружності підрейкової основи 73,6 МПа

Fig. 5. Variational calculation of equivalent forces from a freight car when the value of the modulus of elasticity of the rail base is 73,6 MPa

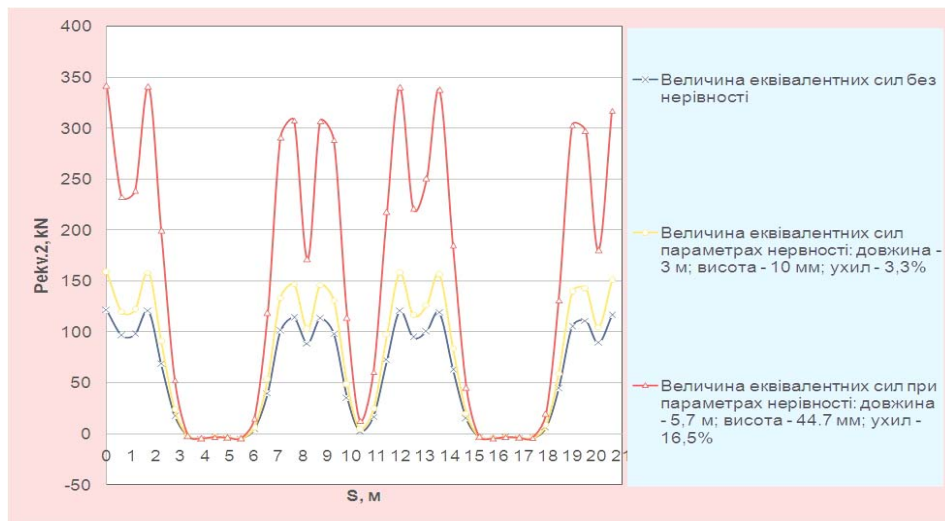


Рис. 6. Варіантний розрахунок величини еквівалентних сил від вантажного вагона при значенні модуля пружності підрейкової основи 92,1 МПа

Fig. 6. Variational calculation of equivalent forces from a freight car when the value of the modulus of elasticity of the rail base is 92,1 MPa

Оскільки розрахунок допустимих напружень та перевірка умови утворення пластичного шарніру виконується при найбільш несприятливих умовах (максимальній еквівалентній силі), тому виконуємо порівняння еквівалентних сил від локомотива 2М62 та вантажного вагона за методиками [1, 5, 11–14, 20–21]. Як

видно із рис. 3–6, величина еквівалентних сил при експлуатаційній нерівності від локомотива 2М62 є більшою, ніж від вантажного вагона, тому при розрахунку допустимих напружень та перевірці умови утворення пластичного шарніру у вершині склепіння МГК приймаємо еквівалентні сили від локомотива 2М62.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Далі виконуємо багатоваріантний розрахунок перевірки металевої гофрованої труби на утворення пластичного шарніру за отриманими значеннями еквівалентних сил від локомотива 2М62 за допомогою програмного забезпечення Mathcad. Програма для розрахунку перевірки металевої гофрованої труби на утворення пластичного шарніру розроблена відповідно до методик [3, 18].

Максимальне напруження у стінці труби розраховується за допомогою рівняння Нав'є:

$$\sigma = \frac{N_{d.s}}{A} + \frac{M_{d.s}}{W} < f_{yd}, \quad (1)$$

де $N_{d.s}, M_{d.s}$ – сили та моменти сил у стані нормальної експлуатації; A – площа поперечного перерізу та момент опору перерізу на одиницю довжини труби; f_{yd} – границя текучості сталі труби; W – момент опору одиниці довжини труби.

Проектна нормальна сила і згинальний момент розраховуються, як сума абсолютних значень максимальної нормальної сили і максимального згинального моменту, вони обчислюються окремо при навантаженні ґрунтом і рухомим навантаженням. При цьому використовуються коефіцієнти для роботи труби в стані нормальної експлуатації. Виконується перевірка забезпечення неперевищення границі текучості сталі f_{yd} у стінці верхньої частини труби впродовж експлуатаційних навантажень.

Перевірка розвитку пластичного шарніру у верхній частині труби у граничному стані виконується на максимально завантажену ділянку труби згідно з [20] за формулою:

$$\left(\frac{N_{d.u}}{\omega f_{yd} A} \right) + \left(\frac{M_{d.u}}{M_u} \right) \leq 1.0, \quad (2)$$

де $N_{d.u}, M_{d.u}$ – сили та моменти сил у стані нормальної експлуатації; A – площа поперечного перерізу та момент опору перерізу на одиницю довжини труби; M_u – допустиме значення згинального моменту для одиниці довжини профілю труби, при якому досягаються напруження текучості.

Значення у знаменнику першої складової формули (2) розраховується таким чином

$$\omega = N_{cr} / A f_{yd}, \quad (3)$$

де N_{cr} – критичне навантаження, що обчислюється, ґрунтуючись на теоріях авторів Klöppel&Glock [18], за формулою:

$$N_{cr.el} = \frac{3\xi}{\mu} \sqrt{\frac{E_{jd} (EI)_s}{R_t}}, \quad (4)$$

де E_{jd} – проектний модуль зсуву для ґрунту; $(EI)_s$ – жорсткість стінки труби на одиницю її довжини; μ – параметр, що враховує недостатній боковий опір ґрунту, якщо висота засипки над трубою є мала; розраховується за наступними формулами, які виражаються з умови зменшення модуля зсуву ґрунту:

$$\frac{E_{j.red}}{E_j} = \eta_j = 1 - \left(\frac{1}{1 + \kappa} \right)^2, \quad (5)$$

$$\mu = \left(1,22 + 1,95 \left(\frac{(EI)_s}{\eta_j E_{jd} R_t^3} \right)^{0,25} \right) \frac{1}{\sqrt{\eta_j}}. \quad (6)$$

У випадку, якщо $R_t = D/2$, ця залежність має вигляд:

$$\mu = \left(1,22 + 1,95 \left(\frac{8}{\eta_j \lambda_f} \right)^{0,25} \right) \frac{1}{\sqrt{\eta_j}}. \quad (7)$$

Параметри ξ та κ розраховуються за формулами:

$$\xi = \sqrt{\kappa} \leq 1,0, \quad (8)$$

$$\kappa = h_c / R_t. \quad (9)$$

Допустиме значення згинального моменту сил для роботи труби у граничному стані визначається за формулою:

$$M_u = Z f_{yd}, \quad (10)$$

де Z – пластичний момент опору одиниці довжини труби.

За допомогою програми Mathcad було виконано розрахунок характеристик ґрунту засипки залежно від ступеня її ущільнення. Результати розрахунків наведені у табл. 2.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Результати багатоваріантних розрахунків перевірки металевої гофрованої труби на утворення пластичного шарніру при різній величині ступеня ущільнення ґрунтової засипки, здійс-

нених за допомогою розробленої програми у програмному середовищі Mathcad, зведено в табл. 3–4.

Розрахункові характеристики ґрунтів при різних ступенях ущільнення

Таблиця 2

Design characteristics of soils at different degrees of compaction

Table 2

Характеристики ґрунтів	Ступінь ущільнення ґрунтової засипки RP, %			
	85	90	95	97
Коефіцієнт пористості e	0,425	0,40	0,329	0,30
Кут внутрішнього тертя φ , град	36	38	40	40,8
Модуль деформації E , МПа E	6,584	11,54	21,089	27,27

Таблиця 3

Перевірка умови утворення пластичного шарніра у МГК при модулі пружності підрейкової основи 73,6 МПа

Table 3

Checking the conditions of the plastic hinge formation in the MCC when the module of elasticity of the rail base is 73,6 MPa

Стан колії	Ступінь ущільнення ґрунтової засипки RP, %			
	85	90	95	97
Без нерівності (проектне положення колії)	54,555	43,906	29,677	24,186
	0,226	0,159	0,108	0,135
Нерівність з параметрами: $l = 3$ м; $h = 10$ мм; $i_{\text{нер}} = 3,3$ ‰	93,883	75,276	53,464	45,047
	0,403	0,295	0,186	0,144
Нерівність з параметрами: $l = 5,7$ м; $h = 44,7$ мм; $i_{\text{нер}} = 16,5$ ‰	270,516	216,169	160,299	138,742
	1,233	0,949	0,676	0,573

Примітка: у чисельнику наведені значення напружень, а в знаменнику – значення величини пластичного шарніру.

Таблиця 4

Перевірка умови утворення пластичного шарніра у МГК при модулі пружності підрейкової основи 92,1 МПа

Table 4

Checking the conditions of plastic hinge formation in the MCC when the module of elasticity of the rail base is 92,1 MPa

Стан колії	Ступінь ущільнення ґрунтової засипки RP, %			
	85	90	95	97
Без нерівності (проектне положення колії)	55,21	44,428	30,073	24,53
	0,229	0,161	0,107	0,134

Стан колії	Ступінь ущільнення ґрунтової засипки RP , %			
	85	90	95	97
Нерівність, з параметрами: $l = 3$ м; $h = 10$ мм; $i_{нер} = 3,3$ ‰	98,894	79,273	56,495	47,706
	0,425	0,313	0,199	0,156
Нерівність з параметрами: $l = 5,7$ м; $h = 44,7$ мм; $i_{нер} = 16,5$ ‰	295,146	235,815	175,196	151,807
	1,353	1,045	0,749	0,637

Примітка: у чисельнику наведені значення напружень, а в знаменнику – значення величини пластичного шарніра.

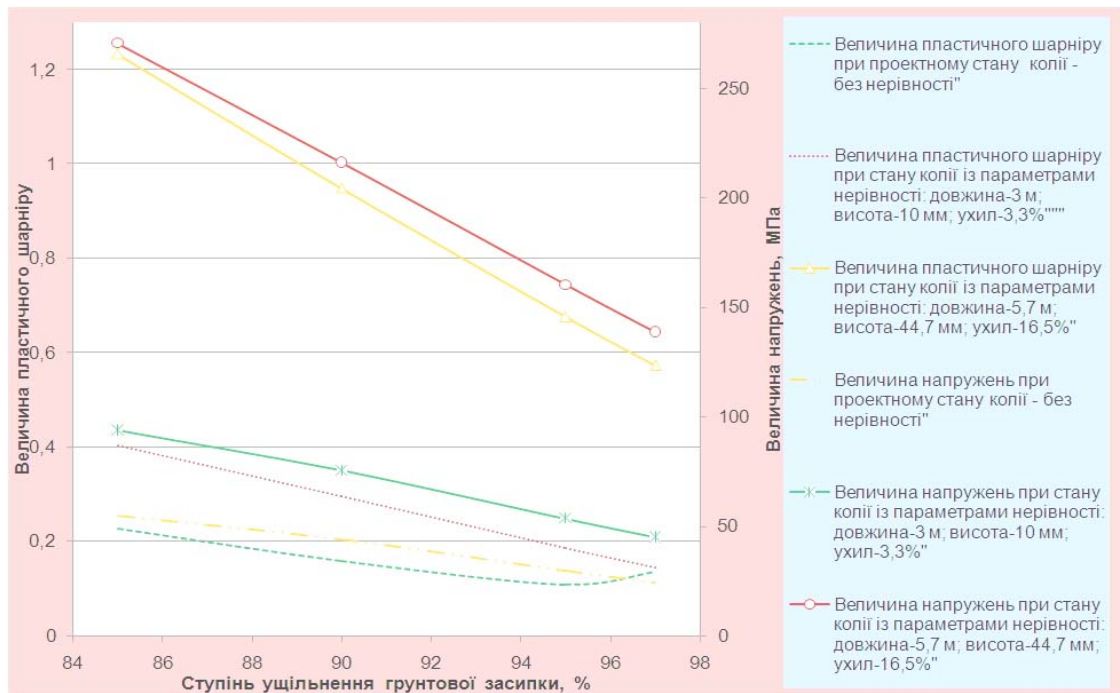


Рис. 7. Перевірка умови утворення пластичного шарніра у МГК при модулі пружності підрейкової основи 73,6 МПа

