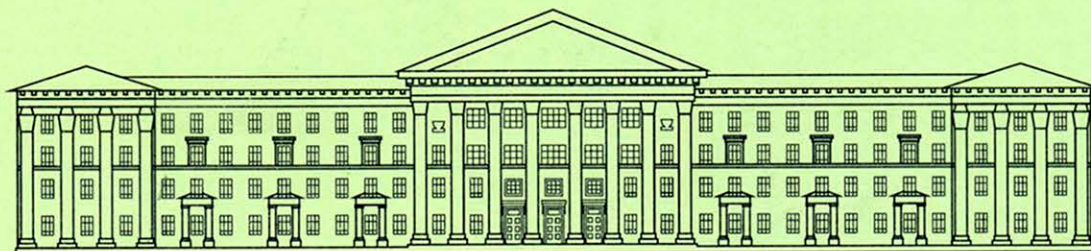




ISSN 2307-3489 (Print)
ISSN 2307-6666 (Online)



НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

4(58)

.. 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

№ 4 (58) 2015

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

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

Дніпропетровськ

2015

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

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

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

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ (УКРАЇНА):

Афанасов А. М., Банніков Д. О., Бараш Ю. С., Біляєв М. М., Бобирь Д. В., Бобровський В. І., Боднар Б. Є., Босов А. А., Вакуленко І. О., Власова Т. І., Волкова В. Є., Габринєць В. О., 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., Краснюк А. В., Кривчик Г. Г., Кузнецов В. Г., Курган М. Б., Муха А. М., Мухіна Н. А., Настечик М. П., Нетеса М. І., Оковитий С. І., Очкасов О. Б., Петренко В. Д., Пічугов С. О., Пічурін В. В., Полішко Т. В., Радкевич А. В., Радченко М. О., Ракша С. В., Скалозуб В. В., Сніжко Л. О., Урсуляк Л. В., Штапенко Е. П., Яришкіна Л. О.

ІНОЗЕМНІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Анісімов П. С. (Московський державний університет шляхів сполучення, Російська Федерація); Бялонь А. (Інститут залізничного транспорту, Варшава, Республіка Польща); Вайчунас Г. (Вільнюський технічний університет ім. Гедімінаса, Литва); Васяк І. (Інститут електроенергетики Лодзинської політехніки, Республіка Польща); Гусєв Б. В. (Московський державний університет шляхів сполучення, Російська Федерація); Долежел І. (Університет Західної Богемії, Чеська Республіка); Зіммер К. (Інститут Електротехніки Варшавської політехніки, Республіка Польща); Куанишев Б. М. (Казахська академія транспорту і комунікацій, Республіка Казахстан); Лінгайтис В. Л. (Вільнюський технічний університет ім. Гедімінаса, Литва); Манашкін Л. А. («ALGAE ENERGY SOLUTION, LLC», США); Сладковські А. (Сілезька політехніка, Республіка Польща); Стржелецькі Р. (Гданська морська академія, Республіка Польща); Тітова Т. С. (Петербурзький державний університет шляхів сполучення Імператора Олександра І, Російська Федерація); Худзікевич А. (Варшавський політехнічний університет, Республіка Польща); Шепонг Адам (Варшавський політехнічний університет, Республіка Польща).

Журнал зареєстровано Державною реєстраційною службою Міністерства юстиції України. Свідоцтво про реєстрацію KB № 19609-9409IP 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 31.08.2015 р., протокол № 1

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

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

Видання публікується з 1936 р.:

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

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

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

(НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА)

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

Научный журнал

№ 4 (58) 2015

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

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

Днепропетровск

2015

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

*ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОГО
СОВЕТА УНИВЕРСИТЕТА*

Пшинько А. Н., доктор технических наук

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛА

Мямлин С. В., доктор технических наук

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Козаченко Д. Н., доктор технических наук

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Колесникова Т. А., кандидат наук
по социальным коммуникациям

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ (УКРАИНА):

Афанасов А. М., Банников Д. О., Бараш Ю. С., Беляев Н. Н., Бобырь Д. В., Бобровский В. И., Боднар Б. Е., Босов А. А., Вакуленко И. А., Власова Т. И., Волкова В. Е., Габринец В. А., Гаврилюк В. И., Гетьман Г. К., Главацкий К. Ц., Гненний О. Н., Головкова 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., Скалзуб В. В., Снежко Л. А., Урсуляк Л. В., Штапенко Э. Ф., Эйтулис Г. Д., Яришкина Л. А.

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Анисимов П. С. (Московский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация); Бялонь А. (Институт железнодорожного транспорта, Варшава, Республика Польша); Вайчунас Г. (Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литва); Васяк И. (Институт электроэнергетики Лодзинской политехники, Республика Польша); Гусев Б. В. (Московский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация); Долежел И. (Университет Западной Богемии, Чешская Республика); Зиммер К. (Институт Электротехники Варшавской политехники, Республика Польша); Куанышев Б. М. (Казахская академия транспорта и коммуникаций, Республика Казахстан); Лингайтис В. Л. (Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литва); Манашкин Л. А. («ALGAE ENERGY SOLUTION, LLC», США); Сладковски А. (Силезская политехника, Республика Польша); 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 31.08.2015 г., протокол № 1

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

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

Издание публикуется с 1936 г.:

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

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

NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU

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

(SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS

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

Scientific journal

No. 4 (58) 2015

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

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

Dnipropetrovsk

2015

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

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

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

EDITORIAL BOARD MEMBERS (UKRAINE):

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

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

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

Journal was registered	by the State Registration Service of the Ministry of Justice of Ukraine. Certificate of Registration KB no.19609-9409PR from 29.12.2012 Edition is included in the list of scientific professional publications of Ukraine by the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine 29.12.2014 r. no. 1528 (technical sciences). Journal is registered: in the International Catalogue of periodicals Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat; research and metric systems Google Scholar, Global Impact Factor, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI. Published according to the Academic Council decision of the University from 31.08.2015, Protocol no. 1
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»

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

УДК [001.891:378.4]:027.7

Т. А. КОЛЕСНИКОВА^{1*}, Е. В. МАТВЕЕВА²

^{1*}Научно-техническая библиотека, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 371 51 05, эл. почта lib@b.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-4603-4375

²Научно-техническая библиотека, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 371 51 05, эл. почта diit.media@gmail.com, ORCID 0000-0002-2616-0454

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ: БИБЛИОМЕТРИЯ

Цель. Основные показатели результативности научных исследований – библиометрические показатели, являются мощным информационным инструментом поддержки развития науки. Поэтому сегодня во всем мире они относятся к обязательным элементам в отчетности научных учреждений, университетов, исследовательских групп и отдельных ученых. Исходя из вышеизложенного, целью статьи является: 1) раскрытие основных понятий в библиометрии; 2) определение роли университетских библиотек в процессах измерения университетской науки; 3) описание методики программы Bibexel для анализа метаданных научных статей. **Методика.** Теоретической базой исследования стали публикации, освещающие современные процессы в библио- и наукометрии. Практической базой – метаданные статей, размещенных в: 1) БД Scopus, авторами которых являются ученые Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, 2) БД ScienceDirect, посвященные развитию железнодорожного транспорта. **Результаты.** В ходе проведения исследования авторами были раскрыты основные библиометрические понятия. Описана методика программы Bibexel для анализа метаданных, а именно – анализа связей между авторами и анализа ключевых слов. С ее помощью определено, что наиболее «топовыми» темами для исследователей всего мира в области железнодорожного транспорта в 2015 г. являются: планирование высокоскоростного движения, определение критической скорости, компьютерный расчет железнодорожных мостов. Доказано, что сегодня работа университетских библиотек мира с библиометрическими показателями как индикаторами развития науки постепенно становится одним из ведущих направлений их деятельности. **Научная новизна.** Авторами обоснована и реализована возможность проведения библиометрических исследований с помощью программы Bibexel в условиях ограниченного доступа университетских библиотек Украины к международным полнотекстовым БД и базам данных научного цитирования. Расширено представление об университетской библиотеке как структуре, которая переходит от управления научными коллекциями к управлению научными процессами. **Практическая значимость.** Результаты данного исследования могут быть использованы: 1) при принятии оптимального решения по управлению информационными ресурсами с целью совершенствования процессов информационного обеспечения и обслуживания, в т. ч. оценки научного влияния публикаций ученых и научных журналов вуза; 2) при организации системы обучающих семинаров, курсов повышения квалификации, мастер-классов, лекций по информетрии.

Ключевые слова: научные исследования; методики оценки развития науки; библиометрия; библиометрические показатели; университетская наука; университетские библиотеки; программа Bibexel; информетрия

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

«...высшая форма любого знания характеризуется мерой. Нужно только создать систему мер, относящихся к книге и документу, – библиометрию».

П. Отле, 1934 [9]

Введение

Современный контекст понятия научной продукции включает в себя не только опубликованные работы, но также данные исследований и методы, связанные с исследованием. Именно поэтому правительства разных стран мира инвестируют значительные средства в развитие национальных информационных инфраструктур исследований [14, с. 259]. Университеты же, как центры генерации знаний и инноваций, стремятся доказать, что их исследовательские стратегии и реализованные проекты приведены в соответствие с национальными императивами.

Основные показатели результативности научных исследований – библиометрические показатели (число публикаций в научных журналах, частота цитируемости этих публикаций, импакт-фактор научного журнала, в котором они опубликованы, количество высокоцитируемых статей, индекс Хирша и различные нормализованные показатели цитируемости) и научное рецензирование являются мощным информационным инструментом поддержки развития науки. При этом сегодня во всем мире библиометрические показатели относятся к обязательным элементам в отчетности научных учреждений, университетов, исследовательских групп и отдельных ученых.

По мнению профессионалов, XXI век – век библиометрии. Полстолетия назад, в 1964 г., на основе анализа библиографических массивов первого в мире издания Science Citation Index – SCI (Указателя цитированной литературы), созданного доктором Ю. Гарфилдом (Eugene Garfield), появилась новая научная дисциплина – наукометрия (или, как теперь чаще говорят, библиометрия) [7, с. 15].

А уже в 2011 г. Ю. Гарфилд подчеркивал, что мы являемся свидетелями превращения библиометрических исследований в новую отрасль индустрии – оценку результативности научных исследований, выполняемых в университетских и научных коллективах [Цит. по 7, с. 45].

В то же время в большинстве университетов Украины работа с современными методиками мониторинга и оценки прогресса научных исследований и технологий, к которым в первую очередь относится библиометрия, только начинает становиться частью постоянной и системной деятельности – информационной аналитики. В данном случае мы рассматриваем информационную аналитику как инструментальный мониторинг мирового научного информационного потока, анализа уровня цитируемости ученых вуза и индексов влияния его периодических изданий в международном научном информационном пространстве, а также как прогностическую и рекомендательную деятельность по повышению репрезентативности публикаций ученых вуза в международных наукометрических БД, приближению уровня собственных периодических изданий вуза к мировым стандартам и др.

Безусловно, сегодня в отечественной научной литературе еще не хватает опубликованных результатов научных исследований по библио- и наукометрии, отработанных и описанных методик действий в данных направлениях, практически отсутствуют научно-практические семинары и курсы повышения квалификации и т.д.

Отсутствуют в Украине и образовательные программы в области информетрии (библиометрии, наукометрии, вебометрии, альтметрии) как востребованном и перспективном направлении в работе библиотек и информационных центров во всем мире в рамках системы многоуровневого информационно-библиотечного образования.

Цель

Исходя из вышеизложенного, целью статьи является: 1) раскрытие основных понятий в библиометрии; 2) определение роли университетских библиотек в процессах измерения университетской науки; 3) описание методики программы **Bibexel** для анализа метаданных, а именно – анализа связей между соавторами и анализа ключевых слов (для выявления из них наиболее «топовых»).

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

Методика

Теоретической базой исследования стали публикации, освещающие современные процессы в библио- и наукометрии. Практической базой – метаданные статей, размещенных в: 1) БД Scopus, авторами которых являются ученые Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, 2) БД ScienceDirect, посвященные развитию железнодорожного транспорта. В работе использованы методы научного и информационного анализов, обобщения, аналогии, сравнения, прогноза. Практические исследовательские методы осуществлялись с помощью: анализ метаданных – программы Vindex, построение графика соавторства – программы Pajek, визуализация структуры графа соавторства – метода Камада-Кавай (Tomihisa Kamada & Satoru Kawai).

Мониторинг и анализ мирового документопотока по теме исследования позволил уточнить основные вехи эволюции и современные тенденции развития библиометрии.

Название «библиометрия» происходит от греческих слов *Biblion* – книга и *metron* – мера (*metreo* – измеряю). Оксфордский словарь определяет библиометрию (bibliometrics) как отрасль библиотековедения, связанную с применением математического и статистического анализа в библиографии, и утверждает, что библиометрия построена на статистическом анализе книг, статей и других публикаций [12].

Еще в 1934 г. П. Отле (P. Otlet) [9], впервые используя термин «bibliometrie» в работе «Traite de Documentation», писал, что «...высшая форма любого знания характеризуется мерой. Нужно только создать систему мер, относящихся к книге и документу, – библиометрию».

Но повсеместное распространение этого понятия началось с 1969 г., когда А. Притчард (Alan Pritchard) определил термин «библиометрия» как совокупность математических и статистических методов применительно к книгам и другим средствам массовой информации в научно-документальных коммуникациях [17].

С начала 1980-х годов, как утверждает датская исследовательница Ирен Уормелл (Irene Wormell), библиометрия превратилась в отдельную научную дисциплину [19], которая

источниками передачи знаний, коммуникации стала иметь международный журнал на библиометрические темы – «Scientometrics» (с 1979 г.) и ежегодные международные конференции (с 1983 г.).

Современный бельгийский ученый Л. Иггх (L. Egghe) [13] подчеркивает, что сегодня библиометрия является частью информетрии, которая, в свою очередь, включает все метрические исследования, тесно связанные с информатикой, в том числе библиометрию (библиографические средства, библиотеки, ...), наукометрию (научная политика, анализ цитирования, оценка исследований, ...), вебометрию (метрики Всемирной паутины, Интернет или других социальных сетей, таких, как сети цитирования или сотрудничества).

В настоящее время библиометрия воспринимается и как комплекс количественных методов изучения потоков научных документов, и как научная дисциплина, изучающая документы на основе количественного анализа первичных и вторичных источников информации с помощью формализованных методов, с целью получения данных об эффективности, динамике, структуре и закономерностях развития исследуемых отраслей [10, с. 49].

Канадский библиотеквед Вирджиния Уилсон (Virginia Wilson) отмечает, что библиометрические методы исследования являются самыми старыми в библиотечных и информационных науках (Library and Information Science – LIS) [18].

К методам библиометрии сегодня относят: анализ цитирования (метод статистического анализа библиографических ссылок); анализ реферативных журналов; анализ количественных характеристик первичных документов; количественный анализ публикаций отдельных авторов и их цитирования; количественный анализ публикаций ученых отдельных стран, а также отдельных научных коллективов; теоретические вопросы, в том числе исследования закономерностей роста, старения и рангового распределения научных документов; контент-анализ научных документов; другие вопросы, связанные с распространением научных документов [1].

В то же время, по мнению И. В. Маршак-Шайкевич, библиометрия не привязана

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

только к науке, поскольку ее методы можно применять и к изучению художественной литературы, философских текстов и т.д. Она подчеркивает, что объектом библиометрии считаются публикации, сгруппированные по различным признакам (сегменты документопотока, микропотоки): авторам, журналам, тематическим рубрикам, странам и т.д. [8].

Американские исследователи Сюзан Бек и Кейт Мануэль (Susan E. Beck & Kate Manuel) подчеркивают, что предметом библиометрического исследования может быть источник с любым типом записанной информации [11, с. 165].

Современные онлайн-поиск и методы добычи информации значительно обновили представления о методологии библиометрических исследований (bibliometric research methodology) и расширили возможности практических исследовательских методов (practical research methods).

Внедрение новаций также способствует открытию новых возможностей для отслеживания аналитической информации (для объективной наукометрической характеристики состояния и тенденций развития фундаментальных и прикладных исследований) в больших электронных библиографических базах данных, являющихся частью мировой инфраструктуры электронной науки (e-science). При этом, по утверждению М. Нахотко (Marek Nahotko) [15], одним из важнейших элементов электронной науки являются многопрофильные команды и отдельные специалисты по информационным технологиям, имеющие опыт:

а) проектирования алгоритмов, системного анализа и разработки приложений;

б) сбора, систематизации, индексации, анализа информации, ее преобразования, упорядочения в базы данных, сохранения в цифровых архивах и распространения в мировом научном инфопространстве.

Безусловно, специалистами, имеющими навыки управления данными (см. пункт б), являются сотрудники научных библиотек, в т. ч. университетских. Профессионалы библиотечно-информационной сферы, деятельность которых всегда была глубоко интегрирована в образовательные и общенаучные процессы вузов [4], активно искали новые схемы деятельности. Стратегия их развития стала предусматривать

максимально полную ориентацию на информационные потребности ученого как информационного донора и акцептора знаний.

Сегодняшняя информационно-коммуникационная среда способствует реализации новых типов сотрудничества ученых, издателей, библиотекарей и приводит к появлению новых ролей для библиотек и библиотекарей, свидетельствующих об интеллектуализации библиотечной профессии. Библиотечно-информационный специалист нового типа способен быть ученым, мыслить, как он, предоставлять реальную помощь университетскому сообществу в процессах обмена знаниями, выступая при этом носителем гуманистического мировоззрения.

Новая парадигма, согласно С. L. Borgman, заключается в смещении вектора внимания научных библиотек от услуг для читателя к приоритетному вниманию к услугам для автора-ученого [цит. по 14, с. 261]. Так, например, уже в 2012 г. 8 из 13 (62 %) университетских библиотек Австралии предоставляли услуги библиометрии на индивидуальном, групповом и институциональном уровнях [там же, с. 265].

Российский библиотековед М. С. Галявиева подчеркивает, что научные библиотеки стремятся занять более активную позицию и выступают активными партнерами на всех стадиях жизненного цикла (research lifecycle) научного исследования: от информирования и предоставления доступа к коллекциям документов до публикации и далее анализа и оценки результатов исследований. В качестве приоритетных направлений деятельности научных библиотек называются: создание и сопровождение репозитариев открытого доступа; управление научными данными (research data management, RDM); курирование научных данных (data curation); информетрия (библиометрия, наукометрия, вебометрия, альтметрия); службы поддержки электронных публикаций (e-publishing services) и пр. [2].

Примером инновационных направлений работы библиотек по поддержке научных исследований и развитию университетской науки может служить деятельность научно-технической библиотеки Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (ДНУЖТ).

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

Среди цифровых сервисов, пользующихся наибольшей популярностью среди ученых ДНУЖТ, выделим следующие:

1. Организация и сопровождение институционального репозитория eadNURT.
2. Издание электронных научных специализированных журналов (модель «Библиотечное издательство» – Library Publishing) [5].
3. Интеграция научных публикаций в международные базы данных научно-технической информации [3].
4. Измерение влияния и видимости результатов научных исследований ДНУЖТ в мировом научном информационном пространстве (библиометрия, наукометрия, вебометрия) [6].

Методика проведения библиометрических исследований с помощью программы Bibexel. Как указывалось выше, методики проведения библиометрических исследований постоянно совершенствуются, но их описаний в отечественных научных публикациях явно недостаточно.

Авторы данной статьи предлагают начать измерения различных аспектов публикационной активности ученых отдельного вуза и распространения их научных документов с освоения и применения в работе бесплатной программы Bibexel, размещенной на сайте библиотеки Венского университета (<https://bibliometrie.univie.ac.at/bibexcel/>). Создатель программы – Олле Перссон (Olle Persson), профессор библиотекведения и информатики шведского Университета Умео (Umeå universitet), изучающий научные коммуникации ученых и инженеров, играет ведущую роль в развитии библиометрических методов исследований [16].

Анализ метаданных с помощью Bibexel начинается с получения исходных данных для этой программы. Такие данные можно легко собрать с помощью встроенных инструментов наукометрических БД Web of Science или Scopus, если есть оплаченные доступы к этим БД; но гораздо сложнее (и все же возможно!) их получить, если этих доступов нет. На сайте БД ScienceDirect также предусмотрена возможность экспорта метаданных группы записей в формате ris. Метаданные статей из журналов, которые размещены на портале УРАН (Проект «Научная периодика Украины»

– общегосударственная технологическая платформа на базе Open Journal Systems, OJS, <http://journals.urau.ua>), также могут быть сохранены в этом формате с помощью инструмента «Как цитировать работу». Исходную информацию можно собрать с помощью программ для работы с библиографической информацией, например, EndNote (EndNote X7, бесплатный пробный период – 1 месяц, EndNote Basic – бесплатная) или Zotero (программа с открытым кодом), а затем экспортировать в файл формата ris.

Если информация, которую вы планируете анализировать, содержится в нескольких файлах, то последние можно объединить. Для этого нужно в программе Bibexel дважды щелкнуть в окне «Type new file name here» и ввести имя, которое должен иметь объединенный файл (расширение файла – txt), выделить все файлы, которые нужно объединить, и запустить Files -> Append all selected files to another.

После этого текстовый файл нужно преобразовать в формат, пригодный для работы с Bibexel. Для этого сначала необходимо выбрать текстовый файл с исходной информацией и запустить Edit doc-file -> Replace line feed with carriage return. Будет создан промежуточный файл с расширением tx2. Затем нужно выбрать этот tx2-файл и выполнить Misc-> Convert to Dialog-format-> Convert from RIS format (или Convert from Web of Science, если вы пользовались данными из Web of Science).

В результате этих действий будет создан файл с расширением doc, в котором в каждом поле последним символом будет вертикальная черта, а последнее поле в записи будет иметь вид «ER- ||» (см. рис. 1).

Мы попытались проанализировать связи между соавторами одного из ученых ДНУЖТ Эдуарда Филипповича Штапенко. Для анализа взяли те 24 статьи Э. Ф. Штапенко, которые включены в БД Scopus. Поскольку на момент проведения исследования библиотека уже не имела оплаченного доступа к этой БД, а количество статей было относительно невелико, то исходный файл был создан вручную с помощью стандартной программы «Блокнот» и данных университетского репозитория eadNURT (<http://eadnurt.diit.edu.ua/>). Заполнялись следующие поля: ТУ (в нашем случае все-

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

гда имеет значение JOUR), TI – название статьи, JO – название журнала, VL – том, IS – выпуск, SP – начальная страница, EP – заключительная страница, PY – год издания, T2 – издатель, AU – авторы (разделялись точкой с запятой), SN – ISSN журнала, KW – ключевые слова (как и авторы, разделялись точкой с запятой), AB – аннотация, и последний тег – это всегда ER-. Между различными записями –

пустая строка. С помощью процедуры, которая была описана выше, текстовый файл был преобразован в пригодный для Bibexcel doc-файл.

Для анализа соавторства создается упрощенный out-файл. Для этого в окне «Old Tag» задается имя поля «авторы» – AU, в окне «Select field to be analyzed» выбирается «Any; separated field» и нажимается кнопка «Rep» (рис. 2).

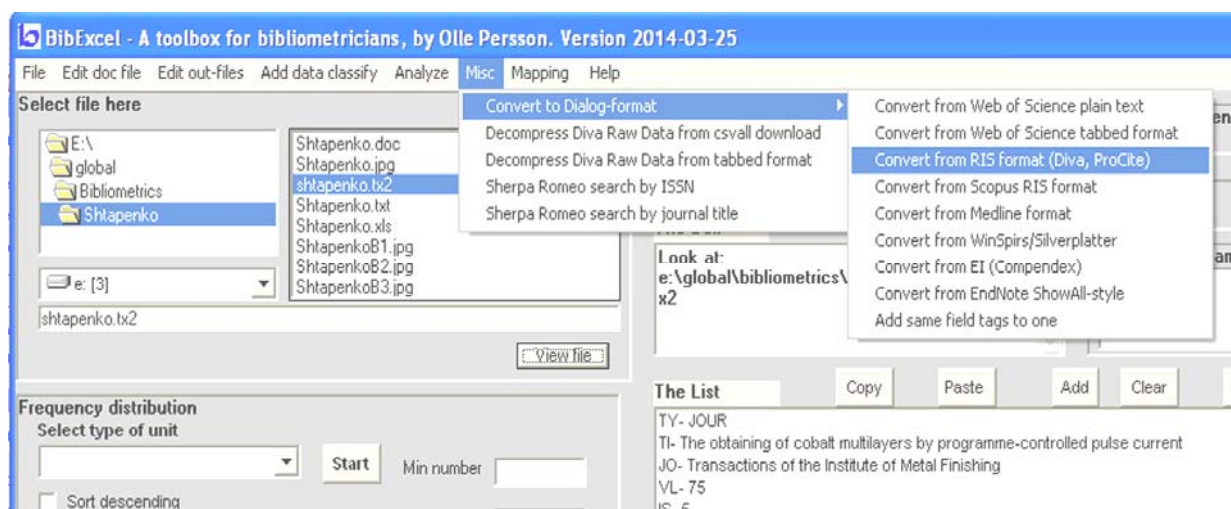


Рис. 1 Создание doc-файла

Fig. 1. Creating a doc-file

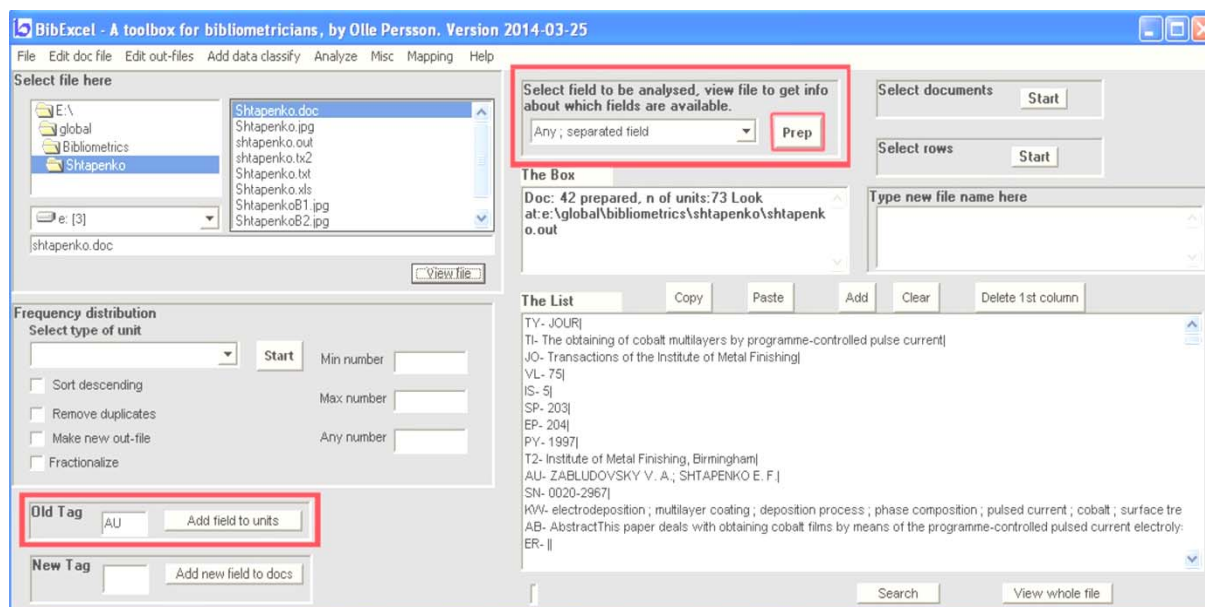


Рис. 2 Создание out-файла

Fig. 2. Creating an out-file

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

Созданный таким образом файл имеет две колонки: в первой – порядковый номер документа, во второй – фамилия и имя (или инициалы) автора. Для каждого автора в out-файле создана отдельная строка. Если фамилии и инициалы авторов имеют одинаковый вид, можно сразу создать cit-файл для анализа.

Но если в одном случае фамилия написана полностью большими буквами, а в другом – большой прописана только первая буква, последующие же – строчные, то компьютер воспримет эти фамилии, как разные. Также как две разных личности будет воспринят один автор, если в одном случае его имя написано полностью, а в другом – дается только одна буква.

С учетом изложенных выше нюансов в Bibexcel предусмотрена процедура стандартизации. Нужно выбрать out-файл и запустить Edit out-files -> Convert Upper Lower Case -> Good for author / cited author in out-file. Будет создан промежуточный loa-файл, в котором фамилии имеют только первую букву прописную, другие – строчные, и приводятся лишь инициалы авторов. Если теперь фамилии и инициалы имеют во всех случаях одинаковый вид, можно создать cit-файл с loa-файла.

Но в некоторых случаях разночтения все еще остаются. Например, в одном документе указаны два инициалы автора, а в другом – только один. Или, как в нашем случае, в одном документе в БД Scopus указаны инициалы EP (укр. – Едуард Пилипович), а в другом – EF (транслитерация с русского). Для такого случая в Bibexcel предусмотрена процедура объединения по первому инициалу. Для этого нужно вы-

брать loa-файл и выполнить Edit out-files -> Keep only author's first initial. Будет создан 1st-файл. Чтобы удалить потенциальные дубликаты фамилий, выбираем 1st-файл, в окошке «Frequency distribution» в ячейке «Select type of unit» выбираем «Whole strings», ставим галочки в окошках «Make new out-file» и «Remove Duplicates» и нажимаем «Start». Создается oux-файл (рис. 3).

На базе oux-файла создаем cit-файл. Для этого в окне «Select type of unit» выбираем «Whole strings», ставим галочку в окошке «Sort descending» (сортировать по убыванию) и нажимаем «Start».

Cit-файл тоже имеет два столбика: в первом – количество документов, в создании которых принимал участие автор; во втором – фамилия и первый инициал автора. Авторы расположены по убыванию количества документов, в создании которых они принимали участие. Если количество документов и авторов слишком велико, то график, который мы планируем получить в конце, будет неудобен для восприятия, поэтому количество авторов, которых мы анализируем, лучше уменьшить. Выделим 15–20 строк из cit-файла, скопируем их, очистим файл и вернем скопированные записи. Затем выберем oux-файл и выполним Analyze -> Co-occurrence -> Make pairs via listbox (на первый вопрос нужно ответить «Нет»). В полученном сос-файле будут пары соавторов и количество документов, в создании которых они совместно принимали участие. Количество пар зависит от количества документов, которые мы выделяли в cit-файле.

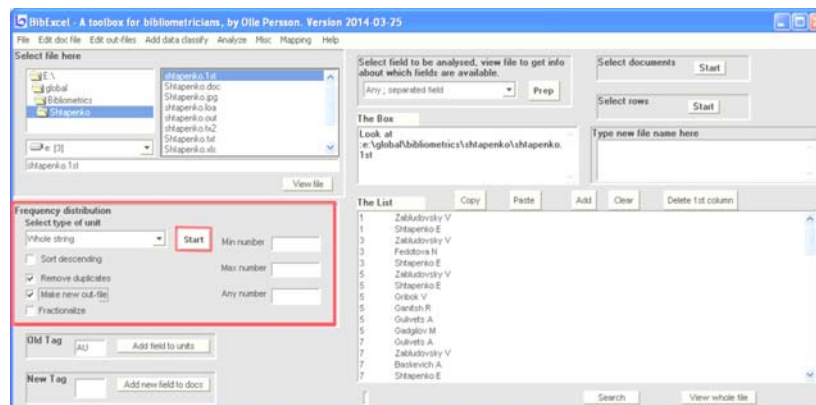


Рис. 3. Создание oux-файла

Fig. 3. Creating an oux-file

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

График соавторства будет создаваться в программе Pajek (<http://mrvar.fdv.uni-lj.si/pajek/>). Для нее нужно подготовить два файла. Выбираем сос-файл и запускаем Mapping -> Create net-file for Pajek (на два вопроса нужно ответить «Нет»). Будет создан net-файл для программы Pajek. Затем выбираем cit-файл (он будет иметь первоначальный вид, а не только те записи, которые мы выделяли для создания сос-файла) и выполняем Mapping -> Create vec-file. Создается vec-файл.

Теперь вызываем программу Pajek (рис. 4).

В окошке Networks открываем net-файл, а в окошке Vectors – vec-файл. Затем нажимаем Draw -> Network + First vector. Откроется новое окно, в котором нужно нажать Ctrl + K (рис. 5).

В результате визуализации структуры графа соавторства получим макет Камада-Кавай (Tomihisa Kamada & Satoru Kawai) (рис. 6). Его можно экспортировать, например, в формате jpg:

Как видно из рис. 6, вместе с Э. Ф. Штапенко в написании всех статей принимал участие

В. А. Заблудовский. Немного меньшее участие – А. Н. Гуливец.

Примерно таким же образом можно проанализировать ключевые слова, в т.ч. с целью выявления наиболее «топовых» тем в отдельной отрасли знания. Для анализа были взяты двести (из 74 519) наиболее релевантных записей с сайта БД ScienceDirect, содержащие слово «railway». Для создания out-файла избирался тег «KW».

Мы видим (рис. 7) три наиболее часто употребляемых группы слов. Первая – railway (railways), high-speed railway, transportation, ballast, timetabling, fatigue. Вторая – railway engeneering, railway axles, fatigue crack, EA4T. Третья – railway transport, railway track, railway bridge, numerical modeling, soil-structure interaction.

Теперь возьмем двести (из 2 513) записей за 2015 г. Опять получаем (рис. 8) три группы записей.

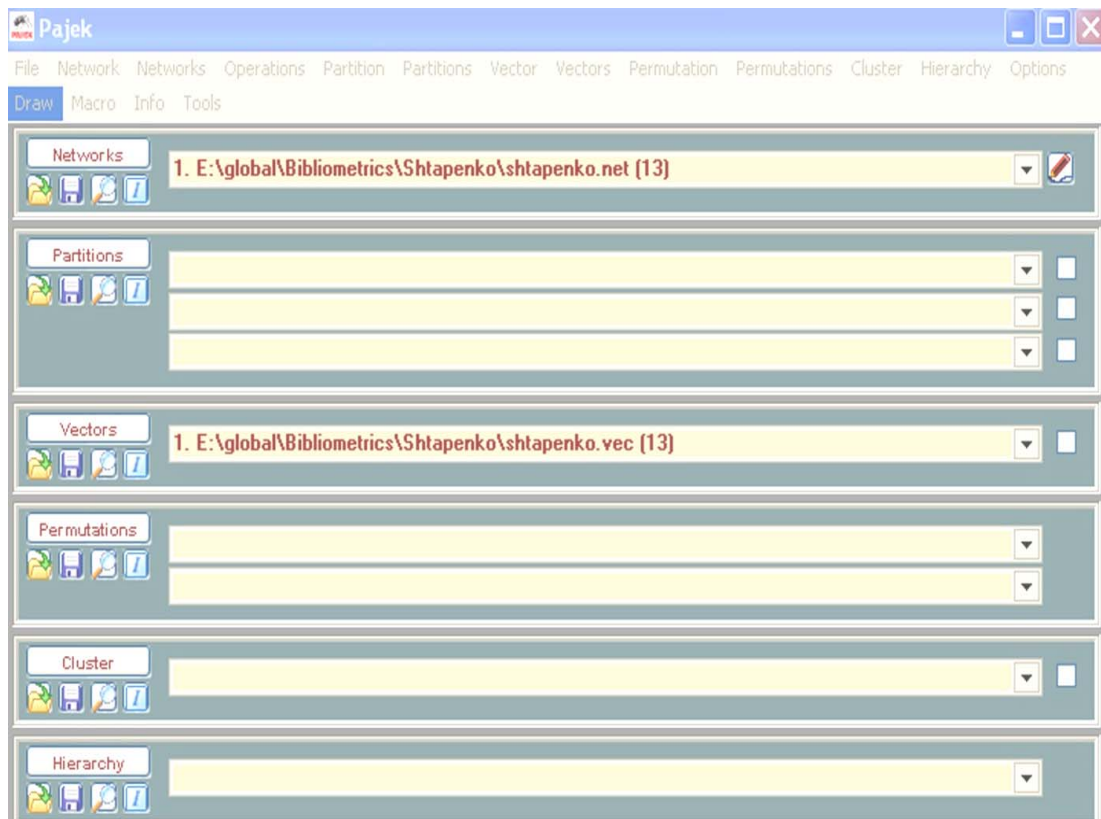


Рис. 4. Работа с программой *Pajek*

Fig. 4. Program *Pajek* authoring

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

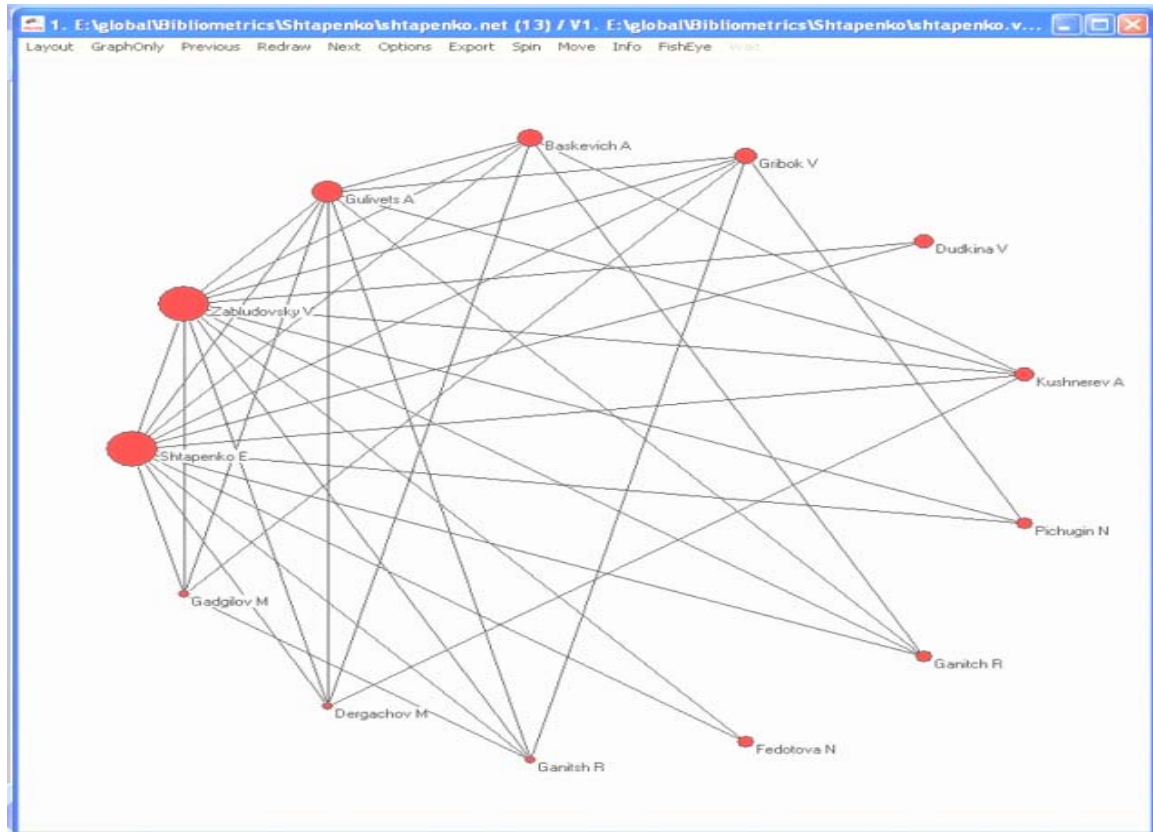
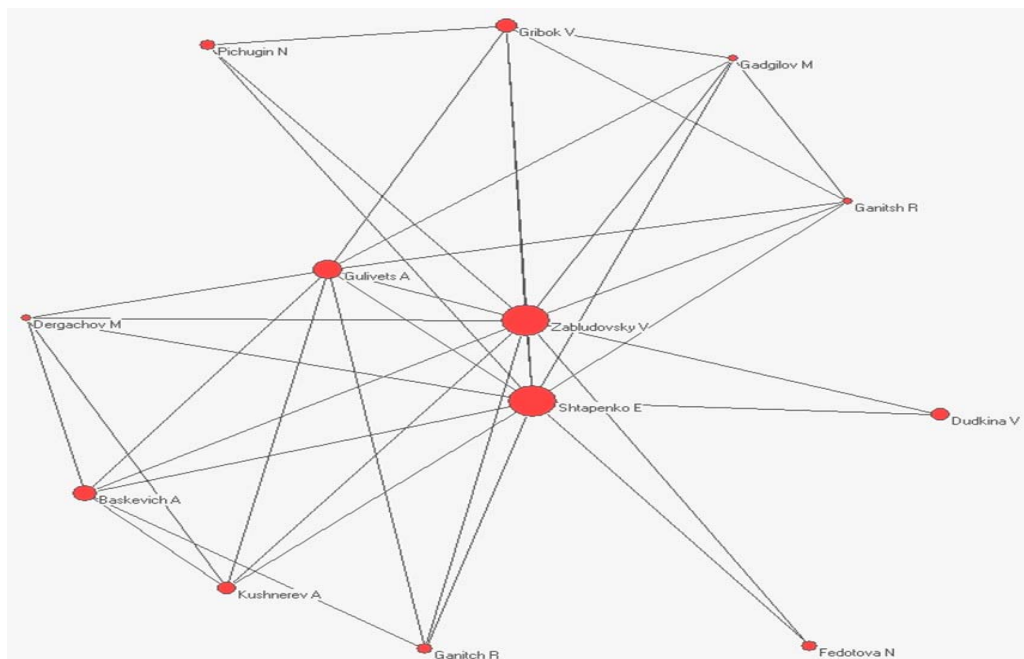
Рис. 5. Новое окно программы *Pajek*Fig. 5. A new program *Pajek* window