Fig. 7. Checking the conditions of plastic hinge formation in the MCC when the module of elasticity of the rail base is 73,6 MPa

Аналіз результатів багатоваріантного розрахунку напружень, що виникли у вершині склепіння МГК, показав:

1) напруження, які виникли внаслідок експлуатаційної нерівності, складають 138,742 МПа (табл. 3, рис. 8) та 151,807 МПа (табл. 4, рис. 8) при ступені ущільнення ґрунтової обійми 97 %, що є меншими за допустимі напруження 235 МПа;

2) напруження, які виникли без наявності нерівності в результаті ущільнення ґрунтової обійми 90 %, складають 43,906 МПа (табл. 3, рис. 7) та 44,428 МПа (табл. 4, рис. 8); при ступені ущільнення ґрунтової обійми 85 % – 54,555 МПа (табл. 3) та 55,21 МПа (табл. 4), є меншими за допустимі напруження 235 МПа;

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

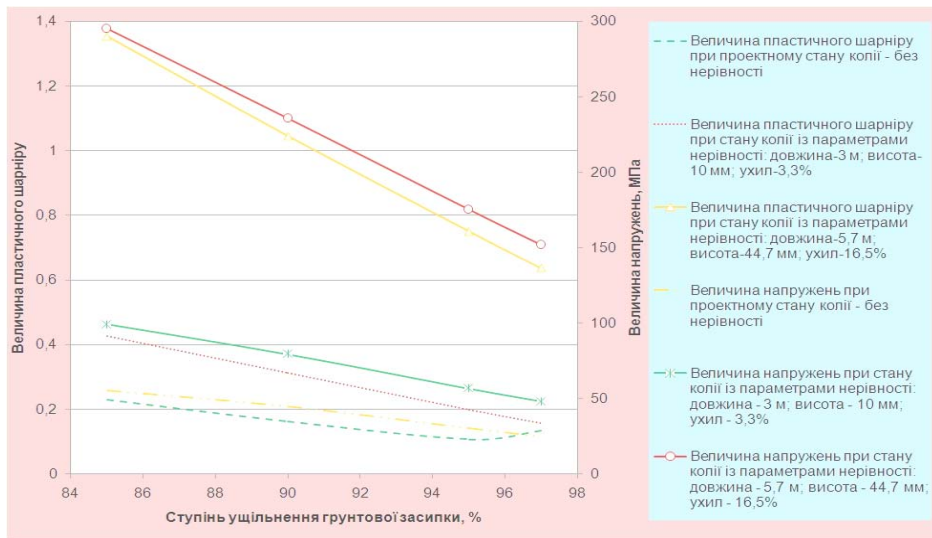


Рис. 8. Перевірка умови утворення пластичного шарніра у МГК при модулі пружності підрейкової основи 92,1 МПа

Fig. 8. Checking the conditions of plastic hinge formation in the MCC when the module of elasticity of the rail base is 92.1 MPa

3) напруження, які виникли внаслідок нерівності, яка допускається згідно з табл. 5 [13] та табл. Д.8.11 [6], складають 45,047 МПа (табл. 3, рис. 7) та 47,706 МПа (табл. 4, рис. 8), при ступені ущільнення ґрунтової обійми 97 %; 75,276 МПа (табл. 3, рис. 7) та 79,273 МПа (табл. 4, рис. 8), при ступені ущільнення 90 %; 93,883 МПа (табл. 3, рис. 8) та 98,894 МПа (табл. 4, рис. 8) при ступені ущільнення 85 %, є меншими за допустимі напруження 235 МПа;

4) напруження, які виникли при експлуатації колії з нерівністю та при ступені ущільнення ґрунтової обійми 90 %, складають 216,169 МПа (табл. 3, рис. 7), що є меншим за допустимі напруження 235 МПа та 235,815 МПа (табл. 4, рис. 8), що є більшим за допустиме напруження 235 МПа.

Перевірка умови виникнення пластичного шарніра у верхній склепіння труби при ступені ущільнення ґрунтової обійми 90 % та наявності експлуатаційної нерівності не виконується, оскільки умова виникнення пластичного шарніра є більшою за одиницю.

Розрахунок дольової частки впливу ущільнення та нерівності на розвиток пластичного шарніра в МГК. Згідно з табл. 4 при ступені ущільнення ґрунтової засипки 90 % (проектний стан залізничної колії) величина коефіцієнта пластичного шарніра дорівнює 0,161, а при ступені ущільнення ґрунтової за-

сипки 90 % і експлуатаційної нерівності складає – 1,045. Відповідно, вплив нерівності буде складати: $1,045 \cdot 0,161 = 0,884$.

При експлуатаційній нерівності та при необхідному проектному ступені ущільнення ґрунтової засипки $RP=95$ % величина коефіцієнта пластичного шарніра дорівнює 0,749. Відповідно, вплив ущільнення буде складати: $1,045 \cdot 0,749 = 0,296$.

Тоді дольова частка від впливу експлуатаційної нерівності буде становити 75 %, а від впливу ступеня ущільнення – 25 %.

Наукова новизна та практична значимість

Автором вперше виконані багатоваріантні розрахунки несучої здатності металеві гофрованої конструкції великого діаметра (більше 6 м) із врахуванням комплексу факторів – ступеня ущільнення ґрунтової засипки, величини динамічного навантаження від рухомого складу залізниць та різного значення ступеня ущільнення підрейкової основи – за критерієм розвитку пластичного шарніра у металі труби при виникненні залишкових деформацій вертикального та горизонтального діаметрів МГК. У результаті чого встановлено, що виникнення пластичних незворотних деформацій металеві гофрованої труби можливе тільки при одночас-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

ному впливові двох несприятливих факторів, а саме: ступеня ущільнення ґрунтової засипки та величини нерівності на залізничній колії.

Отримані результати несучої здатності металевих гофрованих конструкцій типу горизонтальний еліпс поперечного перерізу можуть бути використані інженерами Мостовипробувальних станцій Укрзалізниці та Укравтодору та проектними організаціями, які займаються проектуванням металевих гофрованих конструкцій діаметром більшим за 6 м.

Висновки

Аналіз багатоваріантних розрахунків перевірки умови виникнення пластичного шарніру у вершині склепіння труби показав, що зародження пластичного шарніру, яке має місце у склепінні МГК, виконується тільки за умови одночасного, несприятливого впливу двох факторів (причин): допущення розвитку нерівності колії за межі допустимих значень без виконання заходів щодо її усунення чи обмеження швидкості руху поїздів (перша причина); зниження ступеня ущільнення ґрунтової засипки нижче 90 % (друга причина). За відсутності однієї з причин зародження пластичного шарніру не відбудеться. Із двох причин, що мають вплив, вагомніше значення має перша причина, частка впливу якої становить 75 %, частка другої причини становить 25 %. Тому утримання колії у технічно справному стані є необхідною умовою щодо забезпечення довговічної та стабільної роботи металу гофрованих труб.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондаренко, І. О. Стосовно питань моделювання деформативної роботи елементів залізничної колії / І. О. Бондаренко // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 1 (55). – С. 78–89. doi: 10.15802/STP2015/38247.
2. Гнатюк, І. Новий «стиль» старого мосту [Електронний ресурс] / І. Гнатюк // Магістраль. – 2011. – Режим доступу : www.magistral-uz.com.ua. – Назва з екрана. – Перевірено : 4.09.2015.
3. Даніленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість : ЦП-0117 / Е. І. Даніленко, В. В. Рибкін. – Київ : Транспорт України, 2006. – 168 с.
4. Дослідження напружено-деформованого стану металевих гофрованих конструкцій при взаємодії з ґрунтом засипки / Б. М. Стасюк, В. З. Станкевич, В. В. Ковальчук, Й. Й. Лучко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 5. – С. 105–112.
5. Железнодорожный путь / Т. Г. Яковлева, Н. И. Карпущенко, С. И. Клинов [и др.]. – Москва : Транспорт, 1999. – 405 с.
6. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України : ЦП 0138 / Е. І. Даніленко, В. О. Яковлев, А. М. Орловський [та ін.] : затв. наказом Укрзалізниці від 22 грудня 2005 р. № 427-Ц. – Київ : Транспорт України, 2006. – 336 с.
7. Коваль, П. М. Нормування при проектуванні і будівництві споруд з металевих гофрованих конструкцій / П. М. Коваль, І. П. Бабяк, Т. М. Сітдикова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 33. – С. 114–117.
8. Ковальчук, В. В. Дослідження температурного поля та напруженого стану металевих гофрованих труб / В. В. Ковальчук // Ресурсо-економічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. – Рівне, 2014. – № 29. – С. 186–192.
9. Лучко, Й. Й. Ґрунтознавство, механіка ґрунтів, основи та фундаменти / Й. Й. Лучко. – Львів : Каменяр, 2013. – 320 с.
10. Пат. № 93604 Україна, МПК G 01 B 5/30, E 04 B 1/00. Пристрій для вимірювання та оцінки напружено-деформованих транспортних споруд при змінних температурах і статичних та динамічних навантаженнях / Ковальчук В. В. – № u2014 04271 ; заяв. 22.04.2014 р. ; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 19. – 4 с.
11. Петренко, В. Д. Порівняльний аналіз розрахункових моделей залізничного земляного полотна / В. Д. Петренко, Д. О. Ямпольський, І. О. Святко // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 4 (46). – С. 56–62. doi: 10.15802/stp2013-16619.
12. Правила технічної експлуатації залізниць України. – Київ : Поліграфсервіс, 2002. – 133 с.
13. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії : ЦП 0020. – Київ : Укрзалізниця, 2005. – 48 с.
14. Barbato, M. Performance evaluation of buried pipe installation / M. Barbato, M. Bowman,

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

- A. Herbin. – Louisiana : Louisiana State University Publ., 2010. – 123 p.
15. Elshimi, T. M. Three-dimensional nonlinear analysis of deep-corrugated steel culverts / T. M. Elshimi. – Kingston, Ontario, Canada : Queen's University Publ., 2011. – 738 p.
 16. Machelski, Cz. Kinematic method for determining influence function of internal forces in the steel shell of soil-steel bridge / Cz. Machelski // *Studia Geotechnica et Mechanica*. – 2010. – Vol. XXXII, № 3. – P. 28–40.
 17. Machelski, Cz. Modelowanie mostowych konstrukcji gruntowo-powlokowych / Cz. Machelski. – Wrocław : Dolnoslaskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2008. – 208 p.
 18. Pettersson, L. Design of soil steel composite bridges / L. Pettersson, H. Sundquist. – Sweden : Structural Desing and Bridges, 2007. – 122 p.
 19. Saat, M. R. Generalized railway tank car safety design optimization for hazardous materials transport: Addressing the trade-off between transportation efficiency and safety / M. R. Saat, C. P. L. Barkan // *J. of Hazardous Materials*. – 2011. – № 189 (1–2). – P. 62–68. doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.01.136.
 20. Scientific evidence for walls fastening technologies of working trench by the special method «Slurry wall» for shallow subway's stations / S. V. Borchevskiy, V. D. Petrenko, O. L. Tiutkin [et al.] // *Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту. залізн. трансп.* – 2014. – № 6 (54). – С. 154–163. doi: 10.15802/stp2014/33740.
 21. Weltshev, M. Comparison of the operating life of tank containers, tank vehicles and rail tank cars for the carriage of dangerous goods in practice, analysis of causes of damage / M. Weltshev, S. Schwarzer, F. Otremba // *Chemical Engineering Transactions*. – 2013. – № 31. – P. 559–564. doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.01.13610.3303/CET1331094.