Рис. 6. Макет Камада-Кавай

Fig. 6. Kamada-Kawai Layout

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

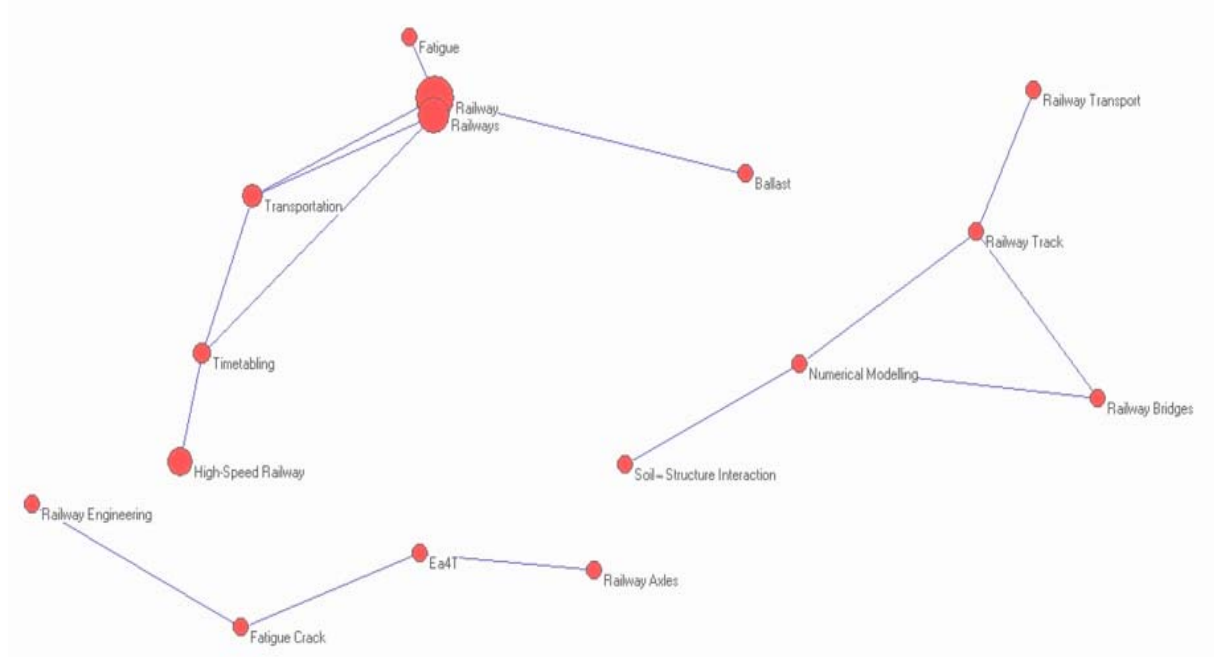


Рис. 7 Анализ ключевых слов по теме «railway»

Fig. 7. Keyword analysis, the subject «railway»

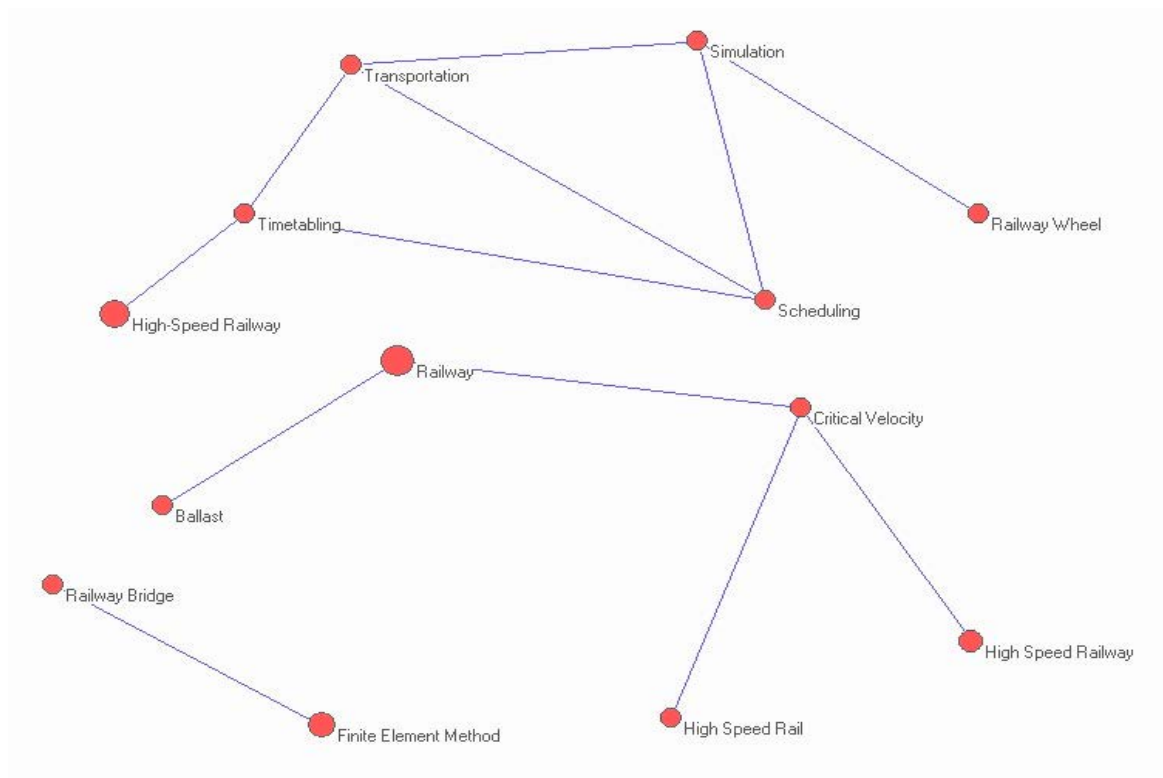


Рис. 8. Анализ ключевых слов за 2015 г.

Fig. 8. Keyword analysis for 2015 year

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

Первая – high-speed railway, transportation, timetabling, simulation, scheduling, railway wheel. Вторая – railway, high-speed railway, high-speed rail, critical velocity, ballast. И третья – railway bridge, finite element method.

Как видим, наибольший интерес ученых мира в последнее время, в частности в 2015 г., вызывают вопросы планирования высокоскоростного движения, определения критической скорости, а также компьютерный расчет железнодорожных мостов.

Результаты

В ходе проведения исследования авторами были раскрыты основные библиометрические понятия: библиометрия, библиометрические методы, объект и предмет библиометрии, библиометрические показатели, характеризующие цитируемость разных «научных единиц» – ученых, научных коллективов, организаций, стран.

Описана методика программы Bibexel для анализа метаданных, а именно – анализа связей между соавторами и анализа ключевых слов. С помощью данной методики определено, что наиболее «топовыми» темами для исследователей всего мира в области железнодорожного транспорта в 2015 г. являются: планирование высокоскоростного движения, определение критической скорости, компьютерный расчет железнодорожных мостов.

На конкретных примерах показано, что применение программы Bibexel способствует не только проведению количественных анализов библиографических характеристик научных документов, но и помогает исследованию и использованию мировых баз данных и сетей.

Исследователями расширено представление о том, что сегодня работа университетских библиотек мира с библиометрическими показателями как индикаторами развития науки постепенно становится одним из ведущих направлений их деятельности. Предоставление библиометрических услуг, сбор, структурирование и интерпретация библиометрических данных, проведение семинаров и консультаций для научного сообщества вуза (в т.ч. ректората) являются одним из свидетельств того, что вектор внимания научных библиотек постепенно смещается от сервисов для читателей к сервисам для авторов.

В то же время во всем мире на сегодняшнее состояние профессионального развития работников библиотечно-информационной сферы (БИС) влияют сделанные практические шаги в ответ на полученные большие вызовы, связанные с глобальными изменениями в системе научной коммуникации.

Суть этих вызовов, по мнению авторов, можно сформулировать следующим образом:

– Планируют ли профессионалы БИС, улучшая собственные информационно-поисковые и аналитические навыки, а также знание английского языка (как международного языка науки), повышать ценность услуг, которые они предлагают пользователям?

– Хватит ли специалистам БИС профессионализма, чтобы, во-первых, способствовать осведомленности исследователей собственных учреждений о различных аспектах информационного поиска; во-вторых, обучать и консультировать ученых работе с мировыми базами данных научного цитирования?

– Смогут ли работники БИС гарантировать научному сообществу своих университетов не только качественное информационное обеспечение и онлайн-доступы к базам данных, но и предоставление собственного продукта – конечной информации, созданной ими в результате сбора и аналитико-синтетической обработки полученных данных, сделанных выводов, объединению с другой информацией (добыча данных – data mining) и составления рекомендаций?

Научная новизна и практическая значимость

Авторами данной работы обоснована и реализована практически возможность проведения библиометрических исследований с помощью программы Bibexel в условиях ограниченного доступа университетских библиотек Украины к международным полнотекстовым БД и базам данных научного цитирования.

Впервые в отечественной практике проведен библиометрический анализ метаданных статей в области железнодорожного транспорта из полнотекстовой БД ScienceDirect и выявлены наиболее «топовые» темы исследований: вопросы планирования высокоскоростного движения, определения критической скорости,

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

а также компьютерный расчет железнодорожных мостов.

Расширено представление об университетской библиотеке как структуре, которая переходит от управления научными коллекциями к управлению научными процессами.

Знание закономерностей информационных процессов, умение применять различные формы и методы исследований научных документальных потоков, в частности – библиометрические, позволят сотрудникам университетских библиотек принимать оптимальные решения по управлению информационными ресурсами с целью совершенствования процессов информационного обеспечения и обслуживания, в т.ч. оценки научного влияния публикаций ученых и научных журналов вуза.

Выводы

1. Библиометрия является мощным информационным инструментом поддержки развития науки. Она, как фундамент различных метрик, влияет на решение комплексных проблем мониторинга, учета, анализа и оценки качества результатов научной деятельности как отдельных университетов и других научных учреждений страны, так и науки Украины и мира в целом.

2. Сегодняшняя деятельность научных библиотек характеризуется фундаментальными изменениями, связанными с переходом от традиционных функций обслуживания и информационного обеспечения ученых к функциям распространения, анализа и оценки научного знания.

3. Новая парадигма деятельности университетских и других научных библиотек заключается в смещении вектора приоритетного внимания от услуг для читателя к услугам для автора-ученого.

4. Современная работа университетских библиотек мира по измерению влияния и видимости результатов научных исследований вузов в мире (в т.ч. работа с библиометрическими показателями как индикаторами развития науки) постепенно становится одним из ведущих направлений их деятельности.

5. Чрезвычайно важным является вопрос формирования партнерских отношений с ключевыми заинтересованными сторонами с тем,

чтобы обеспечить последовательное и качественное проведение информетрических исследований (библиометрических, наукометрических, вебометрических, альтметрических).

6. Учитывая востребованность и перспективность информационной аналитики в деятельности научных библиотек мира, необходимым является скорейшая организация системы обучающих семинаров, курсов повышения квалификации информетрического направления в рамках системы многоуровневого информационно-библиотечного образования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бережняк, О. Бібліометрія як метод аналізу стану книговидання [Електронний ресурс] / Олена Бережняк / Адаптація завдань і функцій наук. б-ки до вимог розвитку цифр. інформац. ресурсів : матер. міжнар. конф. (08.10.2013). – Режим доступа: <http://conference.nbuv.gov.ua/site/reports/id/17>. – Загл. с экрана. – Проверено : 30.06.2015.
2. Галявиева, М. С. О новой роли научных библиотек в современной информационной среде научной коммуникации / М. С. Галявиева // Вестн. Казан. гос. ун-та культуры и искусств. – Казань, 2014. – № 1. – С.104–109.
3. Колесникова, Т. А. Интеграция украинской отраслевой научной периодики в мировое научно-информационное пространство: проблемы и решения / Т. А. Колесникова // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 6 (48). – С. 7–22. doi: 10.15802/stp2013/19835.
4. Колесникова, Т. А. Коммуникационные модели деятельности библиотек высшей школы / Т. А. Колесникова // Библиотековедение. – 2014. – № 1. – С. 114–122.
5. Колесникова, Т. О. Науково-видавничу модель «Library Publishing» в університетських бібліотеках України та світу / Т. О. Колесникова, А. І. Миргородська // Вісн. Кн. палати. – 2015. – № 3. – С. 24–28.
6. Колесникова, Т. О. Цифрові сервіси бібліотек ВНЗ із забезпечення розвитку науки / Т. О. Колесникова // Б-ки ВНЗ України у процесі імплементації Закону «Про вищу освіту» та інформатизації сусп-ва : матер. Всеукр. наук.-практ. конф. Ів.-Франківськ (16.06-19.06.2015). – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2015. – С. 147–160.
7. Маркусова, В. А. Введение. К 50-летию Science Citation Index: история и развитие наукометрии

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

- // Рук. по наукометрии: индикаторы развития науки и технологии / М. А. Акоев, В. А. Маркусова, О. В. Москалева, В. В. Писляков. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – С. 14–48. doi: 10.15826/B978-5-7996-1352-5.0003.
8. Маршакова-Шайкевич, И. В. Россия в мировой науке. Библиометрический анализ / И. В. Маршакова-Шайкевич. – Москва : ИФРАН, 2008. – 227 с.
 9. Отле, П. Библиотека, библиография, документация: Избранные труды пионера информатики / П. Отле // Рос. гос. б-ка ; [пер. с англ и фр. Р. С. Гиляревского и др.]. – Москва : ФАИР-ПРЕСС, Пашков дом, 2004. – 349 с.
 10. Фокеев, В. А. Библиографическая наука и практика : терминология / В. А. Фокеев. – Санкт-Петербург : Профессия, 2008. – 272 с.
 11. Beck, S. E. Practical Research Methods for Librarians and Information Professionals / Susan E. Beck, Kate Manuel. – New York, NY : Neal-Schuman Publishers, 2008. – 309 p. doi: 10.3163/1536-5050.96.4.020.
 12. Bibliometrics [Электронный ресурс] // Oxford English Dictionary. – Режим доступа: <http://www.oed.com/view/Entry/241665?redirectedFrom=Bibliometrics#eid>. (дата обращения 30.06.2015). – Загл. с экрана. – Проверено : 07.08.2015.
 13. Egghe, L. Expansion of the field of informetrics: origins and consequences / L. Egghe // Information Processing & Management. – 2005. – Vol. 41. – Iss. 6. – P. 1311–1316. doi: 10.1016/j.ipm.-2005.03.011.
 14. Library Research Support in Queensland : A Survey / Joanna Richardson, Therese Nolan-Brown, Pat Loria, Stephanie Bradbury // Australian Academic & Research Libraries. – 2012. – Vol. 43. – Iss. 4. – P. 258–277. doi: 10.1080/00048623.2012.10722287.
 15. Nahotko, M. Global Digital Library as part of e-Research infrastructure and Science 2.0 [Электронный ресурс] / Marek Nahotko. – Режим доступа: <http://eprints.rclis.org/20343/2/GDL.pdf>. (дата обращения 30.06.2015). – Загл. с экрана. – Проверено : 07.08.2015.
 16. Persson, O. How to use Bibexcel for various types of bibliometric analysis / O. Persson, R. Danell, J. Wiborg Schneider // Celebrating scholarly communication studies: A Festschrift for Olle Persson at his 60th Birthday, ed. F. Åström, R. Danell, B. Larsen, J. Schneider. – Leuven, Belgium : Intern. Society for Scientometrics and Informetrics, 2009. – P. 9–24.
 17. Pritchard, A. Statistical Bibliography or Bibliometrics? / Alan Pritchard // J. of Documentation. – 1969. – Vol. 25, № 4. – P. 348–349.
 18. Wilson, V. Research Methods: Bibliometrics / Virginia Wilson // Evidence Based Library and Information Practice. – 2012. – Vol 7, № 3. – P. 121–123.
 19. Wormell, I. Informetrics: an emerging subdiscipline in information science / Irene Wormell // Asian Libraries. – 1998. – Vol. 7, № 10. – P. 257–268. doi: 10.1108/101767498102418.

Т. О. КОЛЕСНИКОВА^{1*}, О. В. МАТВЕЄВА²

^{1*}Науково-технічна бібліотека, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 05, ел. пошта lib@b.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-4603-4375

^{2*}Науково-технічна бібліотека, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 05, ел. пошта diit.media@gmail.com, ORCID 0000-0002-2616-0454

ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ: БІБЛІОМЕТРІЯ

Мета. Основні показники результативності наукових досліджень – бібліометричні показники, є потужним інформаційним інструментом підтримки розвитку науки. Тому сьогодні в усьому світі вони відносяться до обов’язкових елементів у звітності наукових установ, університетів, дослідницьких груп та окремих учених. Виходячи з вищевикладеного, метою статті є: 1) розкриття основних понять в бібліометрії; 2) визначення ролі університетських бібліотек у процесах вимірювання університетської науки; 3) опис методики програми Bibexcel для аналізу метаданих наукових статей. **Методика.** Теоретичною базою дослідження стали публікації, що висвітлюють сучасні процеси в бібліо- та наукометрії. Практичною базою – метадані статей, розміщених у: 1) БД Scopus, авторами яких є вчені Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, 2) БД ScienceDirect, присвячені розвитку залізничного

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

транспорту. **Результати.** У ході проведення дослідження авторами було розкрито основні бібліометричні поняття. Описана методика програми Bibexel для аналізу метаданих, а саме – аналізу зв'язків між співавторами та аналізу ключових слів. З її допомогою визначено, що найбільш «топовими» темами для дослідників усього світу в галузі залізничного транспорту в 2015 р є: планування високошвидкісного руху, визначення критичної швидкості, комп'ютерний розрахунок залізничних мостів. Доведено, що сьогодні робота університетських бібліотек світу з бібліометричними показниками як індикаторами розвитку науки поступово стає одним із провідних напрямів їх діяльності. **Наукова новизна.** Авторами обґрунтована та реалізована можливість проведення бібліометричних досліджень за допомогою програми Bibexel в умовах обмеженого доступу університетських бібліотек України до міжнародних повнотекстових БД і баз даних наукового цитування. Розширено уявлення про університетську бібліотеку як структуру, яка переходить від управління науковими колекціями до управління науковими процесами. **Практична значимість.** Результати даного дослідження можуть бути використані: 1) при прийнятті оптимального рішення з управління інформаційними ресурсами з метою вдосконалення процесів інформаційного забезпечення та обслуговування, в т.ч. оцінки наукового впливу публікацій вчених і наукових журналів ВНЗ; 2) при організації системи навчальних семінарів, курсів підвищення кваліфікації, майстер-класів, лекцій із інформетрії.

Ключові слова: наукові дослідження; методики оцінювання розвитку науки; бібліометрія; бібліометричні показники; університетська наука; університетські бібліотеки; програма Bibexel; інформетрія

T. O. KOLESNYKOVA^{1*}, O. V. MATVEYEVA²

^{1*}Scientific and Technical Library, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 371 51 05, e-mail lib@b.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-4603-4375

²Scientific and Technical Library, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 371 51 05, e-mail diit.media@gmail.com, ORCID 0000-0002-2616-0454

PERFORMANCE ASSESSMENT OF THE RESEARCH: BIBLIOMETRICS

Purpose. Key performance indicators of the research are bibliometric ones which are a powerful informative tool to support the development of science. Therefore, nowadays in the world they are related to the obligatory elements in reporting of scientific institutions, universities, research groups and individual scientists. Based on the above stated, the purpose of the article is: 1) disclosure of concepts in bibliometrics; 2) definition the role of university libraries in the processes of University research measuring; 3) description the program Bibexel methodology for the analysis of the scientific articles metadata. **Methodology.** The theoretical base of the research is publications covering contemporary developments in bibliometrics and scientometrics. Practical foundation – the metadata of articles posted in: 1) Scopus database, authors are the scientists of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2) ScienceDirect database, dedicated to the development of railway transport. **Findings.** In the course of the study authors have disclosed principal bibliometric concepts. A Bibexel program method for analyzing metadata, namely analysis of the links between co-authors and keyword was described. With its help it was determined that the most «top» topics for researchers all over the world, in the field of railway transport in 2015 year are: planning a high-speed movement, the critical speed definition, computer calculation of railway bridges. It was proved that today the work of University libraries in the world with bibliometric indicators as an indicators of the science development, becomes one of the leading direction of their activity. **Originality.** The authors substantiated and realized the bibliometric researchability, using Bibexel program in the conditions of limited access at the university libraries in Ukraine to international full-text databases and Science Citation one. Vision about the University library as a structure that moves up from the management by scientific collections to the management by scientific processes was broadened. **Practical value.** The results of this study can be used: 1) in making the optimal decision upon managing the information resources in order to improve the processes of information application and services, including scientific impact assessment of scientists publications and scientific journals of the Universities; 2) in the organization of training seminars, training courses, workshops, informetrics lectures.

Keywords: research; methodology for assessing the development of science; bibliometrics; bibliometric indicators; University science; University libraries; Bibexel program; informetrics

REFERENCES

1. Berezhniak O. Bibliometriia yak metod analizu stanu knyhovydannia [Bibliometrics as an analysis method of book publishing state]. *Materialy mizhnarodnoi konferentsii «Adaptatsiia zavdan i funktsii naukovoï biblioteki do vymoh rozvytku tsyfrovyykh informatsiinykh resursiv: (08.10.2013)»* [Assignments and functions adaptation of a science library to the requirements of digital informative resources development]. Available at: <http://conference.nbuv.gov.ua/site/reports/id/17> (Accessed 30 June 2015).
2. Galyavieva M.S. O novoy roli nauchnykh bibliotek v sovremennoy informatsionnoy srede nauchnoy kommunikatsii [About the new role of research libraries in the modern information environment of scientific communication]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta kultury i iskusstv* [Bulletin of Kazan State University of Culture and Art], 2014, no. 1, pp.104-109.
3. Kolesnikova T.A. Integratsiya ukrainskoy otraslevoy nauchnoy periodiki v mirovoye nauchno-informatsionnoye prostranstvo: problemy i resheniya [Integration of Ukrainian industry scientific periodicals into world scientific information space: problems and solutions]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 6 (48), pp. 7-22. doi: 10.15802/stp2013/19835.
4. Kolesnykova T.A. Kommunikatsionnyye modeli deyatelnosti bibliotek vyshey shkoly [Communication models of high school libraries activity]. *Bibliotekovedeniye – Library Science*, 2014, no. 1, pp. 114-122.
5. Kolesnykova T.O., Myrhorodska A.I. Naukovo-vydavnycha model «Library Rublishing» v universytetskykh bibliotekakh Ukrainy ta svitu [Scientific and publishing model «Library Rublishing» in the university libraries of Ukraine and in the world]. *Visnyk Knyzhkovoi palaty – Bulletin of the Book Chamber*, 2015, no. 3, pp. 24-28.
6. Kolesnykova T.O. Tsyfrovi servisy bibliotek VNZ iz zabezpechennia rozvytku nauky [Digital library services of Universities to ensure the development of science]. *Materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Biblioteki VNZ Ukrainy u protsesi implementatsii Zakonu «Pro vyshchu osvitu» ta informatyzatsii suspilstva (16.06-19.06.2015)»* [Proc. of Ukrainian Sci. and Practical Conf. Libraries of universities in Ukraine during the implementation process the Law «On education» and society information]. Ivano-Frankivsk, 2015, pp. 147-160.
7. Akoyev M.A., Markusova V.A., Moskaleva O.V., Pislyakov V.V. Vvedeniye. K 50-letiyu Science Citation Index: istoriya i razvitiye naukometrii. *Rukovodstvo po naukometrii: indikatory razvitiya nauki i tekhnologii* [Introduction. By the 50th anniversary of the Science Citation Index: history and development of scientometrics. Guideline on scientometrics: Indicators of science and technology development]. Yekaterinburg, Uralskiy Universitet Publ., 2014, pp. 14–48. doi 10.15826/B978-5-7996-1352-5.0003.
8. Marshakova-Shaykevich I.V. Rossiya v mirovoy nauke. *Bibliometricheskii analiz* [Russia in World science. Bibliometric analysis]. Moscow, IFRAN Publ., 2008. 227 p.
9. Otle P. *Biblioteka, bibliografiya, dokumentatsiya: Izbrannyye trudy pionera informatiki* [Library, bibliography, documentation: Selectas of the pioneer in Informatics]. Moscow, FAIR-PRYeSS, Pashkov Dom Publ., 2004. 349 p.
10. Fokeyev V.A. *Bibliograficheskaya nauka i praktika: terminologicheskii slovar* [Bibliography Science and Practice: Dictionary of Terms]. Saint-Petersburg, Professiya Publ., 2008. 272 p.
11. Beck S.E., Manuel K. *Practical Research Methods for Librarians and Information Professionals*. New York, NY, Neal-Schuman Publishers Publ., 2008. 309 p. doi: 10.3163/1536-5050.96.4.020.
12. Bibliometrics. Oxford English Dictionary. Available at: <http://www.oed.com/view/Entry/241665?redirectedFrom=Bibliometrics#eid> (Accessed 07 August 2015).
13. Egghe L. Expansion of the field of informetrics: origins and consequences. *Information Processing & Management*, 2005, vol. 41, issue 6, pp. 1311-1316. doi: 10.1016/j.ipm.2005.03.011.
14. Richardson J., Nolan-Brown Th., Loria P., Bradbury S. Library Research Support in Queensland: A Survey. *Australian Academic & Research Libraries*, 2012, vol. 43, issue 4, pp. 258-277. doi: 10.1080/00048623.2012.10722287.
15. Nahotko M. Global Digital Library as part of e-Research infrastructure and Science 2.0. Available at: <http://eprints.rclis.org/20343/2/GDL.pdf> (Accessed 07 August 2015).
16. Persson O., Danell R., Schneider J.W. How to use Bibexcel for various types of bibliometric analysis. Celebrating scholarly communication studies: A Festschrift for Olle Persson at his 60th Birthday, ed. F. Åström,

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

- R. Danell, B. Larsen, J. Schneider. Leuven, Belgium, Int. Society for Scientometrics and Informetrics, 2009, pp. 9-24.
17. Pritchard A. Statistical Bibliography or Bibliometrics? *Journal of Documentation*, 1969, vol. 25, no. 4, pp. 348-349.
18. Wilson V. Research Methods: Bibliometrics. *Evidence Based Library and Information Practice*, 2012, vol. 7, no. 3, pp. 121-123.
19. Wormell I. Informetrics: an emerging subdiscipline in information science. *Asian Libraries*, 1998, vol. 7, no. 10, pp. 257-268. doi: 10.1108/10176749810241838.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. С. В. Мямлиным (Украина); д.ист.н., проф. В. А. Ильганаевой (Украина)

Поступила в редколлегию 30.03.2015

Принята к печати 30.06.2015

УДК 625.31:656.224.072.44

В. Г. КУЗНЕЦОВ¹, П. О. ПШІНЬКО², І. В. КЛИМЕНКО³, А. В. ГУМЕНЮК^{4*},
С. М. ЗАГОРУЛЬКО⁵¹Каф. «Електропостачання залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 373 15 25, ел. пошта vkuz@i.ua, ORCID 0000-0003-4165-1056²Каф. «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 776 83 10, ел. пошта mostoproekt@yandex.ua, ORCID 0000-0003-4187-5340³СПКТБЗТ «Інфратранспроєкт-ДПТ», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 776 83 10, ел. пошта klimentkoigor0212@gmail.com, ORCID 0000-0003-1194-4755^{4*}СПКТБЗТ «Інфратранспроєкт-ДПТ», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 776 83 10, ел. пошта angumenyuk@ua.ru, ORCID 0000-0002-5717-5106⁵СПКТБЗТ «Інфратранспроєкт-ДПТ», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 776 83 10, ел. пошта zaga1010@mail.ru, ORCID 0000-0001-8064-484XПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТУРИЗМУ УКРАЇНИ
НА ВУЗЬКОКОЛІЙНИХ ЛІНІЯХ ЗАКАРПАТТЯ

Мета. Наукова робота має за мету: 1) визначення перспектив розвитку залізничного туризму України на вузькоколійних лініях Закарпаття; 2) аналіз технічного стану Боржавської вузькоколійної залізниці для реалізації проекту відновлення ефективного функціонування гірських залізниць шириною колії 750 мм в Карпатському регіоні з подальшою можливістю їх приєднання до розгалуженої міжнародної туристичної мережі; 3) дослідження сучасного стану та тенденцій розвитку туристичної галузі України та пасажирського господарства вітчизняних залізниць; 4) висвітлення ролі та місця залізничного туризму в системі перевезень.

Методика. Експертною групою виконувались виїзні огляди та натурні дослідження об'єктів колійного господарства та пасажирської інфраструктури, рухомого складу й допоміжних виробництв, що задіяні у функціонуванні вузькоколійної залізниці. Було оцінено загальний технічний стан залізничної колії та штучних споруд ділянки вузькоколійної залізниці в Карпатському регіоні. **Результати.** У рамках виїзних огледів експертною групою встановлено, що об'єкти колійного господарства, пасажирської інфраструктури, рухомого складу та допоміжних виробництв, задіяних у функціонуванні вузькоколійної залізниці, знаходяться в занедбаному стані та потребують значних оновлень і капітального ремонту. Але маршрути проходження пасажирських поїздів залишаються придатними для участі в проекті розвитку залізничного туризму України. **Наукова новизна.** Вперше зроблено аналіз стану вузькоколійної залізниці для подальшої реалізації проекту з розвитку залізничного туризму в Україні. Виконано аналіз зарубіжного досвіду організації залізничного туризму. Досліджено сучасний стан і тенденції розвитку туристичної галузі України, визначено та систематизовано фактори конкурентоспроможності залізничного транспорту для забезпечення туристичних перевезень в Україні. **Практична значимість.** Відновлення та ефективне функціонування гірських залізниць шириною 750 мм у Карпатському регіоні дасть поштовх розвитку туризму, машинобудуванню, будівництву та енергетики. В той же час дані дії дозволять нарешті здійснити науково обґрунтовані ефективні протиаварійні заходи, які захистять населення від стихійних екологічних лих.

Ключові слова: вузькоколійна залізниця; туризм; інфраструктура; колія; штучні споруди; відновлення; капітальний ремонт

Вступ

Загальновідомо, що туризм – один з напрямків ефективного розвитку економіки, підтримки територіальних громад, створення нових робочих місць та поповнення місцевого бю-

джету [10]. Найяскравішим прикладом, що підтверджує вищезазначену думку, є «економічне чудо» Об'єднаних Арабських Еміратів (ОАЕ), адже лише 30 років тому 73 % ВВП ОАЕ забезпечувались доходами від видобутку та продажу нафти. Але ефективні та далекоглядні рішення

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

найвищого керівництва Еміратів вже сьогодні забезпечують можливість зниження залежності їх економіки від нафтовидобувної галузі та суттєво диверсифікують напрямки надходжень до бюджету. Одним із напрямків диверсифікації є туристична галузь. Відповідно до загально-розповсюджених у світових ЗМІ даних доходи від туризму, що складали у 2013 р. 14 % ВВП ОАЕ, більш ніж у два рази перевищили відповідні доходи від продажу нафти, що у 2013 р. складали 5 % ВВП.

Враховуючи величезну кількість пам'ятних історичних місць, особливості культури та побуту етносу, унікальні гірські та рівнинні місцевості, природні заказники, узбережжя Чорного та Азовського морів, Україна, безумовно, має шанси стати «туристичною Меккою» як у європейському, так і світовому масштабах. І першим поштовхом для цього має бути розвиток сучасної європейської транспортної інфраструктури: будівництво та ремонт авто- та залізничних доріг, доведення якості обслуговування пасажирів до найвищих світових стандартів. В Європі накопичено великий досвід щодо організації туристських перевезень, які організовуються екскурсійними поїздами. Найбільш розвинено залізничний туризм в Німеччині, Швеції, Швейцарії, США, Індії. Фірма Wagon Lit є найпотужнішим європейським турсоператором, що організовує подорожі на швидкісних та супершвидкісних експресах. На американському континенті функціонують маршрути Транс-Канада, Транс-Америка, Транс-Атлантика [11]. Залізничний туризм зручний для людей у більшості країн і має такі переваги, як більш спокійний спосіб переміщення, можливість насолоджуватися краєвидами, підвищений комфорт [16].

Для ефективного розвитку залізничного туризму його необхідно вивчати на теоретичному рівні, досліджувати його особливості порівняно з іншими видами туризму, планувати етапи його реалізації в Україні [7]. В [8] висвітлюються перспективи впровадження в Україні подієвого залізничного туризму. Подієвий туризм – це різновид туризму, основна мета якого присвячена якій-небудь історичній події. Найбільш поширені – фестивальний і гастрономічний різновиди подієвого туризму.

Враховуючи широку розгалуженість заліз-

ничних колій України, роль залізничного транспорту на ринку туристичних перевезень має всі шанси на звання – головного. Адже залізничний транспорт є безпечним, економічним, екологічним та найбільш зручним для перевезення до пунктів призначення великої кількості пасажирів, саме тому і було вирішено розглянути перспективу його застосування для переміщення вітчизняних і зарубіжних екскурсантів.

Аналіз європейського досвіду впровадження та реалізації програм залізничного туризму вказує на можливість суттєвого підвищення рівня життя місцевих громад, внаслідок функціонування гірських вузькоколіїних залізниць як туристичних об'єктів. Розвиток вузькоколіїнок як туристичних об'єктів дає суттєвий поштовх для створення відповідної туристичної інфраструктури: будівництва готелів, баз відпочинку, що, безумовно, призведе до створення нових робочих місць, вливань коштів приватних інвесторів у розвиток туристичного бізнесу регіону.

Як один із прикладів, можливості застосування залізничного транспорту в туристичній галузі є частково збережена до сьогодні мережа діючих вузькоколіїних залізниць (з шириною колії в 750 мм), побудовані за часів Австро-Угорщини у Карпатському регіоні України. На початку XX століття тільки по Закарпаттю проходило більше тисячі кілометрів вузькоколіїнок різного господарського призначення. В основному їх прокладали у гори – для перевезення лісоматеріалів.

Мета

Метою роботи є визначення перспектив розвитку залізничного туризму України на вузькоколіїних лініях Закарпаття та аналіз технічного стану об'єктів колійного господарства, пасажирської інфраструктури, рухомого складу і допоміжних виробництв, задіяних у функціонуванні Боржавської вузькоколіїної залізниці відповідно до нормативних документів [2–6], виконання робіт з економічного, соціального і технічного обґрунтування можливості включення цієї вузькоколіїнки в сукупність туристичних напрямків України.

Реалізація проекту відновлення ефективного функціонування гірських залізниць шириною колії 750 мм в Закарпатті дасть можливість

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

приєднати їх до розгалуженої міжнародної туристичної мережі. Його впровадження дасть поштовх розвитку туристичної інфраструктури регіону, машинобудуванню, будівництву та енергетиці, створенню нових робочих місць. Це дозволить територіальним громадам гірських районів наблизити до кожного будинку всі принади цивілізації і, як наслідок, зупинити міграційні процеси, викликані безробіттям.

Методика

Нещодавно свій столітній ювілей відзначила Боржавська вузькоколія, яка з'єднує район Іршаву із селом Хмільник, містом Виноградів та містом Берегове (в народі її називають «Кушницька Анця»). Від колишньої залізниці, довжиною понад 100 км, яка закінчувалась у мальовничій місцевості Українських Карпат, залишилось приблизно 62 км. Цим транспортом щодня у своїх справах їздять близько півтисячі місцевих жителів. За словами залізничників, що її експлуатують, ця залізниця є збитковою. Хоча автори статті мали нагоду особисто переконатись у туристичній привабливості цього об'єкта інфраструктури та туристичного потенціалу його оточуючої місцевості.

Між тим, в Європі вузькоколії – це об'єкти для особливого виду туризму. У сусідній Угорщині зараз беззбитково діють два десятки вузькоколії. А в Польщі гірська Бещадська дорога протяжністю всього 35 км щорічно перевозить 40 тисяч туристів і отримує 100 тис. євро прибутку.

В рамках співпраці з «Європейським союзом транспортників України», активована реалізація проекту відновлення ефективного функціонування гірських залізниць шириною колії 750 мм в Закарпатті з подальшою можливістю їх приєднання до розгалуженої міжнародної туристичної мережі.

Проект передбачає, зокрема, дослідження сучасного стану та тенденцій розвитку туристичної галузі України та пасажирського господарства вітчизняних залізниць, а також роль і місце залізничного туризму в системі перевезень, аналіз закордонного досвіду організації залізничного туризму, визначення та систематизацію факторів конкурентоспроможності залізничного транспорту для забезпечення туристичних перевезень в Україні тощо.