И. И. ЛУЧКО^{1*}, В. В. КОВАЛЬЧУК^{2*}, О. С. НАБОЧЕНКО^{3*}

^{1*}Каф. «Подвижной состав и путь», Львовський філіал Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. И. Блажкевич, 12а, Львов, Україна, 79052, тел. +38 (097) 033 18 36, ел. пошта kovalchuk.diit@mail.ru, ORCID 0000-0002-3675-0503

^{2*}Каф. «Подвижной состав и путь», Львовський філіал Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. И. Блажкевич, 12а, Львов, Україна, 79052, тел. +38 (097) 223 72 43, ел. пошта kovalchuk.diit@mail.ru, ORCID 0000-0003-4350-1756

^{3*}Каф. «Подвижной состав и путь», Львовський філіал Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. И. Блажкевич, 12а, Львов, Україна, 79052, тел. +38 (067) 451 55 93, ел. пошта olganabochenko@mail.ru, ORCID 0000-0001-6048-2556

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ГОФРИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ПО КРИТЕРИЮ ОБРАЗОВАНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО ШАРНИРА

Цель. Данное исследование направлено на: 1) проведение расчета эквивалентных сил, возникающих от подвижного состава железных дорог в зимний и летний периоды года при различных параметрах неровностей железнодорожного пути; 2) исследование несущей способности металлической гофрированной конструкции (МГК) по показателю развития пластического шарнира в вершине металлической трубы вследствие получения необратимых остаточных деформаций вертикального и горизонтального диаметров трубы. **Методика.** Расчет эквивалентных сил проведен по методике расчета железнодорожного пути на прочность и устойчивость. Далее был разработан математический алгоритм в программной среде Mathcad 14, с помощью которого проводились расчеты образования пластического шарнира в вершине трубы при различных величинах неровности железнодорожного пути и степени уплотнения грунтовой засыпки. При данных исследованиях расчеты проводились при проектном значении степени уплотнения грунтовой засыпки и величины динамической нагрузки от подвижного состава железных дорог. **Результаты.** Анализ многовариантных расчетов проверки условия возникновения пластического шарнира в вершине свода трубы показал, что зарождение пластического шарнира, которое имеет место в своде МГК, проявляется только при условии одновременного, неблагоприятного влияния двух факторов (причин). Это факторы: допущение развития неровности пути за пределы допустимых значений без выполнения мероприятий по ее устранению или ограничению скорости движения поездов (первая причина); снижение степени уплотнения грунтовой засыпки ниже 90 % (вторая причина). При отсутствии одной из причин зарождения пластического шарнира не произойдет. **Научная новизна.** Впервые исследована несущая способность металлической гофрированной кон-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

струкції більшого діаметра (більше 6 м) з урахуванням комплексу факторів: ступеня ущільнення ґрунтової за-сыпки, величини динамічної навантаження від рухомого складу залізничних доріг за критерієм розвитку пластичного шарнира в металевій трубі при виникненні остаточних деформацій вертикального і горизонтального діаметрів МГК. **Практична значимість.** Отримані авторами результати несущої спроможності металевих гофрованих конструкцій (типа горизонтальний еліпс поперечного сечення) можуть бути використані інженерами Мостоиспытательних станцій Укрзалізничці, Укравтодора і проектними організаціями, які займаються проектуванням металевих гофрованих конструкцій діаметром більше 6 м.

Ключові слова: металеві гофровані конструкції; еквівалентні сили; пластичний шарнир; напруження

Y. Y. LUCHKO^{1*}, V. V. KOVALCHUK^{2*}, O. S. NABOCHENKO^{3*}

^{1*}Dep. «Rolling Stock and Track», Lviv branch of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, I. Blazhkevych St., 12a, Lviv, Ukraine, 79052, tel. +38 (097) 033 18 36 e-mail kovalchuk.diit@mail.ru, ORCID 0000-0002-3675-0503

^{2*}Dep. «Rolling Stock and Track», Lviv branch of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, I. Blazhkevych St., 12a, Lviv, Ukraine, 79052, tel. +38 (097) 223 72 43, e-mail kovalchuk.diit@mail.ru, ORCID 0000-0003-4350-1756

^{3*}Dep. «Rolling Stock and Track», Lviv branch of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, I. Blazhkevych St., 12a, Lviv, Ukraine, 79052, tel. +38 (067) 451 55 93, e-mail olganabochenko@mail.ru, ORCID 0000-0001-6048-2556

STUDY OF CARRYING CAPACITY OF A CORRUGATED METAL CONSTRUCTION BY CRITERION OF YIELD HINGE DEVELOPMENT

Purpose. This research is aimed to: 1) calculation of equivalent forces caused by rolling stock in winter and summer seasons at different parameters of the irregularities of railway track; 2) research of bearing capacity of corrugated metal constructions (CMC) in terms of development of plastic hinge in the top of the metal pipe due to irreversible residual deformation of the vertical and horizontal diameters of the pipe. **Methodology.** The calculation of equivalent forces is carried out according to the method of calculating the railway track on strength and stability. Further a mathematical algorithm was developed in the software environment of Mathcad 14, with which the calculations were made about the formation of a plastic hinge at the top of the pipe for different values of the irregularities of the railway track and the degree of compaction of soil backfill. In these studies, the calculations were carried out at the design value of the compaction degree of soil backfill and magnitude of dynamic loading on railway rolling stock. **Findings.** Analysis of multivariate calculations of testing the condition of occurrence of plastic hinge at the top of the pipe arch has revealed that the first plastic hinge, which occurs in the set of CMC is revealed only when there is a simultaneous unfavorable influence of two factors (causes). These are the factors: the assumption of the development of the track irregularities out of the allowable values without the implementation of measures to eliminate or limit the speed of trains (the first cause); reduction of compaction of soil backfill below the 90 % (the second cause). In case of absence of one of the causes the origin of the plastic hinge will not happen. **Originality.** It was the first time, when the bearing capacity of corrugated metal construction with large diameter (more than 6 m) with account of factors complex: the degree of compaction of soil backfill, the magnitude of the dynamic loads from rolling stock by the criterion of plastic hinge development in the metal pipe when the occurrence of residual deformations of the vertical and horizontal diameters of the CMC was investigated. **Practical value.** The obtained results of the bearing capacity of corrugated metal constructions (like horizontal ellipse of cross-section) can be used by engineers of Bridge building stations of Ukrzaliznytsia, Ukravtodor and design organizations, which are engaged in the design of corrugated metal constructions with a diameter of more than 6 m.

Keywords: corrugated metal construction; equivalent forces; plastic hinge; tension

REFERENCES

1. Bondarenko I.O. Stosovno pytan modeliuвання deformatyvnoi roboty elementiv zaliznychnoi kolii [To the modeling issues of life cycle of deformation work of the railway track elements]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport*

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

- Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2015, no. 1 (55), pp. 78-89. doi: 10.15802/STP2015/38247.
2. Hnatiuk I. Novyi «styl» staroho mostu [New «style» of the old bridge]. *Mahistral – Main Line*, 2011. Available at: www.magistral-uz.com.ua (Accessed 4 September 2015).
 3. Danilenko E.I., Rybkin V.V. *Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist i stiikist. TsP-0117* [Rules of calculations of the railway track strength and stability. TsP-0117]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2006. 168 p.
 4. Stasiuk B.M., Stankevych V.Z., Kovalchuk V.V., Luchko Y.Y. Doslidzhennia napruzhenno-deformovanoho stanu metalevykh hofrovanykh konstruksii pry vzaemodii z hruntom zasypky [Investigation of the stress-strain state of metallic corrugated structures in the interaction with the backfill soil]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnogo universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana: Mosty i tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka* [Proc. of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan: Bridges and Tunnels: theory, research, practice]. Dnipropetrovsk, 2014, issue 5, pp.105-112.
 5. Yakovleva T.G., Karpushchenko N.I., Klinov S.I. *Zheleznodorozhnyi put* [Railway track]. Moscow, Transport Publ., 1999. 405 p.
 6. Danilenko E.I., Yakovliev V.O., Orlovskiy A.M. *Instruktsiia z ulashtuvannia ta utrymannia kolii zaliznyts Ukrainy. TsP 0138* [Manual for installation and maintenance of the tracks of the Railways of Ukraine. TsP 0138]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2006. 336 p.
 7. Koval P.M., Babiak I.P., Sitdykova T.M. Normuvannia pry proektuvanni i budivnytstvi sporud z metalevykh hofrovanykh konstruksii [Normalization of the design and construction of buildings of corrugated metal structures]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnogo universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan]. Dnipropetrovsk, 2010, issue 33, pp. 114-117.
 8. Kovalchuk V.V. Doslidzhennia temperaturnoho polia ta napruzhenoho stanu metalevykh hofrovanykh trub [Research of the temperature fields and stressed state of metal corrugated pipe] *Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy: zbirnyk naukovykh prats* [Resource-saving materials, constructions, buildings and structures: Proc.]. Rivne, 2014, no. 29, pp. 186-192.
 9. Luchko Y.Y. *Gruntoznavstvo, mekhanika gruntiv, osnovy ta fundamenty* [Soil science, soil mechanics, bases and foundations]. Lviv, Kameniar Publ., 2013. 320 p.
 10. Kovalchuk V.V. Prystrij dlia vymiriuvannia ta otsinky napruzhenno-deformovanoho transportnykh sporud pry zminnykh temperaturakh i statychnykh ta dynamichnykh navantazhenniakh [The device for measurement and evaluation of stress-strain transport facilities at variable temperatures and static and dynamic loads]. Patent UA, no. u2014 04271.
 11. Petrenko V.D., Yampolskyi D.O., Sviatko I.O. Porivnialnyi analiz rozrakhunkovykh modelei zaliznychnoho zemlianoho polotna [Comparative analysis of calculation models of the railway subgrades]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnogo universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 4 (46), pp. 56-62. doi: 10.15802/stp2013/16619.
 12. *Pravyla tekhnichnoi ekspluatatsii zaliznyts Ukrainy* [Rules of technical operation of Ukrainian Railways]. Kyiv, Polihrafservis Publ., 2002. 133 p.
 13. Tekhnichni vkazivky shchodo otsinky stanu reikovo kolii za pokaznykamy kolievymiriuvannykh vahoniv ta zabezpechennia bezpeky rukhu poizdiv pry vidstupakh vid norm utrymannia reikovo kolii. TsP 0020. [Technical guidelines for assessment of rail track on track measuring cars and to ensure of traffic safety during the retreat from the norms of railway track maintenance. TsP 0020]. Kyiv, Ukrzaliznytsia Publ., 2005. 48 p.
 14. Barbato M., Bowman M., Herbin A. Performance evaluation of buried pipe installation. Louisiana, Louisiana State University Publ., 2010. 123 p.
 15. Elshimi T.M. Three-dimensional nonlinear analysis of deep-corrugated steel culverts. Kingston, Ontario, Canada, Queen's University Publ., 2011. 738 p.
 16. Machelski Cz. Kinematic method for determining influence function of internal forces in the steel shell of soil-steel bridge. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 2010, vol. XXXII, no. 3, pp. 28-40.
 17. Machelski Cz. Modelowanie mostowych konstrukcji gruntowo-powlokowych. Wrocław, Dolnoslaskie Wydawnictwo Edukacyjne Publ., 2008. 208 p.
 18. Pettersson L., Sundquist H. Design of soil steel composite bridges. Sweden, Structural Desing and Bridges Publ., 2007. 122 p.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