Управління таким великим проектом, як проект з відновлення функціонування гірських залізниць, доцільно здійснювати відповідно до сучасних принципів. Згідно зі стандартом ANSI PMI PMBOOK (Project Management Body of Knowledge) існують такі фази впродовж життєвого циклу проекту:

- фаза ініціації – постановка цілей, збір вимог, розробка концепції проекту;
- фаза розробки – планування проекту;
- фаза реалізації – поетапний процес виконання проекту;
- фаза завершення – процес виходу з проекту.

Життєвий цикл проекту з відновлення функціонування гірських вузькоколіїних залізниць може бути поділений на такі фази:

- дослідження технічного стану гірських вузькоколіїних залізниць;
- прикладні та дослідно-конструкторські розробки;
- випробування туристських маршрутів;
- запуск туристських залізничних маршрутів;
- просування і реалізація.

Ефективне виконання процесів проекту вимагає від менеджера проекту знань в таких галузях:

- управління людськими ресурсами (Project Human Resource Management);
- управління витратами (Project Cost Management);
- управління змістом (Project Scope Management);
- управління термінами (Project Time Management);
- управління якістю (Project Quality Management);
- управління комунікаціями (Project Communication Management);
- управління ризиками (Project Risk Management);
- управління постачаннями і контрактами (Project Procurement And Contracts Management).

Нещодавно розпочала роботу відповідна експертна група. До її складу увійшли голова Громадської ради при Закарпатській ОДА Федір Харута, науковці Дніпропетровського національного університету залізничного транспор-

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ту ім. академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ) та представники ДТГО «Львівська залізниця».

Експертна група виконала виїзні огляди об'єктів колійного господарства та інфраструктури, що задіяні у функціонуванні вузькоколійної залізниці протяжністю майже 50 км. В рамках огляду було оцінено стан штучних споруд і залізничної колії на лінії Берегове – Хмільник, Хмільник – Виноградів, Хмільник – Іршава.

Натурні дослідження комісії показали, що загальний стан колії цієї залізниці може характеризуватись як незадовільний. Колія укладена на дерев'яних шпалах (деякі залізобетонні, менше 5 % від загальної кількості, індивідуального проектування). Майже на всій довжині колії відсутній щебеневий баласт, наявні дефекти шпал. Щодо ж технічного стану рухомого складу – він потребує суттєвого оновлення, на час обстеження експлуатувався лише один поїзд (рис. 1), що складався з тепловоза та двох пасажирських вагонів. Але мусимо зазначити, що мальовничі краєвиди за вікном цього поїзда (рис. 2) змушують повністю забути про технічний стан вузькоколійки. Адже навіть діюча ділянка колії пролягає із мальовничого передгір'я Карпат до Закарпатських рівнин, минаючи гірські струмки, річки, ліси та цілину, де мешкають дикі тварини і птахи.

Боржавську вузькоколійку можна розділити на три ділянки, а саме: ст. Берегове – ст. Хмільник; ст. Виноградів – ст. Хмільник; ст. Хмільник – ст. Іршава, технічний стан яких було проаналізовано окремо.

На ділянці Берегове – Хмільник розташовані 96 водопропускних труб та 5 малих залізобетонних мостів. Загальний технічний стан штучних споруд на цій ділянці – задовільний. Водопропускні труби потребують розчищення вхідного та вихідного русел водотоків, на мостах необхідне відновлення експлуатаційних облаштувань (перильна огорожа, тротуарний настил), розчищення підмостового русла.

На вузькоколійній ділянці Виноградів – Хмільник розташовані такі штучні споруди:

- водопропускні труби – 37 шт;
- металеві мости – 2 шт;
- залізобетонні мости – 7 шт.

Колія укладена на дерев'яних шпалах (деякі залізобетонні, індивідуального проектування). Водопропускні труби знаходяться в задовіль-

ному стані, але, як і на попередній ділянці, потребують розчищення вхідного та вихідного русел водотоків. На ділянці знаходяться два металеві мости. Перший – середній міст за схемою 19,80+52,00+19,20 на ПК 191+1,4 був побудований у 1884 році (рис. 3 і 4).



Рис. 1. Рухомий склад Боржавської вузькоколійки

Fig. 1. The rolling stock of Borzhava narrow gauge railway



Рис. 2. Місцевість навколо вузькоколійки

Fig. 2. The area around the narrow gauge railway



Рис. 3. Загальний вигляд мосту на ПК 191+1,4

Fig. 4. General view of bridge on PC 191+1,4

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ



Рис. 4. Загальний вигляд мостового полотна

Fig. 4. General view of the bridge road

Другий середній міст за схемою 2 10,00 м на ПК 183+94,1 (рис. 5 і 6) має металеві прогонові будови – балочні з суцільною стінкою із їздою по верху.



Рис. 5. Загальний вигляд мосту на ПК 183+94,1

Fig. 5. General view of the bridge on PC 183+94,1

Загальний технічний стан обох мостів – задовільний. Необхідне відновлення експлуатаційних облаштувань (перильна огорожа, тротуарний настил), розчищення підмостового русла.

Загальний технічний стан залізобетонних мостів на лінії – задовільний. Необхідне відновлення баластної призми на прогонових будовах (рис. 7), відновлення експлуатаційних облаштувань (перильна огорожа, тротуарний настил), усунення незначних дефектів бетону (рис. 8).

Загальний технічний стан колії на лінії Іршава – Хмільник – незадовільний. Відсутній щебеневий баласт, наявність дефектів шпал. Колія укладена на дерев'яних шпалах (деякі

залізобетонні, індивідуального проектування). Загальний вигляд залізничної колії зображено на рис. 9.



Рис. 6. Загальний вигляд мостового полотна на ПК 183+94,1.

Fig. 6. General view of the bridge on PC 183+94,1



Рис. 7. Загальний вигляд мосту на ПК 86+04,5.

Fig. 7. General view of the bridge on PC 86+04,5



Рис. 8. Загальний вигляд мостового полотна

Fig. 8. General view of the bridge road

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ



Рис. 9. Загальний вигляд залізничної колії

Fig. 9. General view of a railway track

На ділянці Іршава – Хмільник розташовані такі штучні споруди:

- водопропускні труби – 46 шт;
- металеві мости – 1 шт;
- залізобетонні мости – 15 шт.

Водопропускні труби знаходяться в задовільному стані, але потребують розчищення вхідного та вихідного русел водотоків.

Залізобетонний міст на ПК 429+04,9 знаходиться в аварійному стані – відсутня проміжна опора (рис. 10 і 11), через що змінена статична схема роботи мосту.



Рис. 10. Загальний вигляд мосту на ПК 429+04,9

Fig. 10. General view of the bridge on PC 429+04,9



Рис. 11. Загальний вигляд мостового полотна

Fig. 11. General view of the bridge road

Інші залізобетонні мости на лінії знаходяться в задовільному стані. Потребують відновлення баластної призми на прогонових будовах, відновлення експлуатаційних облаштувань (перильна огорожа, тротуарний настил), усунення незначних дефектів бетону та розчищення підмостового русла.

Результати

Експертною групою виконані виїзні огляди об'єктів колійного господарства, пасажирської інфраструктури, рухомого складу і допоміжних виробництв, задіяних у функціонуванні вузькоколійної залізниці протяжністю майже 50 км, що дозволить визначити обсяги робіт для відновлення залізничних колій шириною 750 мм та супутньої інфраструктури.

В результаті огляду встановлено, що інфраструктура вузькоколійної залізниці знаходиться в занедбаному стані і потребує значних оновлень і капітального ремонту з причини фінансування цієї дороги протягом більше ніж 20 років за залишковим принципом. Але маршрути проходження пасажирських поїздів залишаються придатними для участі в проекті розвитку залізничного туризму України.

Наукова новизна та практична значимість

Для подальшої реалізації проекту з розвитку залізничного туризму в Україні вперше було зроблено аналіз стану вузькоколійної залізниці.

Практична значимість цього проекту дуже значна, адже передбачає, зокрема, дослідження сучасного стану та тенденцій розвитку туристичної галузі України та пасажирського господарства вітчизняних залізниць, а також роль і місце залізничного туризму в системі перевезень, аналіз зарубіжного досвіду організації залізничного туризму, визначення та систематизацію факторів конкурентоспроможності залізничного транспорту для забезпечення туристичних перевезень в Україні тощо.

Крім того, відновлення та ефективне функціонування гірських залізниць шириною 750 мм в Закарпатському регіоні – проект не тільки реальний, а й економічно необхідний. Його впровадження дасть поштовх розвитку машинобудування, будівництва і енергетики і дозволить нарешті здійснити науково обґрун-

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

товані ефективні протипаводкові заходи, які забезпечать населення від стихійних та екологічних лих.

На сьогодні багаті природно-рекреаційні ресурси Закарпатського регіону – лікувальні мінеральні води, лісові, ландшафтні, гідрологічні і спелеологічні ресурси і об'єкти природного заповідного фонду – використовуються далеко не повною мірою. У тому числі і через слабку комунікаційну доступність перспективних для освоєння в туристично-рекреаційних цілях територій та незадовільний стан транспортної інфраструктури туристично-рекреаційного комплексу в гірських районах. Тому одним з головних завдань ефективного використання конкурентних переваг туристичної галузі Карпатського регіону є забезпечення доступності мережі спеціалізованих об'єктів профільної інфраструктури. У тому числі і вузькоколійною залізницею, якою одночасно можуть скористатися великі групи туристів.

Висновки

1. Виконані виїзні огляди об'єктів колійного господарства, пасажирської інфраструктури, рухомого складу і допоміжних виробництв, задіяних у функціонуванні вузькоколійної залізниці протяжністю майже 50 км, дозволяють визначити обсяги робіт для ремонту залізничних колій шириною 750 мм та супутньої інфраструктури. Це дає змогу почати роботи з економічного, соціального і технічного обґрунтування можливості включення цієї вузькоколійки до сукупності туристичних напрямків України. Доцільно виконати аналогічні роботи на всіх ділянках вузькоколійних залізниць Закарпаття й інших областей регіону для подальшої підготовки вихідних даних щодо визначення обсягу робіт і знаходження інвестицій для відновлення й ремонту залізничних колій шириною 750 мм і супутньої інфраструктури.

2. В рамках огляду встановлено, що інфраструктура вузькоколійної залізниці, з причини фінансування цієї дороги протягом більше 20 років за залишковим принципом, знаходиться в занедбаному стані й потребує значних оновлень і капітального ремонту. Але маршрути проходження пасажирських поїздів залишаються придатними для участі в проекті розвитку залізничного туризму України. Сьогодні заліз-

ниця використовується для пасажирського сполучення між населеними пунктами ділянки Виноградів–Хмільник–Іршава і відіграє важливу роль у суспільному житті регіону.

3. Дослідження існуючого стану мережі гірських вузькоколійних залізниць, що залишені у спадок Україні з часів Австро-Угорської Імперії, показали, що дані залізниці можуть викликати велику зацікавленість з-поміж вітчизняних та закордонних туристів як окремі туристичні об'єкти, так і як об'єкти туристичної інфраструктури, виконуючи роль карпатської туристичної транспортної мережі, що може стати ще однією туристичною родзинкою Закарпатського регіону. Тому, досить актуальною задачею є залучення коштів держави та приватних інвесторів для ремонту існуючих, відновлення розібраних та будівництва нових ділянок цих залізниць.

4. Проект з відновлення та ефективного функціонування гірських залізниць шириною 750 мм в Закарпатському регіоні має економічну та соціальну важливість. Його впровадження дасть поштовх розвитку машинобудування, будівництва і енергетики і дозволить нарешті здійснити науково обґрунтовані ефективні протипаводкові заходи, які забезпечать населення від стихійних та екологічних лих.

5. Після виконання технічного обстеження вузькоколійних залізниць Закарпаття й інших областей регіону автори планують розробити методи організації туристичних перевезень залізничним транспортом по всій Україні. Адже наша країна займає одне з провідних місць в Європі за рівнем забезпеченості цінними природними та культурними ресурсами. Зокрема, ми маємо такі об'єкти Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО, як собор Святої Софії та прилеглі монастирські споруди, Києво-Печерська лавра, ансамбль історичного центру Львова, пункти геодезичної дуги Струве, дерев'яні церкви Карпатського регіону, біосферний заповідник «Асканія-Нова» та інші. Саме тому створення системних і комплексних умов для поширення туризму та зміцнення курортів мають стати одним із пріоритетів забезпечення сталого розвитку як окремих регіонів, так і держави в цілому.

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Балака, Є. І. Організаційний аспект відродження та розвитку залізничного туризму на основі кластеризації / Є. І. Балака, Г. О. Сіваконева // Технолог. аудит и резервы пр-ва. – 2014. – № 1 (2). – С. 41–44.
2. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – Чинні від 2009–12–01. – Київ : Мінірегіонбуд України, 2009. – 36 с.
3. ДБН В.2.3-26:2010. Мости і труби. Сталеві конструкції. Правила проектування. – Чинні від 2011–10–01. – Київ : Мін-во регіонального розвитку та буд-ва України, 2011. – 195 с.
4. ДБН В.2.3-14:2006. Мости та труби. Правила проектування. – Чинні від 2007–02–01. – Київ : Мін-во буд-ва, архітектури та житл.-ком. госп-ва, 2006. – 367 с.
5. ДБН В.2.3-19-2008. Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм. Норми проектування. – Чинні від 2008–01–26. – Київ : Мінірегіонбуд України, 2009. – 126 с.
6. ДБН В.2.3-6:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробовування. – Чинні від 2010–03–01. – Київ : Мінірегіонбуд України, 2009. – 63 с.
7. Дергоусова, А. О. Позиціонування залізничного транспорту на ринку туристичних послуг / А. О. Дергоусова // Економіка. Фінанси. Право. – 2013. – № 12. – С. 4–7.
8. Познякова, О. В. Подієвий туристський потенціал України як напрям розвитку залізничного туризму / О. В. Познякова // Економіка і управління : зб. наук. пр. / Держ. економіко-технол. ун-т трансп. – Київ, 2012. – № 21–22 (1). – С. 290–294.
9. Поліщук, Д. О. Оцінювання стану колійного господарства Укрзалізниці / Д. О. Поліщук // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 4 – С. 203–211.
10. Пшінько, О. Перспективи розвитку залізничного туризму в Україні / О. Пшінько, Р. Вернигора, Р. Коробйова // Укр. залізниці. – 2014. – № 12. – С. 38–42.
11. Стрілець, В. І. Організація залізничного туризму в Україні як чинник підвищення прибутковості галузі / В. І. Стрілець, О. Ф. Ялбуган // Пробл. економіки трансп. : зб. наук. пр. ДНУЗТ. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 1. – С. 114–117.
12. Супонєва, В. П. Розвиток залізничного туризму України та утворення нового підрозділу з управління залізничним туризмом / В. П. Супонєва // Вісн. економіки трансп. і пром-ті : зб. наук.-практ. стат. / Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Харків, 2009. – Вип. 25. – С. 137–140.
13. Blancheton, B. The three systems of rail tourism: French case / B. Blancheton // Tourism Management Perspective. – 2013. – № 5. – P. 31–40. doi: 10.1016/j.tmp.2012.09.008.
14. Bramwell, B. Tourism collaboration and partnerships: Politics, practice and sustainability / B. Bramwell, B. Lane. – Clevedon : Channel View Publications, 2000. – 343 p.
15. Hannam, K. Developments and key issues in tourism nobilities / K. Hannam, G. Butler, C. Paris // Annals of Tourism Research. – 2014. – № 44. – P. 171–185. doi: 10.1016/j.annals.2013.09.010.
16. Hsu, Y. L. Global travel trend in rail tourism development / Y. L. Hsu, Y. S. Ting, K. Y. Chen // Актуальні пробл. економіки. – 2013. – № 11. – С. 536–541.

В. Г. КУЗНЕЦОВ¹, П. А. ПШИНЬКО², И. В. КЛИМЕНКО³, А. В. ГУМЕНЮК^{4*},
С. М. ЗАГОРУЛЬКО⁵

¹Каф. «Електроснабження железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 (056) 373 15 25, эл. почта vkuz@i.ua, ORCID 0000-0003-4165-1056

²Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 776 83 10, эл. почта mostoproekt@yandex.ua, ORCID 0000-0003-4187-5340

³СПКТБЖТ «Инфратранспроект-ДИИТ», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 776 83 10, эл. почта klimentkoigor0212@gmail.com, ORCID 0000-0003-1194-4755

^{4*}СПКТБЖТ «Инфратранспроект-ДИИТ», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 776 83 10, эл. почта angumenyuk@ua.ru, ORCID 0000-0002-5717-5106

⁵СПКТБЖТ «Инфратранспроект-ДИИТ», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 776 83 10, эл. почта zaga1010@mail.ru, ORCID 0000-0001-8064-484X

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТУРИЗМА УКРАИНЫ НА УЗКОКОЛЕЙНЫХ ЛИНИЯХ ЗАКАРПАТЬЯ

Цель. Научная работа своей целью имеет: 1) определение перспектив развития железнодорожного туризма Украины на узкоколейных линиях Закарпатья; 2) анализ технического состояния Боржавской узкоколейки для реализации проекта восстановления эффективного функционирования горных железных дорог шириной пути 750 мм в Карпатском регионе с последующей возможностью их присоединения к распределённой туристической сети; 3) исследование современного состояния и тенденций развития туристической отрасли Украины и пассажирского хозяйства отечественных железных дорог; 4) выяснение роли и места железнодорожного туризма в системе перевозок. **Методика.** Экспертной группой выполнялись выездные осмотры и натурные исследования объектов путевого хозяйства и пассажирской инфраструктуры, подвижного состава и вспомогательных производств, задействованных в функционировании узкоколейной железной дороги. Было оценено общее техническое состояние железнодорожного пути и искусственных сооружений участка узкоколейной железной дороги в Карпатском регионе. **Результаты.** В рамках выездных осмотров экспертной группой установлено, что объекты путевого хозяйства, пассажирской инфраструктуры, подвижного состава и вспомогательных производств, задействованных в функционировании узкоколейной железной дороги, находятся в запущенном состоянии и требуют значительных обновлений и капитального ремонта. Но маршруты следования пассажирских поездов остаются пригодными для участия в проекте развития железнодорожного туризма Украины. **Научная новизна.** Впервые выполнен анализ состояния узкоколейной железной дороги для последующей реализации проекта по развитию железнодорожного туризма в Украине. Выполнен анализ зарубежного опыта организации железнодорожного туризма. Исследовано современное состояние и тенденции развития туристической отрасли Украины, определены и систематизированы факторы конкурентоспособности железнодорожного транспорта для обеспечения туристических перевозок в Украине. **Практическая значимость.** Восстановление и эффективное функционирование горных железных дорог шириной 750 мм в Карпатском регионе даст толчок развитию туризма, машиностроения, строительства и энергетики. В то же время данные действия позволят наконец осуществить научно обоснованные эффективные противопаводковые мероприятия, которые обезопасят население от стихийных экологических бедствий.

Ключевые слова: узкоколейная железная дорога; туризм; инфраструктура; путь; искусственные сооружения; восстановление; капитальный ремонт

V. G. KUZNETSOV¹, P. O. PSHINKO², I. V. KLIMENKO³, A. V. GUMENYUK^{4*},
S. M. ZAHORULKO⁵

¹Dep. «Power Supply of the Railways», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. + 38 (056) 373 15 25, e-mail vkuz@i.ua, ORCID 0000-0003-4165-1056

²Dep. «Construction Production and Geodesy», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 776 83 10, e-mail mostoproekt@yandex.ua, ORCID 0000-0003-4187-5340

³SPCTBRT «Infratransproyekt-DIIT», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 776 83 10, e-mail klimenkoigor0212@gmail.com, ORCID 0000-0003-1194-4755

^{4*}SPCTBRT «Infratransproyekt-DIIT», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 776 83 10, e-mail angumenyuk@ya.ru, ORCID 0000-0002-5717-5106

⁵SPCTBRT «Infratransproyekt-DIIT», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 776 83 10, e-mail zaga1010@mail.ru, ORCID 0000-0001-8064-484X

PERSPECTIVES OF UKRAINIAN RAILWAY TOURISM DEVELOPMENT ON NARROW-GAUGE LINES OF ZAKARPATTIA

Purpose. The purpose of the paper is: (1) the definition of perspectives development of Ukrainian railway tourism on the narrow gauge lines of Zakarpattia; 2) technical condition analysis of Borzhava narrow gauge railway for the project to restore the effective functioning of mountain railways track, width 750 mm in the Carpathian region, with the possibility of their accession to the distributed travel network; 3) the study of the modern state and tendencies of development of tourist industry of Ukraine and the passenger economy of national railways; 4) clarification of the role and place of the railway tourism in the transportation system. **Methodology.** The expert group has carried out field inspections and field investigations of facilities track facilities and passenger infrastructure, rolling stock and ancillary industries involved in the functioning narrow-gauge railway. It was estimated the overall technical condition of the railway track and engineering structures section of narrow-gauge Railways in the Carpathian region. **Findings.** In the framework of on-site examinations of the expert group found that the objects of tracks, passenger and freight infrastructure, rolling stock and ancillary industries involved in the operation of narrow-gauge Railways are in poor condition and require significant updates and major repairs. But the routes of passenger trains remain fit for participation in the project of development of railway tourism of Ukraine. **Originality.** For the first time the state of the narrow-gauge railway for further implementation of the project on the development of rail tourism in Ukraine was realized. The analysis of foreign experience of organization of railway tourism has been carried out. The modern state and tendencies of development of tourist industry of Ukraine was studied, the factors of competitiveness of rail transport for providing tourist transport in Ukraine were identified and systematized. **Practical value.** The recovery and effective functioning of mountain railways with a width of 750 mm in the Carpathian region will give an impetus to the tourism development, engineering, construction and energy. At the same time, these actions will allow us to finally implement a scientifically-based effective flood control measures that will protect the population from natural environmental disasters.

Keywords: narrow-gage railway; tourism; infrastructure; track; artificial constructions; restoration; overhaul

REFERENCES

1. Balaka Ye.I., Sivakoneva H.O. Orhanizatsiinyi aspekt vidrozhennia ta rozvytku zaliznychnoho turyzmu na osnovi klasterizatsii [The organizational aspect of the revival and development of railway tourism-based on clustering]. *Tekhnologicheskii audit i rezervy proizvodstva – Technology Audit and Production Reserves*, 2014, no. 1 (2), pp. 41-44.
2. DBN V.1.2-14-2009. *Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel, sporud, budivelnikh konstruksii ta osnov* [State standart 1.2-14-2009. General principles of reliability and structural safety of buildings, construction of structures and foundations]. Kyiv, Minirehionbud Ukrainy Publ., 2009. 36 p.
3. DBN V.2.3-26:2010. *Mosty i truby. Stalevi konstruksii. Pravyla proektuvannia* [State standart V. 2.3-26:2010. Bridges and pipes. Steel construction. Design rules]. Kyiv, Ministerstvo rehionalnoho rozvytku ta budivnytstva Ukrainy Publ., 2011. 195 p.
4. DBN V.2.3-14:2006. *Mosty ta truby. Pravyla proektuvannia* [State standart V. 2.3-14:2006. Bridges and pipes. Design rules]. Kyiv, Ministerstvovo budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Publ., 2006. 367 p.
5. DBN V.2.3-19-2008. *Sporudy transportu. Zaliznytsi kolii 1520 mm. Normy proektuvannia* [State standart V. 2.3-19-2008. Transport Facilities. Railways of 1520 mm. Design Standards]. Kyiv, Minirehionbud Ukrainy Publ., 2009. 126 p.
6. DBN V.2.3-6:2009. *Sporudy transportu. Mosty ta truby. Obstezhennia i vyprovovuvannia* [State standart V. 2.3-6:2009. Construction of transport. Bridges and pipes. Inspection and testing]. Kyiv, Minirehionbud Ukrainy Publ., 2009. 63 p.
7. Derhousova A.O. Pozytsonuvannia zaliznychnoho transportu na rynku turystychnykh posluh [Positioning of rail transport in the market of tourist services]. *Ekonomika. Finansy. Pravo – Economy. Finance. Right*, 2013, no. 12, pp. 4-7.
8. Pozniakova O.V. Podiiievyi turystskyi potentsial Ukrainy yak napriam rozvytku zaliznychnoho turyzmu [Event tourism potential of Ukraine as the development of railway tourism]. *Ekonomika i upravlinnia: zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho ekonomiko-tekhnohichnoho universytetu transportu* [Economy and Manage-

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

- ment: Proc. of the State Economic and Technological University of Transport], 2012, no. 21-22 (1), pp. 290-294.
9. Polishchuk D.O. Otsiniuvannia stanu koliinoho hospodarstva Ukrzaliznytsi [Evaluation of Ukrainian railway equipment condition]. *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. 203-211.
 10. Pshinko O., Vernyhora R., Korobiova R. Perspektyvy rozvytku zaliznychnoho turyzmu v Ukraini [Prospects of Ukrainian Railway Tourism Development]. *Ukrainski zaliznytsi – Ukrainian Railways*, 2014, no. 12, pp. 38-42.
 11. Strilets V.I., Yalbuhan O.F. Orhanizatsiia zaliznychnoho turyzmu v Ukraini yak chynnyk pidvyshchennia prybutkovosti haluzi [Organization of Ukrainian railway tourism as a factor in increasing the profitability of the industry]. *Problemy ekonomiky transportu: zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana*. [Problems of the Transport Economics: Proc. of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan.], 2011, issue 1, pp. 114-117.
 12. Suponieva V.P. Rozvytok zaliznychnoho turyzmu Ukrainy ta utvorennia novoho pidrozdilu z upravlinnia zaliznychnym turyzmozom [Development of Ukrainian railway tourism and the formation of a new unit for railway tourism]. *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti: Zbirnyk nauково-praktychnykh statei Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Transport and Industry Economics: Proc. of the Ukrainian State Academy of Railway Transport], 2009, issue 25, pp. 137-140.
 13. Blancheton B. The three systems of rail tourism: French case. *Tourism Management Perspective*, 2013, no. 5, pp. 31-40.
 14. Bramwell B., Lane B. Tourism collaboration and partnerships: Politics, practice and sustainability. Clevedon: Channel View Publications, 2000. 343 p.
 15. Hannam, K., Butler G., Paris C. Developments and key issues in tourism mobilities. *Annals of Tourism Research*, 2014, no. 44, pp.171-185.
 16. 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.

Стаття рекомендована до друку д.т.н., проф. Д. М. Козаченком (Україна); к.т.н. А. Бялонь (Польща)

Надійшла до редакції: 28.05.2015

Прийнята до друку: 13.07.2015

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

UDC 628.334.5:519.6

M. M. BILIAIEV¹, V. A. KOZACHYNA^{2*}

¹Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 09, e-mail gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-1531-7882

^{2*}Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 09, e-mail kozachynav@yandex.ua, ORCID 0000-0002-6894-5532

NUMERICAL DETERMINATION OF HORIZONTAL SETTLERS PERFORMANCE

Purpose. Horizontal settlers are one of the most important elements in the technological scheme of water purification. Their use is associated with the possibility to pass a sufficiently large volume of water. The important task at the stage of their designing is evaluating of their effectiveness. Calculation of the efficiency of the settler can be made by mathematical modeling. Empirical, analytical models and techniques that are currently used to solve the problem, do not allow to take into account the shape of the sump and various design features that significantly affects the loyalty to a decision on the choice of the size of the settling tank and its design features. The use of analytical models is limited only to one-dimensional solutions, does not allow accounting for nonuniform velocity field of the flow in the settler. The use of advanced turbulence models for the calculation of the hydrodynamics in the settler complex forms now requires very powerful computers. In addition, the calculation of one variant of the settler may last for dozens of hours. The aim of the paper is to build a numerical model to evaluate the effectiveness of horizontal settling tank modified design. **Methodology.** Numerical models are based on: 1) equation of potential flow; 2) equation of inviscid fluid vortex flow; 3) equation of viscous fluid dynamics; 4) mass transfer equation. For numerical simulation the finite difference schemes are used. The numerical calculation is carried out on a rectangular grid. For the formation of the computational domain markers are used. **Findings.** The models allow calculating the clarification process in the settler with different form and different configuration of baffles. **Originality.** A new approach to investigate the mass transfer process in horizontal settler was proposed. This approach is based on the developed CFD models. Three fluid dynamics models were used for the numerical investigation of flows and waste waters purification. **Practical value.** The developed models have more capacity than the existing models in Ukraine. The developed models allow calculating quickly the efficiency of water purification in settlers. The models are not computationally expensive. Calculation time of one variant of the problem takes few seconds.

Keywords: CFD model; settlers; mass transfer; water purification

Introduction

It's known, that sedimentation by gravity is one of the most common approaches for the removal of suspended solid particles from water in water treatment plants. This physical process is used in settlers. The engineers know that the performance

of settlers would directly or indirectly affect the rest of water treatment process. The design of settlers with the high deposition rate is critical and has been the subject of many theoretical, experimental and numerical investigations [1, 6, 10, 11, 12, 13, 14].

Nowadays to receive more effective work of the horizontal settlers with comprehensive geomet-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

rical forms, different kinds of baffles and plates are proposed by designers. According to this the real lack of methods to calculate the efficiency of these settlers is an obvious problem.

To calculate the efficiency of horizontal settlers the empirical models are widely used in Ukraine [3, 15]. These models do not take into account the geometrical form of the horizontal settlers and the peculiarities of the sedimentation process. Therefore, it is important to develop CFD models having more capabilities to simulate the process of the waste waters treatment in settlers and which do not need much computational time for running and allow taking into account the geometrical form of settlers [1, 10, 9, 16].

Purpose

The objective of this paper is the development of the effective computer models (CFD models) which are more effective than the employed in Ukraine models and which can be used for prediction of the horizontal settler efficiency.

Methodology

Mass transfer model. To simulate the process of water purification in the horizontal settler the transport equation (1) is used [1, 7, 10]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial (v-w)C}{\partial y} + \sigma C = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \quad (1)$$

where C is the concentration; u , v are the velocity components in x , y direction respectively; w – is the settling velocity; σ – is the parameter taking into account the process of flocculation and decay; μ_x , μ_y are the coefficients of turbulent diffusion in x , y direction respectively; x_i , y_i are the Cartesian coordinates;

The transport equation is used with the following boundary conditions [1, 5, 8, 10]:

– inlet boundary: , where C_E is the known concentration (in the case study of this paper it is dimensionless and equal to $C_E = 100$);

– outlet boundary: in numerical model the condition $C(i+1, j) = C(i, j)$ is used. Here, $C(i+1, j)$ is the concentration at the outlet boundary

cell (this boundary condition means that we neglect the process of diffusion at this plane). $C(i, j)$ is the concentration in the previous cell.

Initial Condition:

$C=0$, for $t=0$ [13].

Fluid Dynamic Models. To simulate the flow in the horizontal settler three fluid dynamic models were used.

The governing equations of the first model are

1) Poisson equation for flow function [4, 8]:

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

2) Equation of the vorticity transfer [4, 8]:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial u \omega}{\partial x} + \frac{\partial v \omega}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

where $\omega = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$ is vorticity.

The components of the water flow velocity inside the settler are determined as follows:

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial x}, \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial y}$$

The initial and boundary conditions for these equations are shown in [4].

The governing equation of the second model is [1, 4, 6, 8]:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0, \quad (4)$$

where P is the potential of flow. The boundary conditions for this equation are discussed in [4, 8].

The components of flow velocity inside the settler are calculated as follows [5]

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial P}{\partial y}$$

The governing equations of the third model (Navier – Stokes equations) are equation (5) and equation (6).

Equation (5) is Poisson equation for flow function [11, 12]:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\omega \quad (5)$$

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Equation (6) describes vorticity transfer in fluid [8, 12]:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial u \omega}{\partial x} + \frac{\partial v \omega}{\partial y} = \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) \quad (6)$$

where $\text{Re} = \frac{V_0 L}{\nu}$ is Reynolds number.

Boundary and initial conditions of this fluid dynamic model are discussed in [8].

Flocculation modeling.

To model the process of flocculation the following equation is used [12, 13]

$$\frac{dC}{dt} = K_B \cdot C \cdot G^2 - K_A \cdot C \cdot C_1 \cdot G,$$

where C is concentration of primary (large) particles; C_1 – initial concentration; K_A – experimentally determined coefficient for floc aggregation; K_B – experimentally determined coefficient for floc break up; G – mean velocity gradient.

Computation of settling velocity.

To compute the settling velocity the following model is used [12, 14]

$$w = w_0 (e^{-K_1(c-c_{\min})} - e^{-K_2(c-c_{\min})})$$

where K_1, K_2 are experimental constants [5, 12].

Numerical solver.

Numerical integration of governing equations is carried out using rectangular grid. The geometrical form of the horizontal settler in the numerical model is created using porosity technique (markers method) [1, 8].

To solve the equation of potential flow (4) Samarskii A. A. implicit difference scheme is used [8]. At the first step Laplace equation (4) is written in the following form

$$\frac{\partial P}{\partial \eta} = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} \quad (7)$$

where η is the ghost time.

At the second step the time splitting procedure for equation (7) is used [8]

$$+ \frac{-P_{i,j}^{n+1/2} + P_{i,j-1}^{n+1/2}}{\Delta y^2}, \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{P_{i,j}^{n+1} - P_{i,j}^{n+1/2}}{0,5\Delta\eta} &= \frac{P_{i+1,j}^{n+1} - P_{i,j}^{n+1}}{\Delta x^2} + \\ &+ \frac{-P_{i,j}^{n+1/2} + P_{i-1,j}^{n+1/2}}{\Delta x^2} + \frac{P_{i,j+1}^{n+1} - P_{i,j}^{n+1}}{\Delta y^2} + \\ &+ \frac{-P_{i,j}^{n+1/2} + P_{i,j-1}^{n+1/2}}{\Delta y^2}. \end{aligned} \quad (9)$$

Components of the velocity are calculated using expressions (10):

$$u_{ij} = \frac{P_{i,j} - P_{i-1,j}}{\Delta x}, v_{ij} = \frac{P_{i,j} - P_{i,j-1}}{\Delta y}, \quad (10)$$

To start the numerical integration of equation (7) it is necessary to set the initial condition in the form $P = P_0$ (for example $P_0 = 0$).

To solve equation of the vorticity transfer (3) the two steps difference scheme is used [8]:

– at the first step of splitting the difference equation is

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

– at the second step of splitting the difference equation is

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

The unknown meaning of vorticity is obtained from these expressions using the explicit formulae of «running calculation».

To solve Poisson equation (2) the following difference scheme of splitting is used [8]:

– at the first step of splitting the difference equation is

$$\frac{\psi_{ij}^{n+\frac{1}{4}} - \psi_{ij}^n}{\Delta t} = \frac{\psi_{ij}}{2};$$

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

– at the second step of splitting the difference equation is

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

– at the third step of splitting the difference equation is

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

– at the last step the difference equation is

$$\frac{\psi_{ij}^{n+1} - \psi_{ij}^{n+\frac{3}{4}}}{\Delta t} = \frac{\overline{\omega_{ij}}}{2},$$

where

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

Velocity components are calculated using the following expressions

$$u_{i,j} = \frac{\psi_{i,j+1} - \psi_{i,j}}{\Delta y}; v_{i,j} = -\frac{\psi_{i+1,j} - \psi_{i,j}}{\Delta x}$$

To solve equation (6) the change triangle difference scheme is used [8]. First of all velocity components are written in the following form

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

$$v = v^+ + v^- = \frac{v + |v|}{2} + \frac{v - |v|}{2}. \quad (11)$$

After that the convective derivatives are approximated using the following expressions:

$$\frac{\partial u^+ \omega}{\partial x} \approx \Lambda_x^+ \omega = (u_{i+1,j}^+ \omega_{i,j} - u_{i,j}^+ \omega_{i-1,j}) / \Delta x,$$

$$\frac{\partial u^- \omega}{\partial x} \approx \Lambda_x^- \omega = (u_{i+1,j}^- \omega_{i+1,j} - u_{i,j}^- \omega_{i,j}) / \Delta x,$$

$$\frac{\partial v^+ \omega}{\partial y} \approx \Lambda_y^+ \omega = (v_{i,j+1}^+ \omega_{i,j} - v_{i,j}^+ \omega_{i,j-1}) / \Delta y,$$

$$\frac{\partial v^- \omega}{\partial y} \approx \Lambda_y^- \omega = (v_{i,j+1}^- \omega_{i,j+1} - v_{i,j}^- \omega_{i,j}) / \Delta y.$$

The second order derivatives are written as following:

$$\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \approx L_{xx}^+ \omega - L_{xx}^- \omega =$$

$$= (-\omega_{i,j} + \omega_{i-1,j}) / \Delta x^2 + (\omega_{i+1,j} - \omega_{i,j}) / \Delta x^2,$$

$$\frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \approx L_{yy}^+ \omega - L_{yy}^- \omega =$$

$$= (\omega_{i,j-1} - \omega_{i,j}) / \Delta y^2 + (\omega_{i,j+1} - \omega_{i,j}) / \Delta y^2,$$

The difference approximation of the equation (6) can be written as follows

$$\frac{\omega_{i,j}^{n+1} - \omega_{i,j}^n}{\Delta t} + (\Lambda_x^+ + \Lambda_x^- + \Lambda_y^+ + \Lambda_y^-) (\omega^{n+1} \xi + (1-\xi) \omega^n) =$$

$$= \frac{1}{\text{Re}} (L_{xx}^+ + L_{xx}^- + L_{yy}^+ + L_{yy}^-) \times$$

$$\times (\omega^{n+1} \xi + (1-\xi) \omega^n)$$

or

$$(E + \Delta t \xi) (\Lambda_x^+ + \Lambda_x^- + \Lambda_y^+ + \Lambda_y^-) \omega^{n+1} -$$

$$- \frac{\Delta t}{\text{Re}} \xi (L_{xx}^+ + L_{xx}^- + L_{yy}^+ + L_{yy}^-) \omega^{n+1} =$$

$$= (E - \Delta t (1-\xi) (\Lambda_x^+ + \Lambda_x^- + \Lambda_y^+ + \Lambda_y^-)) \omega^n +$$

$$+ \frac{\Delta t}{\text{Re}} (1-\xi) (L_{xx}^+ + L_{xx}^- + L_{yy}^+ + L_{yy}^-) \omega^n.$$

where ξ is parameter

If $\xi = 1/2$ we have the difference scheme which has the second order of accuracy in time.

The change triangle difference scheme for equation of vorticity transfer is written as follows

$$\left(E + \frac{\Delta t}{2} (\Lambda_x^+ + \Lambda_y^+) - \frac{\Delta t}{2 \text{Re}} (L_{xx}^+ + L_{yy}^+) \right) \omega^{n+\frac{1}{2}} =$$

$$= \left(E - \frac{\Delta t}{2} (\Lambda_x^- + \Lambda_y^-) + \frac{\Delta t}{2 \text{Re}} (L_{xx}^- + L_{yy}^-) \right) \omega^n;$$

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

$$\left(E + \frac{\Delta t}{2} (\Lambda_x^- + \Lambda_y^-) - \frac{\Delta t}{2 \text{Re}} (L_{xx}^- + L_{yy}^-) \right) \omega^{n+1} =$$

$$= \left(E - \frac{\Delta t}{2} (\Lambda_x^+ + \Lambda_y^+) + \frac{\Delta t}{2 \text{Re}} (L_{xx}^+ + L_{yy}^+) \right) \omega^{n+\frac{1}{2}}.$$

Using these expressions the unknown meaning of vorticity is computed using «running calculation» [8].