19. Saat M.R., Barkan C.P.L. Generalized railway tank car safety design optimization for hazardous materials transport: Addressing the trade-off between transportation efficiency and safety. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, no. 189 (1-2), pp. 62-68. doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.01.136.
20. Borchevskiy S.V., Petrenko V.D., Tiutkin O.L. Kulazhenko Ye.Yu., Kulazhenko O.M. Scientific evidence for walls fastening technologies of working trench by the special method «Slurry wall» for shallow subways' stations. *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. 154-163. doi: 10.15802/stp2014/33740.
21. Weltshev M., Schwarzer S., Otremba F. Comparison of the operating life of tank containers, tank vehicles and rail tank cars for the carriage of dangerous goods in practice, analysis of causes of damage. *Chemical Engineering Transactions*, 2013, no. 31, pp. 559-564. doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.01.13610.3303/CET1331094.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. О. І. Балицьким (Україна); д.фіз.-мат.н., проф. М. І. Стоділкою (Україна)

Надійшла до редакції: 18.08.2015

Прийнята до друку: 20.10.2015

UDC 666.97.033.3O. M. PSHINKO^{1*}, A. V. KRASNYUK^{2*}, O. V. HROMOVA^{3*}

^{1*}Dep. «Project Management, Buildings 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@mail.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1598-2970

^{2*}Dep. «Graphics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 38, e-mail Krasnyuk@mail.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1400-9992

^{3*}Dep. «Project Management, 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 Gromova_EV@i.ua, ORCID 0000-0002-5149-4165

HYDRAULIC CONCRETE COMPOSITION AND PROPERTIES CONTROL SYSTEM

Purpose. Scientific work aims at the development and testing of information system to meet the challenges of concrete composition design and control (for railway structures and buildings) based on the physico-analytical method algorithm for hydraulic concrete composition calculation. **Methodology.** The proposed algorithm of hydraulic concrete composition calculation is based on the physicochemical mechanics and in particular on the rheology of elastic–viscous–plastic bodies. The system of canonical equations consists of the equations for concrete strength, absolute volume, concrete mix consistency as well as the equation for optimal concrete saturation with aggregates while minimizing cement content. The joint solution of these four equations related to composition allows determining for the materials the concrete composition of required strength, concrete workability with minimum cement content. The procedure for calculation of hydraulic concrete composition according to the physico-analytical method consists of two parts: 1) physical, which is laboratory testing of concrete mix components in different concrete compositions; 2) analytical, which represents the calculation algorithm for concrete compositions equivalent in concrete strength and workability that comply with the specific conditions of concrete placing. **Findings.** To solve the problem of designing the concrete composition with the desired properties for railway structures and buildings it was proposed to use the information technology in the form of a developed computer program whose algorithm includes the physico-analytical method for hydraulic concrete composition determination. **Originality.** The developed concrete composition design method takes into account the basic properties of raw materials, concrete mix and concrete, which are pre-determined. The distinctive feature of physico-analytical method is obtaining of a set of equivalent compositions with a certain concrete mix consistency and required concrete strength, which allows to optimize the concrete composition by any optimality criterion, depending on the operation conditions. **Practical value.** Using the developed method will expand its functionality when applied in the form of the composition calculation computer program for the construction and repair of surface and underwater structures. The use of physico-analytical method at production site will simultaneously solve the economic problems of construction and maintenance cost reduction, component saving and ensure obtaining the concrete with the set properties for specific operation conditions of transport engineering structures.

Keywords: concrete composition; physico-analytical method; hydraulic concrete

Introduction

Over recent years there is the tendency to modernize the transport system of Ukraine, in particular the railway network, and therefore consumption and operational requirements for transport infrastructure have increased, resulting in extending use of modern high-quality construction and repair materials, the most popular of which is concrete. The concrete constructions of artificial

transport structures face new higher requirements connected with increased train speed, district electrification, introduction of new permanent way designs, new technologies of structure and building erection, the need to save energy and material resources in structure fabrication.

The modern manufacturing process of concrete, concrete products and structures is characterized by expanded application field and therefore varies due to different requirements for concrete mix and

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

concrete. The operational feature of transport facilities is constant or periodic contact with aqueous environment. Therefore these facilities require the special concrete type – hydraulic concrete, characterized by a set of properties to ensure concrete stability in specific conditions.

Concrete for hydraulic and transport facilities should provide reliable, durable and safe operation of buildings and structures in aquatic environment, and therefore should be characterized by complex of technological and operational properties such as workability, viability, connectivity, density, strength, water resistance, frost resistance, waterproofing, mechanical crack resistance, low cement heat liberation (only for massive structures), corrosion resistance, etc. These requirements are achieved by the correct concrete composition analysis.

Making concrete, whose properties comply with the project requirements, is a complex multistage process, each stage of which forms the final quality. The most important step that forms the design properties of concrete and allows adjustments for changes in the properties aimed to obtain a quality product is the concrete composition design – an important technological task accounting for the success of all the following stages. Today the information management systems are successfully used to solve this task. However, the existing systems do not take into account a set of specific requirements for concrete of hydraulic and transport structures and buildings; hence development of such a system is an actual scientific problem.

Purpose

The purpose is the development and testing of information system to meet the challenges of concrete composition design and management for engineering transport structures based on the physico-analytical method algorithm for hydraulic concrete composition calculation.

Previous studies analysis

Determination of the rational material content in the concrete mix to achieve the project properties, as a crucial stage of hydraulic concrete technology, has been constantly within the field of leading specialists' interest. Full attention is given

to the problem of concrete composition design in scientific, industrial and educational publications [1...15] at the domestic and foreign conferences and seminars. On the one hand, it confirms the relevance of the problem, on the other hand, the existence of a number of outstanding issues in the concrete design methodology, as well as expanded application of concrete for special construction.

However, the complexity of multi-component concrete structure led to empirical nature of the known methods of concrete proportioning.

Today there is a significant amount of methods for concrete component calculation, but they are distinguished by numerous factors and amendments, herewith only one concrete composition is obtained that meets the specified requirements [2, 5, 6, 11]. The main drawback of these methods is their isolation from the basic sciences, and therefore unilateral account of the raw material properties. Instead, the proposed method considers the concrete composition determination based on physically reasonable theory of the composition of concrete mix and concrete, developed by prof. Punahin V. M. and for hydraulic concrete by prof. Pshinko O. M. [10].

To reduce the cement content and thus heat liberation and cubic deformation while maintaining the required concrete consistency and density there are used chemical and mineral supplements that allow to increase remarkably the composition effectiveness, to achieve significant changes of certain properties and so on.

The properties of the concrete mix and concrete, particularly workability, non-segregation, fluidity, strength, frost resistance, thermal crack resistance, non-pressure water penetration depend on the structural characteristics of each level of the structure, i.e. the quality of primary components and their physical and mechanical characteristics, coarse aggregate spreading factor in cement-sand mortar, fine aggregate spreading factor in cement paste (gravel), water-cement ratio, crystalline and gel hydration products ratio.

The physico-analytical method for hydraulic concrete composition calculation [10] developed in Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after acad. V. Lazaryan is based on physical testing of concrete mix components in various concrete compositions and analytical calculation of compositions equivalent by concrete strength and workability, which meet the specific conditions of concrete placing.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

A large number of input parameters in the design of concrete (characteristics of components, characteristics of concrete mix and concrete at project stage, special properties such as frost resistance, water resistance, sulfate-, acid-resistance, etc.), the complexity of calculation methodology and the importance of immediate optimal results generate a need for the use of modern information technologies for solving the concrete design tasks, including those for hydraulic concrete.

The feasibility and relevance of the proposed approach is proved by the existence of software, both domestic [1, 4, 6, 8, 9, 7] and foreign [13-16] one, to solve such tasks, its active development and improvement, and the authors' positive experience in the development of such projects.

Methodology

The vast majority of requirements for concrete and methods of its composition design are based on the structure operation conditions. When designing concrete and reinforced concrete engineering structures it is necessary to meet the requirements relating to the their operation specificity: in the conditions of high humidity, corrosive environment, with variable temperature characteristics and so on. In this case, the basic requirements for concrete are its compressive strength, frost resistance, water resistance, crack resistance, electrocorrosion resistance.

To preserve the integrity of this system, despite the significant amount of the concrete components and the dependence of its properties on multiple input parameters, it is useful, when developing the theory of the concrete mix, to apply a systematic approach. It allows compiling and using of the available fundamental knowledge about the elastic-viscous-plastic bodies.

The developed theory is based on the physicochemical mechanics and in particular on the rheology of elastic-viscous-plastic bodies. Herewith it was able to apply a systematic approach in deriving composition equations. Furthermore the used fundamentals of basic sciences made it possible to obtain practically important, and most significantly, very simple correlations, which are easily used as for determination of concrete compositions equivalent by set properties,

and for solving the tasks of hydraulic concrete technology.

Based on the systematic approach the properties and the relationship of input elements of concrete are described. This allowed in the development process to obtain analytical correlations that express the technological properties of the concrete mix, namely its consistency as the function of composition and main component properties. The obtained correlations, expressing the general laws of the system structure, manifested themselves in all range of real components of hydraulic concrete.

It is particularly important to effectively use the developed method of concrete composition design in the integrated production management system programs for concrete works in the process of construction and repair of various transport engineering structures.

The system of canonical composition equations consists of the equations for concrete strength, absolute volume, concrete mix consistency as well as the equation for optimal concrete saturation with aggregates while minimizing cement content. Canonical equations, forming a complete system, at the same time reflect the current state of physicochemical mechanics of concrete, which allows to use them for description of the basic material properties.

The joint solution of these four equations related to composition allows determining for the materials the concrete composition of required strength, concrete workability with minimum cement content.

In practical terms it is appropriate to obtain not just one composition, but a set of equivalent compositions that for these primary materials comply with two conditions: the necessary concrete strength and the desired concrete consistency. To achieve this it is necessary to set the values of sand and cement ratio and conduct the calculation of compositions with the desired consistency and strength. The resulting compositions will include the optimal formula for cement content.

Herewith the obtained compositions, with the given project properties, are characterized by different ratios of various components and technological properties, such as non-segregation, crack resistance, etc.

This fact opens the possibility of optimizing the concrete composition by the complex of requirements that are most widely used in the

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

technology practice for construction and repair of local damage on the engineering structures.

Based on the above, the procedure for the concrete composition design according to the physico-analytical method consists of two parts:

a) physical, which is laboratory testing of concrete mix components in different concrete compositions;

b) analytical, which represents the calculation algorithm for concrete compositions equivalent in concrete strength and workability that comply with the specific conditions of concrete placing.