To solve the mass conservation equation (1) the implicit difference scheme of splitting is used [1, 8]. At first step the physical splitting of equation (1) is carried out:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial u c}{\partial x} + \frac{\partial (v-w)c}{\partial x} + \sigma c = 0$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial c}{\partial y} \right)$$

At the second step the following approximation of the first order derivatives are used [5]:

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

$$\frac{\partial u c}{\partial x} = \frac{\partial u^+ c}{\partial x} + \frac{\partial u^- c}{\partial x},$$

$$\frac{\partial v c}{\partial y} = \frac{\partial v^+ c}{\partial y} + \frac{\partial v^- c}{\partial y},$$

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

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

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

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

The second order derivatives are approximated as following:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) \approx \mu_{x_1} \frac{C_{i+1,j}^{n+1} - C_{ij}^{n+1}}{\Delta x^2} -$$

$$- \mu_{x_2} \frac{C_{i,j}^{n+1} - C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x^2} = M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) \approx \mu_{y_1} \frac{C_{i,j+1}^{n+1} - C_{ij}^{n+1}}{\Delta y^2} -$$

$$- \mu_{y_2} \frac{C_{i,j}^{n+1} - C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y^2} = M_{yy}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1}$$

Here we use notation $v=v-w$. In these formulas $L_x^+, L_x^-, L_y^+, L_y^-, L_z^+, L_z^-, M_{xx}^+, M_{xx}^-$, etc. are the notations of the difference operators [8].

After the approximation the solution of the difference equation is splitted in 4 steps [1, 8]:

– at the first step $k=1/4$ the difference equation is:

$$\frac{C_{ij}^{n+k} - C_{ij}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^+ C^k + L_y^+ C^k) + \frac{\sigma}{2} C_{ij}^n = 0;$$

– at the second step $k=n+1/2; c=n+1/4$ the difference equation is:

$$\frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^- C^k + L_y^- C^k) + \frac{\sigma}{2} C_{ij}^k = 0;$$

– at the third step $k=n+\frac{3}{4}; c=n+\frac{1}{2}$ the difference equation is:

$$\frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} =$$

$$= \frac{1}{2} \left(M_{xx}^- C^c + M_{xx}^+ C^k + M_{yy}^- C^c + M_{yy}^+ C^k \right);$$

– at the fourth step $k=n+1; c=n+\frac{3}{4}$ the difference equation is:

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

$$\frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} = \frac{1}{2} \left(M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c \right).$$

The developed numerical models were coded using FORTRAN.

Findings

The developed computer models were used to compute water purification in the horizontal settlers with comprehensive geometrical forms, different kinds of baffles and plates:

Fig. 1. – horizontal settler with baffle and vertical plate;

Fig. 2. – horizontal settler with perforated baffle (a) and with water injection into the working part of settler (b);

Fig. 3. – horizontal settler with system of plates.

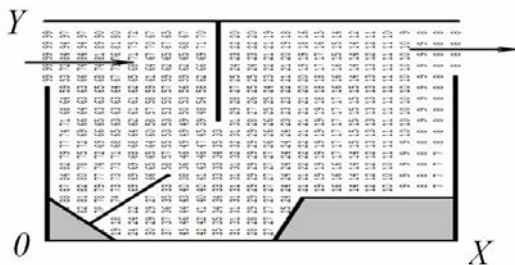


Fig. 1. Concentration field in the horizontal settler with baffle and vertical plate (inviscid vortex flow model)

In Fig. 1-3 the concentration field in the settlers is shown. The concentration is presented using «Integer» form of number. Every number shows the percentage of the concentration in the computational cell. The maximum concentration is at the inlet cell (it's equal to «99») and the smallest concentration is in the outlet cell. This concentration shows the efficiency of the each settler.

The computational time was 10 sec – 5 min to solve the fluid dynamics problems and mass transfer using the developed numerical models.

Results of numerical integration models equations described in Table 1

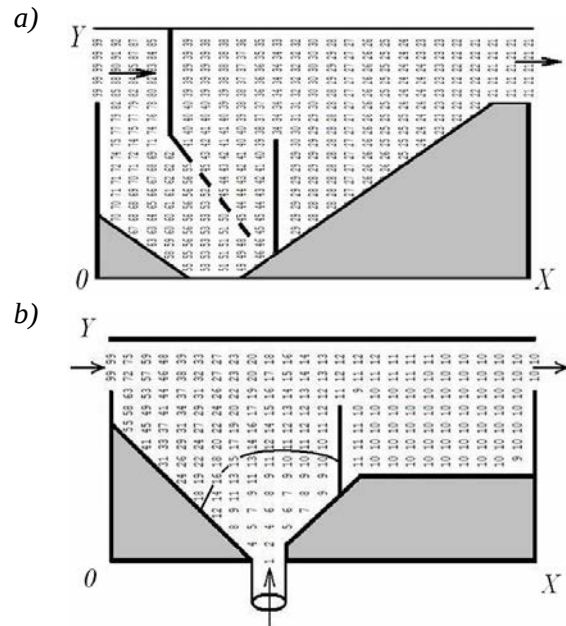


Fig. 2. Concentration field in the horizontal settler with:
a) perforated baffle; b) baffle and water injection (model of potential flow)

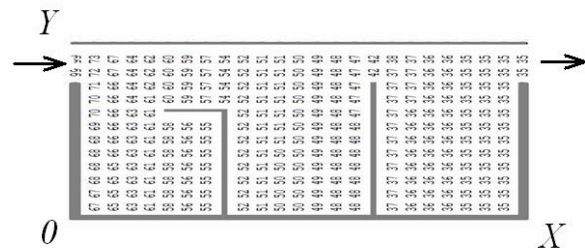


Fig. 3. Concentration field in the horizontal settler with system of plates (model of Navier-Stokes equations)

Table 1

Results of numerical experiment	
Settler	Efficiency
With baffle and vertical plate (Fig. 1)	92 %
With:	
a) perforated baffle;	79 %
b) baffle and water injection (Fig. 2)	90 %
With system of plates (Fig. 3)	65 %

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Originality and practical value

A new approach to investigate the mass transfer process in horizontal settler was proposed. This approach is based on the developed CFD models of different level. Three fluid dynamics models were used for the numerical investigation of flows in the settler. These models use the rectangular grid and porosity technique to create the form of the settler in the numerical model. The developed models have more capacity than the existing models in Ukraine. The developed models allow computing quickly the efficiency of water purification in settlers. The models are not computationally expensive.

Conclusions

Three CFD models were developed to compute the flow field in horizontal settler. These models are based on the equations of inviscid fluid dynamics models and Navier-Stokes equations. The process of mass transfer in the horizontal settlers is simulated using convection-diffusing equation. Numerical study based on the developed models was carried out. Results illustrate that the developed models can be used to simulate the process of water purification for settlers having comprehensive geometrical form.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Беляев, Н. Н. Математическое моделирование массопереноса в отстойниках систем водоотведения / Н. Н. Беляев, Е. К. Нагорная. – Дніпропетровськ : Нова ідеологія, 2012. – 112 с.
2. Василенко, О. А. Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки : навч. посіб. / О. А. Василенко, С. М. Епоян. – Київ ; Харків : КНУБА : ХНУБА : ТО Ексклюзив, 2012. – 540 с.
3. Ласков, Ю. М. Примеры расчетов канализационных сооружений : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Ласков, Ю. В. Воронов, В. И. Калицун. – Москва : Высш. шк., 1981. – 232 с.
4. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. – Москва : Наука, 1978. – 735 с.
5. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г. И. Марчук. – Москва : Наука, 1982. – 320 с.
6. Нагорная, Е. К. CFD-модель процесса массопереноса в вертикальном отстойнике / Е. К. Нагорная // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 1 (43). – С. 39–50. doi: 10.15802/stp2013-/9578.
7. Русакова, Т. И. Исследование загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта в «уличных каньонах» города / Т. И. Русакова // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 1 (55). – С. 23–34. doi: 10.15802/stp2015/38236.
8. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – Київ : Наук. думка, 1997. – 368 с.
9. A critical review of clarifier modeling: State-of-the-art and engineering practices / B. G. Plosz, I. Nopens, L. Rieger, A. Griborio [et al.] // Proc. 3rd IWA/WEF Wastewater Treatment Modeling Seminar (26.02-28.02.2012). – Mont-Sainte-Anne, Quebec, 2012. – P. 27–30.
10. Biliaiev, M. M. New codes for the CFD simulation of the water purification in the horizontal settler / M. M. Biliaiev, V. A. Kozachyna // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – 2014. – Вип. 24. – С. 16–23.
11. Critical modeling parameters identified for 3D CFD modeling of rectangular final settling tanks for New York City wastewater treatment plants / K. Ramalingam, S. Xanthos, M. Gong [et al.] // Water Science & Technology. – 2012. – Vol. 65. – Iss. 6. – P. 1087–1094. doi: 10.2166/wst.2012.944.
12. Griborio, A. Secondary Clarifier Modeling: A Multi-Process Approach / A. Griborio. – USA : University of New Orleans, 2004. – 440 p.
13. Kleinf, D. Finite Element Analysis of Flows in Secondary Settling Tanks / D. Kleinf, B. D. Reddy // Intern. J. for Numerical Methods in Engineering. – 2005. – Vol. 64. – Iss. 7. – P. 849–876. doi: 10.1002/nme.1373.
14. Takács, I. Experiments in Activated Sludge Modelling / I. Takács. – Belgium : Ghent University, 2008. – 267 p.
15. Tamayol, A. Determination of Settling Tanks Performance Using an Eulerian-Lagrangian Method / A. Tamayol, B. Firoozabadi, G. Ahmadi // J. of Applied Fluid Mechanics. – 2008. – Vol. 1, № 1. – P. 43–54.
16. The Computational Modeling of Baffle Configuration in the Primary Sedimentation Tanks / M. Shahrokhi, Md Azlin Md Said, F. Rostami, Syafalni // 2nd Intern. Conf. on Environmental Science and Technology. – 2011. – Vol. 5. – P. V2-392–V2-396.

М. М. БІЛЯЄВ¹, В. А. КОЗАЧИНА^{2*}¹Каф. «Гідравліка та водопостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 09, ел. пошта gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-1531-7882^{2*}Каф. «Гідравліка та водопостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 09, ел. пошта kozachynav@yandex.ua, ORCID 0000-0002-6894-5532

ЧИСЕЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК РОБОТИ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ВІДСТІЙНИКІВ

Мета. Горизонтальні відстійники є одним із найважливіших елементів у технологічній схемі очищення води. Їх застосування пов'язано з можливістю пропуску досить великих обсягів води. При реконструкції або проектуванні горизонтальних відстійників виникає відповідальне завдання щодо оцінки їх ефективності. Розрахунок ефективності відстійника може бути виконаний методом математичного моделювання. Емпіричні, аналітичні моделі та методики, які на даний час використовуються для розв'язання поставленої задачі, не дозволяють врахувати форму відстійника та різні конструктивні особливості, що значно впливає на вірність прийняття рішення щодо вибору розмірів відстійника та його конструктивних особливостей. Використання аналітичних моделей обмежено лише одновимірними розв'язками, що не дозволяє врахувати нерівномірне поле швидкості потоку у відстійнику. Використання сучасних моделей турбулентності для розрахунку гідродинаміки у відстійнику складної форми потребує в даний час дуже потужних комп'ютерів. Крім цього, розрахунок одного варіанту відстійника може тривати десятки годин. У даній роботі розглянуто побудову чисельних моделей для оцінки ефективності роботи горизонтального відстійника модифікованої конструкції. **Методика.** В основу моделей покладено: 1) потенціальний рух ідеальної рідини; 2) вихровий рух ідеальної рідини; 3) вихровий рух реальної рідини (рівняння Нав'є-Стокса); 4) рівняння масопереносу. Для чисельного розв'язання рівнянь використовуються різницеві схеми. Чисельний розрахунок здійснюється на прямокутній різницевій сітці. Для формування виду розрахункової області та виділення її особливостей застосовується метод маркування. **Результати.** Розроблені чисельні моделі дозволяють розрахувати процес освітлення води в горизонтальних відстійниках різної форми та з різними конфігураціями пластин. **Наукова новизна.** Представлено новий підхід у дослідженні та розрахунку роботи горизонтальних відстійників різної конфігурації. Даний підхід ґрунтується на чисельному інтегруванні рівнянь руху рідини та масопереносу домішки. **Практична значимість.** Розроблені чисельні моделі розрахунку роботи горизонтальних відстійників пред'являють невеликі вимоги до потужності комп'ютерної техніки. Час розрахунку одного варіанта завдання становить кілька секунд.

Ключові слова: чисельна модель; горизонтальний відстійник; очистка води

Н. Н. БЕЛЯЕВ¹, В. А. КОЗАЧИНА^{2*}¹Каф. «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 09, эл. почта gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-1531-7882^{2*}Каф. «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 09, эл. почта kozachynav@yandex.ua, ORCID 0000-0002-6894-5532

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ РАБОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ОТСТОЙНИКОВ

Цель. Горизонтальные отстойники являются одним из важнейших элементов в технологической схеме очистки воды. Их применение связано с возможностью пропуску достаточно больших объемов воды. При реконструкции или проектировании горизонтальных отстойников возникает ответственная задача по оценке их эффективности. Расчет эффективности отстойника может быть выполнен методом математического моделирования. Эмпирические, аналитические модели и методики, которые в настоящее время используются для решения поставленной задачи, не позволяют учесть форму отстойника и различные конст-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

руктивные особенности, что значительно влияет на верность принятия решения по выбору размеров отстойника и его конструктивных особенностей. Использование аналитических моделей ограничено только одномерными решениями, не позволяет учесть неравномерное поле скорости потока в отстойнике. Использование современных моделей турбулентности для расчета гидродинамики в отстойнике сложной формы требует в настоящее время очень мощных компьютеров. Кроме этого, расчет одного варианта отстойника может продолжаться десятки часов. Целью работы является построение численной модели для оценки эффективности горизонтального отстойника модифицированной конструкции. **Методика.** В основу моделей положено: 1) потенциальное движение идеальной жидкости; 2) вихревое движение идеальной жидкости; 3) вихревое движение реальной жидкости (уравнения Навье-Стокса); 4) уравнение массопереноса. Для численного решения моделирующих уравнений используются разностные схемы. Численный расчет осуществляется на прямоугольной разностной сетке. Для формирования вида расчетной области и выделения ее особенностей применяется метод маркирования. **Результаты.** Разработанные численные модели позволяют рассчитать процесс осветления воды в горизонтальных отстойниках различной формы и с различными конфигурациями пластин. **Научная новизна.** Представлен новый подход в исследовании и расчете работы горизонтальных отстойников различной конфигурации. Данный подход основывается на численном интегрировании уравнений движения жидкости и массопереноса примеси. **Практическая значимость.** Разработанные численные модели расчета работы горизонтальных отстойников предъявляют небольшие требования к мощности компьютерной техники. Время расчета одного варианта задачи составляет несколько секунд.

Ключевые слова: численная модель; горизонтальный отстойник; очистка воды

REFERENCES

1. Belyayev N.N., Nagornaya Ye.K. *Matematicheskoye modelirovaniye massoperenosa v otstoynikakh sistem vodootvedeniya* [Mathematical modeling of mass transfer in sedimentation tanks of sewage systems]. Dnipropetrovsk, Nova Ideolohiia Publ., 2012. 112 p.
2. Vasylenko O.A., Epoian S.M. *Vodovidvedennia ta ochystka stichnykh vod mista. Kursove i dyplomne proektuvannia. Pryklady ta rozrakhunky* [Water drain and wastewater treatment for the town. Course and degree designing. Examples and calculations]. Kyiv, Kharkiv, KNUCA, KAUCA, TO Ekskluzyv Publ., 2012. 540 p.
3. Laskov Yu.M., Voronov Yu.V., Kalitsun V.I. *Primery raschetov kanalizatsionnykh sooruzheniy* [The examples of calculations of sewer facilities]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1981. 232 p.
4. Loytsyanskiy L.G. *Mekhanika zhidkosti i gaza* [Fluid mechanics]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 735 p.
5. Marchuk G.I. *Matematicheskoye modelirovaniye v probleme okruzhayushchey sredy* [Mathematical modeling in the environment problems]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 320 p.
6. Nagornaya Ye.K. CFD-model protsessa massoperenosa v vertikalnom otstoynike [CFD-model of the mass transfer in the vertical settler]. *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. 39-50. doi: 10.15802/stp2013/9578.
7. Rusakova, T. I. Issledovaniye zagryazneniya atmosfernogo vozdukh vybrosami avtotransporta v «ulichnykh kanonakh» goroda [Research of air pollution from traffic in «street canyons» of city]. *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. 23-34. doi: 10.15802/stp2015/38236.
8. Zgurovskiy M.Z., Skopetskiy V.V., Khrushch V.K., Belyayev N.N. *Chislennoye modelirovaniye rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushchey srede* [Numerical modeling of pollution in the environment]. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 1997. 368 p.
9. Plosz B.G., Nopens I., Rieger L., Griborio A., De Clercq J., Vanrolleghem P.A., Daigger G.T., Takacs I., Wicks J., Ekama G.A. A critical review of clarifier modeling: State-of-the-art and engineering practices. Proc. 3rd IWA/WEF Wastewater Treatment Modeling Seminar (26.02-28.02. 2012), Mont-Sainte-Anne, Quebec, Canada, 2012, pp. 27-30.
10. Biliaiev M.M., Kozachyna V.A. New codes for the CFD simulation of the water purification in the horizontal settler. *Problemy vodopostachanniya, vodovidvedenniya ta hidravliki* [Problems of water supply, wooden and hydraulics], 2014, issue 24, pp. 16-23.
11. Ramalingam K., Xanthos S., Gong M., Fillos J., Beckmann K., Deur A. McCorquodale J.A. Critical modeling parameters identified for 3D CFD modeling of rectangular final settling tanks for New York City wastewater

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

- treatment plants. *Water Science & Technology*, 2012, vol. 65, issue 6, pp. 1087-1094. doi: 10.2166/wst.2012.944.
12. Griborio A. Secondary Clarifier Modeling: A Multi-Process Approach. USA, University of New Orleans, 2004. 440 p.
 13. Kleine D., Reddy B.D. Finite Element Analysis of Flows in Secondary Settling Tanks. *Intern. Journal for Numerical Methods in Engineering*, 2005, vol. 64, issue 7, pp. 849-876. doi: 10.1002/nme.1373.
 14. Takács I. Experiments in Activated Sludge Modelling. Belgium, Ghent University Publ., 2008. 267 p.
 15. Tamayol A., Firoozabadi B., Ahmadi G. Determination of Settling Tanks Performance Using an Eulerian-Lagrangian Method. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 2008, vol. 1, no. 1, pp. 43-54.
 16. Shahrokhi M., Said Md Azlin Md, Rostami F., Syafalni. The Computational Modeling of Baffle Configuration in the Primary Sedimentation Tanks. 2nd Intern. Conf. on Environmental Science and Technology, 2011, vol. 5, pp. 392-396.