PC-based concrete design allows to fully automated the definition of tables determining the equivalent components of concrete on the basis of experimental data related to material, concrete mix and concrete testing. The use of PC in the concrete design process is especially effective as it gives the opportunity not only to find the right composition with a minimum content of binding substance but also to obtain the adjacent equivalent compositions, setting different sand-cement ratios. This makes it possible to optimize the composition by any optimality criterion.

The definition algorithm for the table of equivalent components is developed based on solving four concrete equations, including the correlation (1).

$$f_0 \cdot \frac{\rho}{\gamma} \cdot (1 + Y_0 \cdot \frac{\theta^*}{f_0}) \cdot (1 + Y_0 \cdot \frac{m}{f_0}) = \frac{\rho}{\gamma} \cdot (\rho + \rho_0) \quad (1)$$

This allows following the determination of the main concrete composition with binder content C_{min} , setting a certain deviation from the value x_{opt} , to build the entire table of components.

Block diagram of determining the equivalent components of concrete strength and concrete workability for machine-oriented concrete design method is shown in Fig. 1.

Concrete properties management can be realized by optimal combination of concrete composition with adding of optimum amount of superplasticizers, curing accelerators, micro-disperse network modifiers that previously had limited use for the concrete of transport structures

and facilities. The optimal amount and type of these additives can provide in due time the optimal balance between crystalhydrate and gel hydration products, the minimum capillary porosity, that is to improve operational performance and technological properties of concrete – for concrete mix [7].

The developed concrete composition determination method is added with the possibility of additive action control of superplasticizer and mikrofiller and is taken as a basis of computer program algorithm.

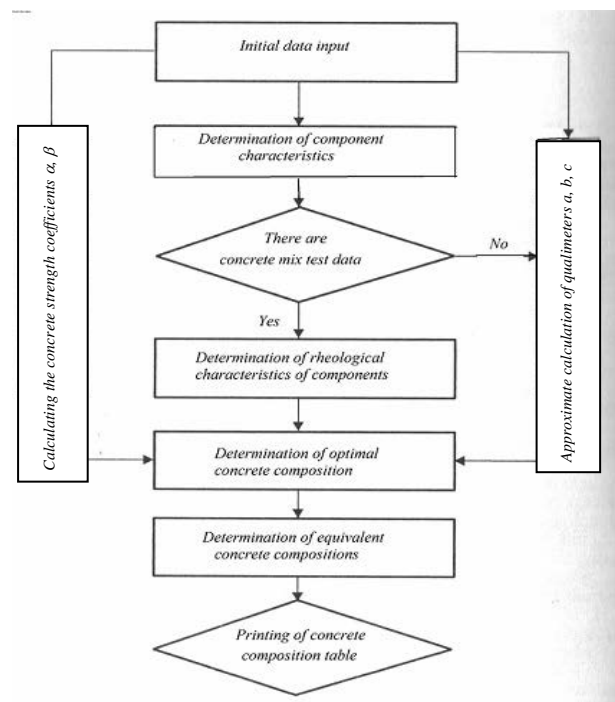


Fig. 1 Block diagram of determining the equivalent components of concrete

The developed for the software methodology of concrete composition and properties information management system has the following advantages:

- Adjustability for Windows operating system (XP or later versions);
- Availability of advanced graphical user interface (client side);
- Possibility of formation of accounting records in the form of text editors with the possibility of further editing;
- Providing affordable compact software.

Available services and functionality of the developed information system fully comply with the requirements of operational management of

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

hydraulic concrete composition and properties when used in the process of repair and construction of transport infrastructure facilities.

Fig. 2 shows a common interface of the developed software to calculate the hydraulic concrete composition table.

The computer program is adapted to implement the intellectual decision support system that allows in interactive and convenient form to solve the problem of hydraulic concrete composition design with desired properties, taking into account the characteristics of the concrete mix components.



Fig. 2 Interface of developed software

Назначение составов бетона для строительства и ремонта транспортных искусственных сооружений

Приднепровская железная дорога

Служба путевого хозяйства

Отдел искусственных сооружений

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. В. Лазаряна

Главная страница

Характеристики компонентов бетона

Вычисление кваллиметров

Данные испытаний для уточнения кваллиметров

Application of concrete compositions for construction and repair of transport engineering structures

Near-Dnipro Railway Railway Track Maintenance

Engineering Structures Department

Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after V. Lazaryan

Home page

Concrete component characteristics

Qualimeter calculation

Test data for qualimeter refinement

Вычисление коэффициентов прочности бетона

Проектные характеристики бетона

Таблица составов бетона

Нормативные документы

Concrete strength factor calculation

Design parameters of concrete

Concrete composition table

Normative documents

The program algorithm for concrete mix includes such properties as workability (a user sets cone slump or hardness), for concrete – strength in project stage, concrete component qualimeters *a*, *b*, *c*, concrete strength characteristics – coefficients *A* and *B*, as well as takes into account the types of the structure, in which the concrete will be used and the conditions of its operation.

The calculation results are submitted in a report that can be saved in several formats (*.pdf, *.doc, *.xls) or printed on the printer (Fig. 3).

Fig. 3. Example of the table of equivalent components in hydraulic concrete

Расчет составов бетонной смеси для строительства и ремонта транспортных искусственных сооружений

Исходные данные

Номер состава

Главная страница

Характеристики компонентов бетона

Вычисление кваллиметров

Calculation of concrete composition for construction and repair of transport engineering structures

Initial data

Composition №

Home page

Concrete component characteristics

Qualimeter calculation

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Данные испытаний для уточнения квалиметров	Test data for qualimeter refinement		
Вычисление коэффициентов прочности бетона	Concrete strength factor calculation		
Проектные характеристики бетона	Design parameters of concrete		
Таблица составов бетона	Concrete composition table		
Нормативные документы	Normative documents		
МПа	MPa	C , кг/м ³	C , kg/cm ³
ОК, см	CS, cm	B , кг/м ³	W , kg/cm ³
K_{II}		II , кг/м ³	S , kg/cm ³
V_p , л	V_{gr} , l	III , кг/м ³	G , kg/cm ³
$D_{нап}$		$D_{гк}$	

Findings

To solve the problem of designing the hydraulic concrete composition with the desired properties for railway structures and buildings it was proposed to use the information technology in the form of a developed computer program whose algorithm includes the physico-analytical method for hydraulic concrete composition determination.

Originality and practical value

The developed concrete composition design method takes into account the basic properties of raw materials, concrete mix and concrete. Its distinctive feature is obtaining of a set of equivalent compositions with a certain concrete mix consistency and required concrete strength. The composition calculations can be conveniently carried out using PC.

Conclusions

1. It is established that while developing the methods for determining the concrete components amount for construction and repair of transport facilities it is necessary to use an integrated approach: to take into account the quality and quantity of the concrete components with the set technological and operational characteristics of concrete mix and concrete in specific operation conditions of hydraulic and transport facilities.

2. The physico-analytical method for determining the concrete components amount for construction and repair of transport engineering structures was developed and presented. It provides preliminary laboratory tests of materials, concrete mix and concrete (physical part) and the calculation of concrete compositions, equivalent by strength and consistency of concrete mix (analytical part).

3. The integrated management system for hydraulic concrete composition and properties was developed; it is presented as the concrete component calculation software, implemented through information technology on PC.

4. Application of the developed integrated system at the production site will fully automate the definition of tables determining the equivalent components of concrete on the basis of experimental data related to material, concrete mix and concrete testing.

5. Implementation of physico-analytical method at production site will simultaneously solve the economic problems of construction and maintenance cost reduction, component saving and ensure obtaining the concrete with the set properties for specific operation conditions of transport engineering structures.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Баженов, Ю. М. Основные подходы к компьютерному материаловедению строительных композиционных материалов / Ю. М. Баженов, В. А. Воробьев, А. В. Илюхин // Строит. материалы. – 2006. – № 7. – С. 2–4.
2. Баженов, Ю. М. Способы определения состава бетона различных видов / Ю. М. Баженов. – Москва : Стройиздат, 1975. – 272 с.
3. Гныря, А. И. Технология бетонных работ в зимних условиях : учеб. пособие / А. И. Гныря, С. В. Коробков. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2011. – 412 с.
4. Громова, О. В. Основи проектування оптимальних складів бетону зі зниженим тепловиділенням / О. В. Громова // Проблеми и перспективы развития ж.-д. трансп. : тез. 74 Междунар. науч.-практ. конф. (14.05–15.05.2014) / Днепропетр. нац. ун-т жел. тр-та. – Днепропетровск, 2014. – 364 с.
5. Дворкин, О. Л. Проектирование и анализ эффективности составов бетона / Л. И. Дворкин, М. В. Горячих, В. Н. Шмигальский. – Ровно : РГТУ, 2008. – 177 с.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

6. Дворкин, Л. И. Проектирование составов бетона с заданными свойствами / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – Ровно : РГТУ, 1999. – 202 с.
7. Застосування матеріалів та добавок для модифікації технологічних і експлуатаційних властивостей ремонтних составів спеціального призначення при ремонті будівель та інженерних споруд на транспорті / О. М. Пшінько, А. В. Краснюк, О. В. Громова, В. В. Палій // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту. залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 24. – С. 134–138.
8. Латорец, Е. В. Анализ применения современных информационных технологий для решения задач производства товарного бетона / Е. В. Латорец, И. А. Михеев // Вост.-Европ. журн. передовых технологий. – 2011. – № 2/6 (50). – С. 32–34.
9. Плуґін, А. А. Інформаційна система управління складом і властивостями бетону для конструкцій і споруд залізниць / А. А. Плуґін, А. О. Калінін, Н. Д. Сізова // Вісн. Донб. акад. буд-ва та архітектури. Сучасні буд. матеріали. – Донецьк, 2014. – Вип. 1 (105). – С. 118–122.
10. Пунагін, В. М. Призначення складів гідротехнічного бетону / В. М. Пунагін, О. М. Пшінько, Н. М. Руденко. – Дніпропетровськ : Арт-Прес, 1998. – 213 с.
11. Сізова, Н. Д. Алгоритм рішення задачі проектування состава бетону методами математического планирования експеримента / Н. Д. Сізова, И. А. Михеев // Вост.-Европ. журн. передовых технологий. – 2010. – № 2/6 (44). – С. 8–10.
12. Сізов, В. П. Проектирование составов тяжелого бетона / В. П. Сізов. – Москва : Стройиздат, 1980. – 144 с.
13. Design and Control of Concrete Mixture. – Ottawa : Portland Cement Association (PCA), 1984. – 120 p.
14. Marthong, C. Effect of Fly Ash Additive on Concrete Properties / C. Marthong, T. P. Agrawal // Intern. J. of Engineering Research and Applications. – 2012. – № 2. – P. 1986–1991.
15. Raheem, A. A. Saw Dust Ash as Partial Replacement for Cement in Concrete / A. A. Raheem, B. S. Olanukanmi, C. S. Foloruso // Organization, Technology and Management in Construction : An Intern J. – 2012. – Vol. 4. – Iss. 2. – P. 474–480. doi: 10.5592/otmcj.2012.2.3 .
16. Sliwinski, J. Beton zwykly – projektowanie i podstawowe wlastiwosci / J. Sliwinski. – Krakow : Polski Cement Sp. z o.o., 1999. – 164 p.

О. М. ПШІНЬКО^{1*}, А. В. КРАСНЮК^{2*}, О. В. ГРОМОВА^{3*}

^{1*} Каф. «Управління проектами, будівлі та будівельні матеріали», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 46, ел. пошта Pshinko@mail.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1598-2970

^{2*} Каф. «Графіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 38, ел. пошта Krasnyuk@mail.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1400-9992

^{3*} Каф. «Управління проектами, будівлі та будівельні матеріали», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 46, ел. пошта Gromova_EV@i.ua, ORCID 0000-0002-5149-4165

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ СКЛАДОМ ТА ВЛАСТИВОСТЯМИ ГІДРОТЕХНІЧНОГО БЕТОНУ

Мета. Наукова робота має за мету розробку й апробацію інформаційної системи для розв'язання задач проектування та управління складом бетону (для конструкцій і споруд залізниць) на основі алгоритму фізико-аналітичного методу розрахунку складу гідротехнічного бетону. **Методика.** Запропонований алгоритм розрахунку складу гідротехнічного бетону базується на положеннях фізико-хімічної механіки та, зокрема, реології пружно-в'язко-пластичних тіл. Система канонічних рівнянь складається з рівнянь міцності бетону, абсолютних об'ємів складових, консистенції бетонної суміші та рівняння оптимального насичення бетону заповнювачами при мінімальній витраті цементу. Сумісне вирішення чотирьох перерахованих рівнянь складу дозволяє визначити для даних матеріалів склад бетону заданої міцності, необхідної легкоукладальності бетонної суміші з мінімальною витратою цементу. Порядок розрахунку складу гідротехнічного бетону за фізико-аналітичним методом поділяється на дві частини: 1) фізичну, що представляє лабораторне випробування компонентів бетонної суміші в різних складах бетонів; 2) аналітичну, яка представляє алгоритм розрахунку складів бетону, еквівалентних за міцністю бетону

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

і легкоукладальністю бетонної суміші, що відповідає конкретним умовам бетонування. **Результати.** Для розв'язання задачі проектування складу бетону із заданими властивостями для конструкцій та споруд залізниць запропоновано використання інформаційних технологій у вигляді розробленої комп'ютерної програми, в алгоритм роботи якої покладено фізико-аналітичний метод визначення складу гідротехнічного бетону. **Наукова новизна.** Розроблений метод проектування складів бетону враховує основні властивості вихідних матеріалів, бетонної суміші та бетону, які попередньо визначаються. Відмітною рисою фізико-аналітичного методу є одержання набору еквівалентних складів із заданою консистенцією бетонної суміші та потрібною міцністю бетону, що дозволяє оптимізувати склади бетону за будь-яким критерієм оптимальності в залежності від умов експлуатації. **Практична значимість.** Використання розробленого методу дозволить розширити його функціональні можливості при застосуванні у вигляді комп'ютерної програми для призначення складів для зведення та ремонту надводних і підводних споруд. Застосування фізико-аналітичного методу на виробництві дозволить одночасно вирішити економічні питання зменшення собівартості будівництва та ремонту, економію складових бетону та забезпечити отримання бетону із заданими властивостями для специфічних умов експлуатації транспортних штучних споруд.

Ключові слова: склад бетону; фізико-аналітичний метод; гідротехнічний бетон

А. Н. ПШИНЬКО^{1*}, А. В. КРАСНЮК^{2*}, О. В. ГРОМОВА^{3*}

^{1*}Каф. «Управление проектами, здания и строительные материалы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 46, эл. почта Pshinko@mail.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1598-2970

^{2*}Каф. «Графика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 46, эл. почта Krasnyuk@mail.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1400-9992

^{3*}Каф. «Управление проектами, здания и строительные материалы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 46, эл. почта Gromova_EV@i.ua, ORCID 0000-0002-5149-4165

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СОСТАВОМ И СВОЙСТВАМИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО БЕТОНА

Цель. Научная работа своей целью имеет разработку и апробацию информационной системы для решения задач проектирования и управления составом бетона (для конструкций и сооружений железных дорог) на основе алгоритма физико-аналитического метода расчета состава гидротехнического бетона. **Методика.** Предложенный алгоритм расчета состава гидротехнического бетона базируется на положениях физико-химической механики и, в частности, реологии упруго-вязко-пластических тел. Система канонических уравнений состава состоит из уравнений прочности бетона, абсолютных объемов составляющих, консистенции бетонной смеси и уравнения оптимального насыщения бетона заполнителями при минимальном расходе цемента. Совместное решение четырех перечисленных уравнений состава позволяет определить для данных материалов состав бетона заданной прочности и необходимой удобоукладываемости бетонной смеси с минимальным расходом цемента. Порядок расчета состава гидротехнического бетона по физико-аналитическому методу разделяется на две части: 1) физическую, представляющую лабораторное испытание компонентов бетонной смеси в разных составах бетонов; 2) аналитическую, которая представляет собой алгоритм расчета составов бетона, эквивалентных по прочности бетона и удобоукладываемости бетонной смеси, отвечающую конкретным условиям бетонирования. **Результаты.** Для решения задачи проектирования состава бетона с заданными свойствами для конструкций и сооружений железных дорог предложено использование информационных технологий в виде разработанной компьютерной программы, в алгоритм работы которой положен физико-аналитический метод определения составов гидротехнического бетона. **Научная новизна.** Разработанный метод проектирования составов бетона учитывает основные свойства исходных материалов, бетонной смеси и бетона, которые определяются предварительно. Отличительной особенностью физико-аналитического метода является получение набора эквивалентных составов с заданной консистенцией бетонной смеси и прочностью бетона, что позволяет оптимизировать составы бетона по любым критериям оптимальности в зависимости от условий эксплуатации. **Практическая значимость.** Использование разработанного метода позволит расширить его функциональные возможности при использовании в виде компьютерной

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

программы назначения составов для возведения и ремонта надводных и подводных сооружений. Применение физико-аналитического метода на производстве позволит одновременно решить экономические задачи уменьшения себестоимости строительства и ремонта, производить экономно составляющих бетона и обеспечить получение бетона с заданными свойствами для специфических условий эксплуатации транспортных искусственных сооружений.

Ключевые слова: состав бетона; физико-аналитический метод; гидротехнический бетон

REFERENCES

1. Bazhenov Yu.M., Vorobev V.A., Ilyukhin A.V. Osnovnyye podkhody k kompyuternomu materialovedeniyu stroitelnykh kompozitsionnykh materialov [Main approaches to computer materials of construction and composite materials]. *Stroitelnyye materialy – Nauka – Building Materials – Science*, 2006, no. 7, pp. 2-4.
2. Bazhenov Yu.M. *Sposoby opredeleniya sostava betona razlichnykh vidov* [Methods of determining the composition of various concrete types]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1975. 272 p.
3. Gnyrya A.I., Korobkov S.V. *Tekhnologiya betonnykh robot v zimnikh usloviyakh* [The technology of concrete works in winter conditions]. Tomsk, Tomskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet Publ., 2011. 412 p.
4. Hromova O.V. Osnovy proektuvannya optimalnykh skladiv betonu zi znyzhenym teplovydileniam [The basics of concrete mixtures optimal design with low heat dissipation]. *Tezisy 74 Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Problemy i perspektivy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta (14.05–15.05.2014)»* [Thesis of 74 Int. Sci.-Practical Conf. «Problems and prospects of railway transport development (14.05–15.05.2014)»]. Dnipropetrovsk, DIIT Publ., 2014. 364 p.
5. Dvorkin O.L., Goryachikh M.V., Shmigalskiy V.N. *Proyektirovaniye i analiz effektivnosti sostavov betona* [Design and analysis of the concrete composition effectiveness]. Rovno, RGTU Publ., 2008. 177 p.
6. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. *Proyektirovaniye sostavov betona s zadannymi svoystvami* [Design of concrete mixtures with desired properties]. Rovno, RGTU Publ., 1999. 202 p.
7. Pshinko O.M., Krasniuk A.V., Hromova O.V., Palii V.V. Zastosuvannya materialiv ta dobavok dlia modifikatsii tekhnologichnykh i ekspluatatsiynykh vlastyvostei remontnykh sostaviv spetsialnoho pryznachennia pry remonti budivel ta inzhenernykh sporud na transporti [The materials and additives application for the modification of technological and operational properties of repair compounds for special purposes in the repair of buildings and engineering structures on the transport]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 24, pp. 134-138.
8. Latorets Ye.V., Mikheyev I.A. Analiz primeneniya sovremennykh informatsionnykh tekhnologiy dlya resheniya zadach proizvodstva tovarnogo betona [Analysis of modern information technologies application for solving problems of concrete production]. *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy – Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 2011, no. 3/9 (45), pp. 4-6.
9. Pluhin A.A., Kalinin A.O., Sizova N.D. Informatsiina systema upravlinnia skladom i vlastyvostiamy betonu dlia konstruktsii i sporud zaliznyts [Management information system composition and properties of concrete for structures and buildings of railways]. *Visnyk Donbaskoi akademii budivnytstva ta arkhitektury. Suchasni budivelni materialy* [Bulletin of Donbass Academy of Civil Engineering and Architecture. Modern Building Materials], 2014, issue 1 (105), pp. 118-122.
10. Punahin V.M., Pshinko O.M., Rudenko N.M. *Pryznachennia skladiv hidrotekhnichnogo betonu* [The purpose of hydraulic concrete structures]. Dnipropetrovsk, Art–Press Publ., 1998. 213 p.
11. Sizova N.D., Mikheyev I.A. Algoritm resheniya zadachi proyektirovaniya sostava betona metodami matematicheskogo planirovaniya eksperimenta [The algorithm for solving the problem of concrete structure design by the methods of mathematical planning of the experiment]. *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy – Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 2010, no. 2/6 (44), pp. 8-10.
12. Sizov V.P. *Proyektirovaniye sostavov tyazhelogo betona* [Design of heavy concrete structures]. Moscow, Stroyisdat Publ., 1980. 144 p.
13. Design and Control of Concrete Mixture. Ottawa, Portland Cement Association (PCA) Publ., 1984. 120 p.
14. Marthong C., Agrawal T.P. Effect of Fly Ash Additive on Concrete Properties. *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 2012, no. 2, pp. 1986-1991.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

15. Raheem A.A., Olasunkanmi B.S., Folorunso C.S. Saw Dust Ash as Partial Replacement for Cement in Concrete. *Organization, Technology and Management in Construction: An Int. Journal*, 2012, vol. 4, issue 2, pp. 474-480. doi: 10.5592/otmcj.2012.2.3.
16. Sliwinski J. Beton zwykly – projektowanie i podstawowe wlasciwosci. Krakow, Polski Cement Sp. z o.o. Publ., 1999. 164 p.

Prof. M. I. Netesa., D. Sc. (Tech.), (Ukraine); Prof. S. A. Shcherbak., D. Sc. (Tech.), (Ukraine) recommended this article to be published

Received: June 15, 2015

Accepted: Aug. 14, 2015

ЗМІСТ

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

В. І. ГАВРИЛЮК, В. І. ЩЕКА, В. В. МЕЛЕШКО ВИПРОБУВАННЯ НОВИХ ТИПІВ РУХОМОГО СКЛАДУ НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНУ СУМІШНОСТЬ ІЗ ПРИСТРОЯМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ	7
---	---

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Л. В. МАРЦЕНЮК, Ю. М. ПРОСКУРНЯ РОЗВИТОК ЗАЛІЗНИЧНОГО ТУРИЗМУ В УКРАЇНІ ЯК ЗАСОБУ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОСТУПНОГО ВІДПОЧИНКУ	16
--	----

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

П. В. БЕХ, Г. І. НЕСТЕРЕНКО, С. І. МУЗИКІНА, О. В. ЛАШКОВ, М. І. МУЗИКІН ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ В СУЧАСНИХ УМОВАХ.....	25
Б. Є. БОДНАР, М. І. КАПЦА, А. М. АФАНАСОВ, Д. М. КИСЛИЙ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЗАОЩАДЖУЮЧИХ РЕЖИМІВ РОЗГОНУ ПОЇЗДІВ	40
І. В. ЖУКОВИЦЬКИЙ, І. А. КЛЮШНИК, О. Б. ОЧКАСОВ, Р. О. КОРЕНЮК ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ВИПРОБУВАННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ПЕРЕДАЧ ТЕПЛОВОЗІВ.....	53
В. П. ЛИТВИНЕНКО ФОРМАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ РОБОТИ ДИЗЕЛЯ З УРАХУВАННЯМ ОЦІНКИ ШВИДКОСТІ ПРОЦЕСІВ ЗГОРЯННЯ	66

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

І. О. БОНДАРЕНКО ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ ПРИ ДЕФОРМАТИВНІЙ РОБОТІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ	75
М. Б. КУРГАН, Д. М. КУРГАН, О. Ф. ЛУЖИЦЬКИЙ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕРІВНОСТЕЙ КОЛІЇ В МЕЖАХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕЇЗДІВ	84
С. ФІШЕР ДОСЛІДЖЕННЯ ВНУТРІШНЬОГО ОПОРУ ЗСУВУ ГЕОРЕШІТОК, ЯКІ ВКЛАДЕНІ ПІД БАЛАСТНИЙ ШАР ДЛЯ ЙОГО ЗАХИСТУ	97

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

І. О. ВАКУЛЕНКО, А. Г. ЛІСНЯК, О. М. ПЕРКОВ, СЮ СЯ ХАЙ ВПЛИВ ІМПУЛЬСУ НАПРУЖЕННЯ ВІД ЕЛЕКТРИЧНОГО РОЗРЯДУ У ВОДІ НА ВИТРИВАЛІСТЬ ПРИ ВТОМІ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ.....	107
---	-----

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

П. Г. АНОФРІЄВ ІМІТАЦІЙНІ МОДЕЛІ ОПОРУ РУХУ БЕТОННОЇ СУМІШІ В БЕТОНОВІ АВТОБЕТОНОНАСОСА.....	115
В. М. БОГОМАЗ, Л. М. БОНДАРЕНКО, К. Ц. ГЛАВАЦЬКИЙ, К. О. СОКОЛ СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ПРИВОДУ МЕХАНІЗМІВ ПЕРЕСУВАННЯ МОСТОВОГО КРАНУ ПРИ ОБЛІКУ ТЕРТЯ КОЧЕННЯ	123

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

С. В. МЯМЛІН, О. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР, А. Л. ПУЛАРІЯ, В. О. КАЛАШНИК ОБґРУНТУВАННЯ ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ ІЗ ОСЕРЕДКАМИ КОРОЗІЇ ХРЕБТОВОЇ БАЛКИ	132
О. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР, О. А. ШИКУНОВ СПОСОБИ ЗБІЛЬШЕННЯ МІЦНОСТІ БІЧНИХ РАМ ТРЬОХЕЛЕМЕНТНИХ ВІЗКІВ	141

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

М. С. ІВАНОВА, С. В. КОНОВАЛ, С. Ф. АБЕД

УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКУ СТІЙКОСТІ БУДІВЛІ,
РОЗТАШОВАНОЇ ПОБЛИЗУ УКОСІВ НА СТРУКТУРНО-НЕСТІЙКИХ ГРУНТАХ 150

В. В. КАЧУРЕНКО, Д. О. БАННИКОВ

КОНСТРУКЦІЯ РАЦІОНАЛЬНОГО СТАЛЕВОГО ГОФРОВАНОГО ПРОФІЛЮ 160

М. А. ЛІСНЕВСЬКИЙ, В. О. СУХОРСЬКИЙ

ПРОВЕДЕННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЛОТКОВОГО
ВИПРОБУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ПІДПІРНОЇ СТІНИ БЕЗ ПАЛЬ І НА ПАЛЬОВОМУ ФУНДАМЕНТІ 169

Й. Й. ЛУЧКО, В. В. КОВАЛЬЧУК, О. С. НАБОЧЕНКО

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ МЕТАЛЕВОЇ ГОФРОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ
ЗА КРИТЕРІЄМ РОЗВИТКУ ПЛАСТИЧНОГО ШАРНІРУ 180

О. М. ПШІНЬКО, А. В. КРАСНЮК, О. В. ГРОМОВА

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ СКЛАДОМ ТА ВЛАСТИВОСТЯМИ ГІДРОТЕХНІЧНОГО БЕТОНУ 195

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

В. И. ГАВРИЛЮК, В. И. ЩЕКА, В. В. МЕЛЕШКО ИСПЫТАНИЯ НОВЫХ ТИПОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ СОВМЕСТИМОСТЬ С УСТРОЙСТВАМИ СИГНАЛИЗАЦИИ И СВЯЗИ.....	7
--	---

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Л. В. МАРЦЕНЮК, Ю. М. ПРОСКУРНЯ РАЗВИТИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТУРИЗМА В УКРАИНЕ КАК СРЕДСТВА ОРГАНИЗАЦИИ ДОСТУПНОГО ОТДЫХА.....	16
--	----

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА

П. В. БЕХ, Г. И. НЕСТЕРЕНКО, С. И. МУЗЫКИНА, А. В. ЛАШКОВ, М. И. МУЗЫКИН ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....	25
Б. Е. БОДНАРЬ, М. И. КАПИЦА, А. М. АФАНАСОВ, Д. Н. КИСЛЫЙ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ РАЗГОНА ПОЕЗДОВ.....	40
И. В. ЖУКОВИЦКИЙ, И. А. КЛЮШНИК, А. Б. ОЧКАСОВ, Р. А. КОРЕНЮК ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ИСПЫТАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ ТЕПЛОВЗОВ.....	53
В. П. ЛИТВИНЕНКО ФОРМАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ С УЧЕТОМ ОЦЕНКИ СКОРОСТИ ПРОЦЕССОВ СГОРАНИЯ.....	66

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ

И. А. БОНДАРЕНКО ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ДЕФОРМАТИВНОЙ РАБОТЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ.....	75
Н. Б. КУРГАН, Д. Н. КУРГАН, О. Ф. ЛУЖИЦКИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕРОВНОСТЕЙ ПУТИ В ГРАНИЦАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДОВ.....	84
С. ФИШЕР ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СДВИГУ ГЕОРЕШЕТОК, УЛОЖЕННЫХ ПОД БАЛЛАСТНЫЙ СЛОЙ ДЛЯ ЕГО ЗАЩИТЫ.....	97

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

И. А. ВАКУЛЕНКО, А. Г. ЛИСНЯК, О. Н. ПЕРКОВ, СЮ СЯ ХАЙ ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСА НАПРЯЖЕНИЯ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ВОДЕ НА ВЫНОСЛИВОСТЬ ПРИ УСТАЛОСТИ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ.....	107
--	-----

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ВИДЫ ТРАНСПОРТА. МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

П. Г. АНОФРИЕВ ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ БЕТОННОЙ СМЕСИ В БЕТОНОВОДЕ АВТОБЕТОНОНАСОСА.....	115
В. Н. БОГОМАЗ, Л. Н. БОНДАРЕНКО, К. Ц. ГЛАВАЦКИЙ, К. А. СОКОЛ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ МОСТОВОГО КРАНА ПРИ УЧЕТЕ ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ.....	123

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ТЯГА ПОЕЗДОВ

С. В. МЯМЛИН, А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР, А. Л. ПУЛАРИЯ, В. А. КАЛАШНИК ОБОСНОВАНИЕ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ С ОЧАГАМИ КОРРОЗИИ ХРЕБТОВОЙ БАЛКИ.....	132
А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР, А. А. ШИКУНОВ СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БОКОВЫХ РАМ ТРЕХЭЛЕМЕНТНЫХ ТЕЛЕЖЕК.....	141

ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

М. С. ИВАНОВА, С. В. КОНОВАЛ, С. Ф. АБЕД

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ЗДАНИЯ,

РАСПОЛОЖЕННОГО ВБЛИЗИ ОТКОСА НА СТРУКТУРНО- НЕУСТОЙЧИВЫХ ГРУНТАХ 150

В. В. КАЧУРЕНКО, Д. О. БАННИКОВ

КОНСТРУКЦИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО СТАЛЬНОГО ГОФРИРОВАННОГО ПРОФИЛЯ..... 160

М. А. ЛИСНЕВСКИЙ, В. О. СУХОРСКИЙ

ПРОВЕДЕНИЕ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЛОТКОВОГО

ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛЕЙ ПОДПОРНОЙ СТЕНЫ БЕЗ СВАЙ И НА СВАЙНОМ ФУНДАМЕНТЕ 169

И. И. ЛУЧКО, В. В. КОВАЛЬЧУК, О. С. НАБОЧЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ГОФРИРОВАННОЙ

КОНСТРУКЦИИ ПО КРИТЕРИЮ ОБРАЗОВАНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО ШАРНИРА..... 180

А. Н. ПШИНЬКО, А. В. КРАСНЮК, О. В. ГРОМОВА

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СОСТАВОМ И СВОЙСТВАМИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО БЕТОНА 195

CONTENTS

TRANSPORT AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

V. I. HAVRILYUK, V. I. SHCHEKA, V. V. MELESHKO

TESTING NEW TYPES OF ROLLING STOCK FOR ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY
WITH SIGNALING AND COMMUNICATION DEVICES7

ECONOMICS AND MANAGEMENT

L. V. MARTSENIUK, YU. M. PROSKURNIA

DEVELOPMENT OF RAILWAY TOURISM IN UKRAINE
AS MEANS OF AVAILABLE REST ORGANIZATION 16

OPERATION AND REPAIR OF TRANSPORT MEANS

P. V. BECH, G. I. NESTERENKO, S. I. MUZYKINA, O. V. LASHKOV, M. I. MUZYKIN

WAYS TO INCREASE COMPETITIVENESS
OF RAILWAY TRANSPORT IN MODERN CONDITIONS25

B. YE. BODNAR, M. I. KAPITSA, A. M. AFANASOV, D. N. KYSLYI

DEFINITION OF ENERGY SAVING ACCELERATION MODES OF TRAINS40

I. V. ZHUKOVYTSKYI, I. A. KLIUSHNYK, O. B. OCHKASOV, R. O. KORENYUK

INFORMATION-MEASURING TEST SYSTEM
OF DIESEL LOCOMOTIVE HYDRAULIC TRANSMISSIONS53

V. P. LITVINENKO

FORMALIZATION OF DIESEL ENGINE OPERATION CONSIDERING
THE EVALUATION OF VELOCITY DURING THE COMBUSTION PROCESSES66

RAILWAY TRACK

I. O. BONDARENKO

PROCESS FEATURES OF FLUCTUATIONS PROPAGATION
AT STRESS-STRAIN WORK OF THE RAILWAY TRACK75

M. B. KURHAN, D. M. KURHAN, O. F. LUZHYTSKYI

INEQUALITIES RESEARCH OF THE TRACK AT THE RAILROAD CROSSINGS84

Sz. FISCHER

INVESTIGATION OF INNER SHEAR RESISTANCE OF GEOGRIDS BUILT
UNDER GRANULAR PROTECTION LAYERS AND RAILWAY BALLAST97

MATERIAL SCIENCE

I. A. VAKULENKO, A. G. LISNYAK, O. N. PERKOV, XU XIAO HAI

INFLUENCE OF SHOCK VOLTAGE FROM THE ELECTRIC DISCHARGE
ON THE FATIGUE ENDURANCE OF CARBON STEEL IN WATER 107

NON-TRADITIONAL TRANSPORT MODES. MACHINES AND MECHANISMS

P. G. ANOFRIEV

SIMULATION MODELS OF RESISTANCE TO CONCRETE MOVEMENT
IN THE CONCRETE CONVEYING PIPE OF THE AUTOCONCRETE PUMP 115

V. M. BOHOMAZ, L. M. BONDARENKO, K. TS. HLAVATSKYI, K. O. SOKOL

METHOD OF THE DRIVE POWER DETERMINATION OF THE MECHANISMS
OF THE BRIDGE CRANE MOVEMENT CONSIDERING THE ROLLING FRICTION 123

ROLLING STOCK AND TRAIN TRACTION

S. V. MIAMLIN, O. H. REIDEMEISTER, A. L. PULARIIA, V. O. KALASHNYK

THE RATIONALE FOR EXTENDING THE SERVICES OF PASSENGER CARS
WITH POCKETS OF CORROSION IN THE CENTER SILL 132

O. H. REIDEMEISTER, O. A. SHYKUNOV

STRENGTH INCREASE METHODS OF THE SIDE FRAME
OF THE BOGIE IN THREE-PIECE TRUCKS 141

TRANSPORT CONSTRUCTION

M. S. IVANOVA, S. V. KONOVAL, S. F. ABED

IMPROVEMENT THE CALCULATION OF THE STABILITY OF BUILDING LOCATED
NEAR THE SLOPES FOR STRUCTURAL UNSTABLE SOILS.....150

V. V. KACHURENKO, D. O. BANNIKOV

RATIONAL STEEL CORRUGATED PROFILE DESIGN160

M. A. LISNEVSKYI, V. O. SUKHORSKYI

CONDUCTING AND ANALYZING THE RESULTS OF THE EXPERIMENTAL BOX TEST
OF RETAINING WALL MODELS WITHOUT PILES AND ON THE PILE FOUNDATION169

Y. Y. LUCHKO, V. V. KOVALCHUK, O. S. NABOCHENKO

STUDY OF CARRYING CAPACITY OF A CORRUGATED METAL CONSTRUCTION
BY CRITERION OF YIELD HINGE DEVELOPMENT.....180

O. M. PSHINKO, A. V. KRASNYUK, O. V. HROMOVA

HYDRAULIC CONCRETE COMPOSITION AND PROPERTIES CONTROL SYSTEM.....195

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

До публікації в журналі приймаються статті українською, російською або англійською мовами проблемного, узагальноючого, 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, *.dost 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.diiit.edu.ua/HTMLs/scientists/Vumogu/Vumogu.pdf>.

Для здачі статті до друку автору/авторам необхідно:

1. Для електронної інформації сформувати всі матеріали в п'яти файлах:

- Перший – із текстом статті та анотацій з ключовими словами. Назва файлу – прізвище та ініціали автора (першого співавтора) латинськими літерами, наприклад: Ivanov_II_stattia.doc.
- Другий – з розширеними відомостями про автора/авторів (прізвище, ім'я, по батькові; посада; науковий ступінь; учене звання; місце роботи або навчання; адреса електронної пошти; номери контактних телефонів). Назва файлу – Ivanov_II_vidomosti.doc.
- Третій – рецензія (відсканована). Назва файлу – Ivanov_II_recenziia.jpg.
- Четвертий – Експертний висновок (відсканований, складається у вільній формі). Назва файлу – Ivanov_II_vysnovok.jpg.
- П'ятий – Ліцензійний договір (відсканований). Назва файлу – Ivanov_II_dogovir.jpg. Текст договору: <http://library.diiit.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@diiit.edu.ua

Адреса сайту журналу: <http://stp.diiit.edu.ua/>

З питань придбання примірників журналу телефонуйте за номером (056) 776 90 59 Грідасова А. В.



Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна веде підготовку докторантів та аспірантів за рахунок коштів Державного бюджету України – за державним замовленням – за такими спеціальностями:

ДОКТОРАНТУРА

№	Спеціальність	Шифр
1	Теоретичні основи інформатики та кібернетики	01.05.01
2	Управління проектами і програмами	05.13.22
3	Залізнична колія	05.22.06
4	Рухомий склад залізниць і тяга поїздів	05.22.07
5	Електротранспорт	05.22.09
6	Експлуатація та ремонт засобів транспорту	05.22.20
7	Будівельні конструкції, будівлі та споруди	05.23.01
8	Будівельні матеріали та вироби	05.23.05

На підставі угод, що укладаються з докторантом і керівником вищого навчального закладу, до докторантури приймаються громадяни України, кандидати наук, що мають наукові досягнення в обраній галузі.

Строк навчання 3 роки.

Вступники до докторантури подають:

- заяву на ім'я ректора,
- копію першої сторінки паспорта,
- особистий листок з обліку кадрів з фотокарткою, який засвідчено відділом кадрів за місцем основної роботи,
- витяг з трудової книжки,
- довідку з бухгалтерії про заробітну платню,
- засвідчену копію диплома про закінчення вищого навчального закладу із зазначенням одержаної кваліфікації спеціаліста,
- копію диплома кандидата наук,
- копію атестата доцента, с.н.с. за їх наявності,
- розгорнутий план докторської дисертації,
- список опублікованих наукових праць та винаходів,
- медичну довідку про стан здоров'я за формою № 286-у,
- ідентифікаційний код,
- одну фотокартку розміром 3x4.

АСПІРАНТУРА

№	Спеціальність	Шифр
1	Фізика твердого тіла	01.04.07
2	Теоретичні основи інформатики та кібернетики	01.05.01
3	Математичне моделювання та обчислювальні методи	01.05.02
4	Неорганічна хімія	02.00.01
5	Управління проектами і програмами	05.13.22
6	Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика	05.14.06
7	Залізнична колія	05.22.06
8	Рухомий склад залізниць і тяга поїздів	05.22.07
9	Електротранспорт	05.22.09
10	Експлуатація та ремонт засобів транспорту	05.22.20
11	Основи і фундаменти	05.23.02
12	Будівельні конструкції, будівлі та споруди	05.23.01
13	Будівельні матеріали та вироби	05.23.05
14	Технологія та організація промислового та цивільного будівництва	05.23.08
15	Економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності)	08.00.04
16	Історія філософії	09.00.05
17	Екологічна безпека	21.06.01

На підставі угод, що укладаються з аспірантом і керівником вищого навчального закладу, до аспірантури приймаються громадяни України, які мають вищу освіту і кваліфікацію спеціаліста.

Строк навчання в аспірантурі з відривом від виробництва – 3 роки, без відриву від виробництва – 4 роки.

Особи, допущені до вступних іспитів у аспірантуру, складають три іспити за програмою вищого навчального закладу:

- спеціальну дисципліну,
- філософію,
- іноземну мову.

За консультаціями звертатися на відповідні кафедри університету.

Особи, що вступають до аспірантури, подають:

- заяву на ім'я ректора,
- письмовий висновок передбачуваного наукового керівника про можливість навчання в аспірантурі,
- рекомендацію вченої ради вищого навчального закладу до вступу в аспірантуру (для випускників поточного року),
- копію першої сторінки паспорта,
- особистий листок з обліку кадрів з фотокарткою, який засвідчено відділом кадрів за місцем основної роботи,
- витяг з трудової книжки,
- довідку про заробітну платню,
- засвідчену копію диплома про закінчення вищого навчального закладу,
- посвідчення про складання кандидатських іспитів (за їх наявності),
- список опублікованих наукових праць та винаходів або реферат з обраної наукової спеціальності з рецензією передбачуваного наукового керівника,
- медичну довідку про стан здоров'я за формою № 286-у,
- ідентифікаційний код,
- одну фотокартку розміром 3×4.

Прийом документів до докторантури та аспірантури з 01.09 по 30.09 щорічно.

Вступні іспити до аспірантури з 10.10 по 30.10 щорічно.

Початок занять з 01.12 щорічно.

За інформацією звертатися:

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту,
вул. Лазаряна, 2,
м. Дніпропетровськ,
Україна,
49010.

Тел. : (056) 373-15-44 – ректор, проф. Пшінько Олександр Миколайович, приймальня;
(056) 373-15-29 – проректор з наукової роботи, проф. Мямлін Сергій Віталійович;
(056) 373-15-63 – завідувача аспірантурою та докторантурою Лахнова Ірина Анатоліївна,
(кімн. 320).

Інформація про спеціалізовані вчені ради університету

В університеті працює три спеціалізовані вчені ради із захисту докторських та кандидатських дисертацій за спеціальностями:

- Д 08.820.01 – залізнична колія (05.22.06) та електротранспорт (05.22.09); 05.22.12 – промисловий транспорт.
- Д08.820.02 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів (05.22.07) і експлуатація та ремонт засобів транспорту (05.22.20); транспортні системи (05.22.01);
- К08.820.03 – економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності).

Наукове видання

**НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ.
ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА**
№ 5 (59) 2015

(українською, російською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск – А. І. Миргородська
Комп'ютерне верстання – Л. А. Кобулія
Літературна обробка – О. М. Врублевська

Формат 60×84¹/₈. Ум. друк. арк. 24,76. Тираж 300 пр. Зам. № 622.

**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@diiit.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)**
№ 5 (59) 2015

(на українском, русском и английском языках)

Ответственный за выпуск – А. И. Миргородская
Компьютерная верстка – Л. А. Кобулия
Литературная обработка – О. М. Врублевская

Формат 60×84¹/₈. Ус. печат. лист. 24,76. Тираж 300 экз. Зак. № 622.

**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@diiit.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. 5 (59) 2015

(in Ukrainian, Russian and English languages)

Responsible for issue – A. I. Myrhorodska
Computer makeup – L. A. Kobuliya
Redaction – O. M. Vrublevska

Format 60×84¹/₈. Conventional printed sheet 24,76. Circulation 300. Order no. 622.

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@diiit.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



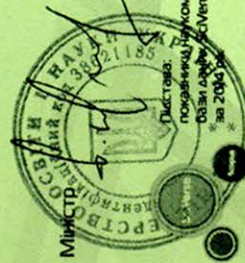
СУЧАСНІ ЗАКЛАДИ ОСВІТИ - 2015
Шоста Міжнародна виставка

CERTIFICATE

ЯКОСТІ НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЙ
УДОСТОЄНИЙ

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Міністерство освіти і науки України



С. Квіт

Національна академія
педагогічних наук України



Президент

В. Кремень

Асоціація користувачів
Української науково-освітньої
телекомунікаційної мережі «Уран»

Голова Ради

Ю. Якименко



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

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2015. 5(59). 1-213