Prof. S. O. Pichugov, D. Sci. (Phys.–Math.), (Ukraine); Prof. O. H. Goman, D. Sci. (Phys.–Math.), (Ukraine) recommended this article to be published

Received: June 15, 2015

Accepted: Aug. 14, 2015

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

UDC 657.471:625.1.03

YU. S. BARASH¹, KH. V. KRAVCHENKO^{2*}, M. F. ZIANCHUK³

¹Dep. «Accounting, Audit and Intellectual Property», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (0562) 33 58 13, e-mail ubarash@mail.ru, ORCID 0000-0001-5911-9805

^{2*}ARL «Economics and Management of Railway Transport», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (0562) 33 58 13, e-mail ge-neuakk@gmail.com, ORCID 0000-0002-7773-6652

³Dep. «Logistics», School of Business and Management of Technology of BSU, Moskovskaya St., 5, 220007, Minsk, Republic of Belarus, tel. +375 (29) 362 30 80, e-mail zianchuk@gmail.com, ORCID 0000-0003-0628-1571

METHODICAL APPROACH TO DEFINING INFRASTRUCTURE COMPONENT OF THE COSTS FOR THE PARTICULAR PASSENGER TRAIN TRAFFIC

Purpose. In the scientific paper a methodical approach concerning determining the infrastructure component of the costs for traffic of the particular passenger train should be developed. It takes into account the individual characteristics of the particular train traffic. **Methodology.** To achieve the research purposes was used a method which is based on apportionment of expenses for the traffic of a particular passenger train taking into account the factors affecting the magnitude of costs. This methodology allows allocating properly infrastructure costs for a particular train and, consequently, to determine the accurate profitability of each train. **Findings.** All expenditures relating to passenger traffic of a long distance were allocated from first cost of passenger and freight traffic. These costs are divided into four components. Three groups of expenses were allocated in infrastructure component, which are calculated according to the certain principle taking into account the individual characteristics of the particular train traffic. **Originality.** The allocation method of all passenger transportation costs of all Ukrzaliznytsia departments for a particular passenger train was improved. It is based on principles of general indicators formation of each department costs, which correspond to the main influential factors of operating trains. The methodical approach to determining the cost of infrastructure component is improved, which takes into account the effect of the speed and weight of a passenger train on the wear of the railway track superstructure and contact network. All this allows allocating to reasonably the costs of particular passenger train traffic and to determine its profitability. **Practical value.** Implementing these methods allows calculating the real, economically justified costs of a particular train that will correctly determine the profitability of a particular passenger train and on this basis it allows to make management decisions on amendments to the existing schedule. Also, the cost of using the infrastructure for a particular train and its profitability can be determined with the help of PC due to this method.

Keywords: infrastructure; costs; speed; weight of the train; the profitability of a passenger train

Introduction

Today in Ukraine there is no a single method of determining the efficiency of a particular passenger train, but there is only a certain procedure for

calculating the profitability of trains. To determine the profitability of trains, income are taken from the program certificate G-100 for a specified period of time (the amount of income from tariffs in Ukraine and seat reservation), and the costs are calculated on the base of consolidated and

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

individual expense rates, identified by passenger traffic costing on the Ukrzaliznytsia [4]. The calculation reflects the direct costs of all households are attributable to passenger transportation and indirect costs, which are distributed on passenger transportation proportionally to corresponding figures. Based on the operating costs and the volumes of passenger traffic expendable rates are calculated.

The problem is that expendable rates do not include individual characteristics of a particular passenger train traffic, such as speed, comfort, class of a train, seasonality and running term. All this leads to distorted information about the costs of a particular train running, the profitability calculation of a particular passenger train and as a result the non-objective management decisions making relative to amendments in to the existing train schedule and efficiency upgrading of passenger transportation.

The comprehensive theoretical and methodical approach to the determination of the profitability of a particular passenger train has not yet been suggested. Also there is no methodical approach for calculating the costs of infrastructure component for a specific train, which would take into account all the individual characteristics of a passenger train movement.

Previous studies analysis

The problem of determining the profitability of an individual passenger train, and in particular the definition of infrastructure component costs of a specific train in Ukraine, such scientists Yu. S. Barash [1, 6, 7, 14] T. Yu. Charkina [15] V. V. Chorny [16, 18], T. M. Blyznyuk [2, 17], N. O. Bozhok [3], N. M. Kolesnykova [5], V. V. Skalozub [14] etc. researched recently.

I. P. Korzhynych, Yu. S. Barash, M. B. Kurhan devoted their research to determining the dependence of track infrastructure deterioration from increasing train speeds. In a study [6] researchers found that the calculation the impact of trains on infrastructure through the given turnover is not accurate because it does not take into account a number of technical and operational factors. Analytical dependence, obtained by the authors in the course of their research, determine the relationship between the quality state of infrastructure and quantitative indicators of influence, they characterize exactly the influence of the latter

(speed, type of rolling stock, infrastructure state) on deterioration of a railway track and catenary system.

Purpose

To distribute the costs of all households on Ukrzaliznytsia upon transportation of passengers in long-distance and international traffic to a specific passenger train. To develop the methodical approach to defining the infrastructure component of the costs for the particular passenger train traffic, that takes into account the individual characteristics of this train movement.

Methodology

The methods of theoretical generalization, logical and systematic analysis, synthesis, formalization, statistical processing, and analysis of information and method of expert evaluations were used.

Findings

In order to find the costs for movement of a particular passenger train one should allocate all costs of passenger transportation in the domestic and international traffic from freight and passenger transportation costing. Then divide them into separate components:

1. Passenger component;
2. An infrastructure component;
3. Locomotive component;
4. Motor car component.

Certain groups of costs are formed in each component. For their calculation is used a specific principle taking into account the individual characteristics of the train.

All costs of operation, maintenance and repair of the infrastructure can be divided into the following:

1. Costs of passenger services;
2. Costs of suburban passenger service;
3. Costs of transportation facilities;
4. Costs of a locomotive facilities;
5. Costs of car facilities;
6. Costs of a track facilities;
7. Costs of installation and construction works, civil structures;
8. Costs of automation, telemechanics and communications facilities;

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

9. Costs electricity supply system;
10. Costs of material and technical facilities;
11. Costs of railway administration;
12. Costs of railway traffic management and railways subdivisions under their authority.

Based on an analysis of all costs included in the infrastructure component, were formed three groups of expenses that are calculated according to different principles (Fig. 1).

In her scientific work Charkina T. Yu. [15] proves in order to increase the competitiveness of passenger trains on the transport market one should implement primarily their new classification,

which takes into account the organization of movement depending on the running period during the day, distance and speed, term and comfort travel, type of rolling stock and source of financing their activities. This will further determine the optimal distances and timing of a trip by various rolling stock for commuter, regional, interregional and high-speed passenger trains and significantly reduce their loss ratio.

In this paper we consider only long-distance passenger trains that are designed to carry passengers for a distance of over 500 km within Ukraine and beyond (Fig. 2).

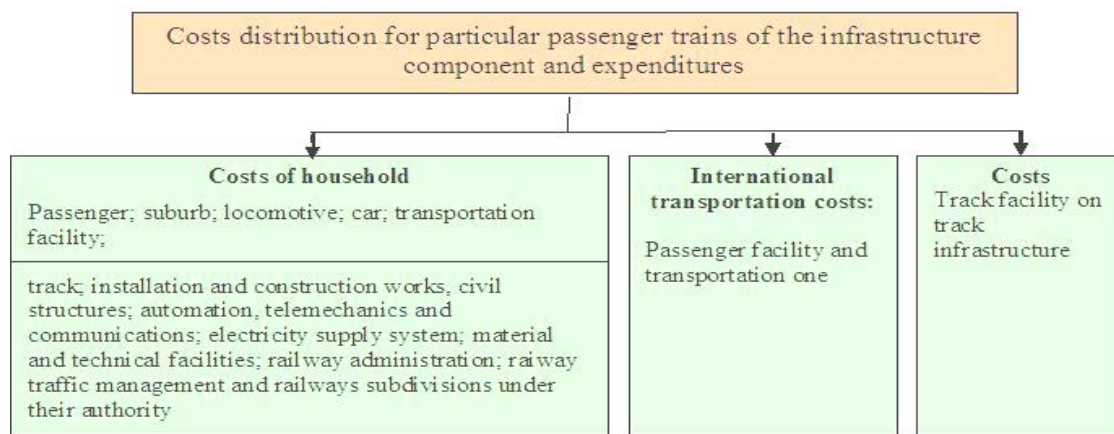


Fig. 1. The principles of costs distribution on a particular passenger train upon with infrastructure cost component upon articles to determine its effectiveness

The name of the train accordingly service area	Long-distance trains						
The final name of the train	Day intercity express	Night intercity	Night intercity express	Intercity	Intercity express	International	International express
The maximum distance, km	till 90	500-800	900-1300	Within Ukraine	Within Ukraine	Outside Ukraine	Outside Ukraine
The average route speed km / h	110-140	70-90	110-140	70-90	110-140	70-90	110-140
Waytime	till 7	8-10	8-10	till 24	till 16	Depending on the distance	Depending on the distance
Funding source	Regional authorities and private investments	City authorities and private investments	City authorities and private investments	City authorities and private investments	City authorities and private investments	JSC "Ukrzaliznytsia" and private investments	JSC "Ukrzaliznytsia" and private investments
Type of rolling stock	MCRS express and cars of locomotive traction	Cars of locomotive traction of old generation	MCRS express and cars of locomotive traction	Cars of locomotive traction of old generation	MCRS express and cars of locomotive traction	Cars of locomotive traction of old generation	MCRS express and cars of locomotive traction

Fig. 2. Classification of passenger trains in Ukraine for the running period, service area, speed of movement, a source of funding in today's market and the introduction of high-speed traffic [15]

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

To determine the cost of a particular train one need to be able to calculate the costs relating to a specific group of trains, the number of these trains, taking into account movement period, the number of cars in the train and speed.

As discussed earlier, speed and weight of a train impact on energy consumption, traction of trains and deterioration of a track infrastructure.

In view of the above, the cost of movement of passenger trains and their impact on the wear track

infrastructure necessary to individually calculate and attributed to a specific passenger train.

Fig. 3 shows the costs structure of the passenger train depending on the speed, running time, the number of cars in the train and annual car-mileage.

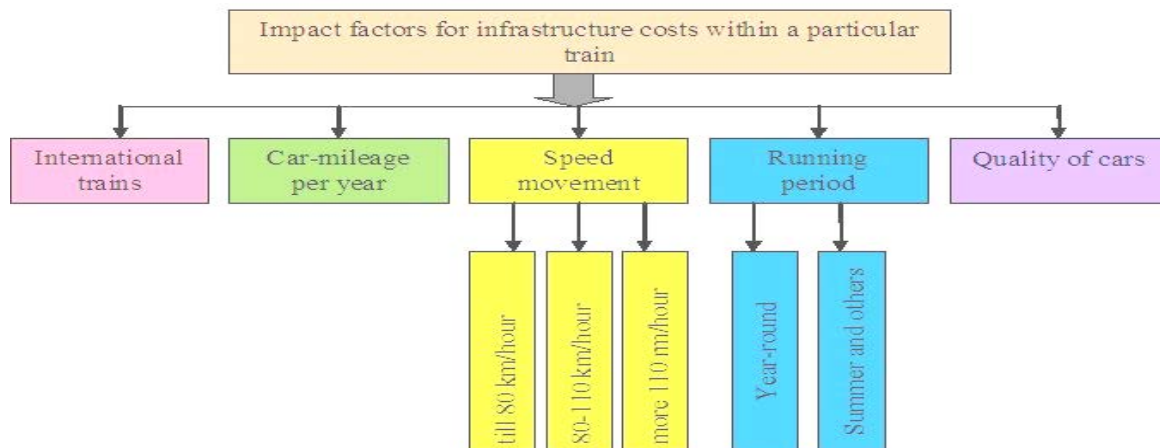


Fig. 3. Impact factors on the cost value of a particular train for the infrastructure maintenance

The first group of expenses can be divided into two subgroups. The first subgroup includes the costs of infrastructure facilities directly involved in the transportation of passenger (excluding international transportation), commuter, locomotive, car facility and transport sector (excluding international transportation). Under the Nomenclature Costs of the main economic activities of railway transport [9], this subgroup expenses include items such as: 4 001, 4 003, 4 005, 4 007, 4 030, 4 033, 4 034, 4 037, 4 040, 4 041, 4 042, 4 060, 4 061, 4 153 etc. That is the cost of current and capital repair of fixed assets related to passenger transportation and transport facility, building servicing, constructions, equipment and inventory connected with passenger transportation and belonging to transport facility; maintenance in the program M–1 of passenger cars on the route, arrival and departure of trains at the passenger and other stations, overall repair, roundhouse servicing of maintenance vehicles, overall repair of vehicles, machinery, equipment, etc. In the calculation of the second subgroup there are follow costs:

- installation and construction works, civil structures upon items such as: 4 185, 4 187, 4 189, 4 195, 4 197, 4 199, 4 201, 4 204, 4 206, 4 208, 4 210-4 212, 4 240-4 247 etc.;
- automation, telemechanics and communications facility, numbers 4 301-4 304, 4 400-4 409, 4 412-4 415 etc.;
- electricity supply system, numbers 4 500-4 507 etc.;
- material and technical facilities, numbers 4 050-4 054 etc.;
- railway administration upon items such as 4 600, 4 606, 4 607 etc.;
- railway traffic management and railways subdivisions under their authority 4 420, 4 421, 4 601-4 604, 4 609 etc.

Also this group includes the costs of track facility that are not related to costs for deterioration of a track and contact system. According to the Nomenclature they are as following: 4 101, 4 102, 4 104, 4 105, 4 107, 4 108, 4 111, 4 113-4 116, 4 120, 4 122, 4 125, 4 127, 4 128, 4 130, 4 131, 4 134, 4 137, 4 140, 4 142, 4 144, 4 147, 4 149, 4 150, 4 152-4 154, 4 156, 4 158, 4 160, 4 162,

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

4 164-4 166, 4 168-4 171, 4 181-4 183, 4 062, 4 063. This is the cost for current work of maintenance vehicles, other works of track machinery of heavy type, current maintenance of yards, single replacement of rail sleepers and replenishment and replacement of ballast on yards, single replacement of rails, replacement and replenishment of fastenings, rail anchors and other elements of permanent way at yards, maintenance control of tracks, crossings and artificial structures, maintenance of protective afforestation, works against snow and water, track facilities operation, overall repair, complex and curative, medium and enhanced medium repair of yards and roadbed with them, overall repair of artificial structures on the main tracks and yards, replacement of turnouts, rails at the yards, replacement of wooden crossing sleepers, overall repair of crossings, mechanisms machinery of equipment and platforms; medium repair of switchgears at yards; reconstruction of curves; amortization of a permanent way and roadbed at yards; amortization of vehicles and mechanisms, engaged in all kinds of repair, afforestation, artificial structures on the tracks; welding, grinding and other rails processing; current work, overall repair of permanent assets in rail welding trains and their amortization. In general, those cost items that do not depend on the speed of trains running.

All above expenses for all types of passenger trains, without exception, in proportion to the number of cars in the train, running period per year and annual mileage. And it is calculated by the formula 1.

$$C_{fac}^i = \frac{(C_{fac}^d \cdot n_{train}^i \cdot T_r^i / N) \cdot l^i \cdot F_{ac}}{\sum nS} \quad (1)$$

where C_{fac}^i – costs under the items of passenger, commuter, locomotive, car facilities and traffic one for a specific passenger train (electric train, diesel-train), UAH; C_{fac}^d – direct costs under the items of passenger, commuter, locomotive, car facilities and traffic one for all trains during the reporting period, UAH; n_{train}^i – number of cars in the i-th train, which costs are calculated, cars; l^i – mileage in the i-th the passenger train in the reporting period, km; T_r^i – running period of i-th train, twenty-four hours; N – number of days in the reporting

period, twenty-four hours; $\sum nS$ – total mileage of passenger cars during the reporting period, cars, km.; F_{ac} – coefficient taking into account accrual of production overhead costs, administrative costs and sales expences.

Thus one can calculate the costs of a particular passenger train both upon each item individually, and upon all the items of the given group as a whole.

The second group of expenses, which is calculated by the formula 2, include the costs of the passenger sector and the transportation facility for international trains. This includes items such as: 4 031 – receiving and sending international passenger trains at border passenger stations, 4 035 – shunting operations at border stations and other.

The amount of expences for a particular passenger train according to items affect only a number of cars in the specific train and the total number of cars in all international trains for the reporting year.

$$C_{border}^i = \frac{(C_{border}^d \cdot n_{border}^i \cdot T_r^i / N) \cdot F_{ac}}{n_{rp.border}} \quad (2)$$

де C_{border}^i – direct costs of the passenger sector and the transportation facility on a specific international passenger train upon pointed items, UAH; C_{border}^d – costs of a passenger sector and the transportation facility for all international trains crossing the border during the reporting period; n_{border}^i – number of cars in the i-th international train, where costs are calculated in UAH; $n_{rp.border}$ – total number of passenger cars in international trains during the reporting period, cars; N – number of days during reporting period, twenty four hours; F_{ac} – coefficient taking into account accrual of manufacturing expences, administrative costs and sales expences.

It should be noted that the second group of costs concerns only international trains, and will not be used in the calculation the costs for passenger train of domestic route.

The third group of expences – is the costs of track facilities to the track infrastructure (its deterioration, repair, and so on.). To calculate the amount of these costs on a particular passenger train one need to consider not only trains running

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

during the reporting period, but also weight train (namely the number of cars in train) and running speed of this train. According to the nomenclature of costs for items that are distributed in proportion to deterioration, that depends on speed of a passenger train and its weight, belong following items 4 110, 4 121, 4 124, 4 133, 4 136, 4 139, 4 143, 4 146, 4 155, 4 159, 4 163 etc. This is the costs of relaying the tracks, fastenings, rail anchors and other elements of permanent way on the main line; capital, comprehensive repair and medium repair of the main tracks; replacement of turnouts, rail on the main tracks, medium and enhanced repair of turnouts; amortization of permanent way, etc.

To calculate correctly the costs of specific passenger train that moves at a certain speed one need to know how it affects the deterioration of track infrastructure. The impact of increasing the

speed ratio is calculated approximately on the basis of scientific work [1]. In their work the authors have developed a program ZnoInfra, that when calculating the cost of maintaining the infrastructure on trains categories, taking into account all the peculiarities of their movement: weight, length of run, average speed and the amount of travel during the billing period. Following factors, taking into account changing of track repair costs from trains with certain speed were adopted:

- for passenger trains with an average speed of 80 km/h, the ratio can be set 1;
- for speeds of 80-110 km/h the ratio is 1.67;
- for speeds over 110 km/h the ratio equal to 2.79.

Hence, the formula for calculating the costs of a particular passenger train depend on the velocity, weight and distance will look like the following (3):

$$C_{track, fac}^i = \frac{(C_{track, fac}^d \cdot n_{train}^i \cdot F_s^j \cdot T_r^i / N) \cdot l^i \cdot F_{ac}}{n_{rp}^{pas} \cdot F_{pas}^j \cdot l_{pas} + (n_{rp}^{sp} \cdot F_{sp}^j) \cdot l_{sp} + (n_{rp}^{exp} \cdot F_{exp}^j) \cdot l_{exp} + \sum_{i=1}^r (n_s^i \cdot F_s^j \cdot T_r^i / N \cdot l_s^i)} \quad (3)$$

where $C_{track, fac}^i$ – costs of track facility for a specific passenger train at certain speed, UAH; $C_{track, fac}^d$ – direct general costs under items, which are assigned to all passenger trains during the reporting period; n_{train}^i – number of cars in the i-th train, which costs are calculated, cars; F_s^j – factor that takes into account the costs changes for the track repairs from J-th trains of a certain speed. For passenger trains with an average speed (without stopping period) up to 80 km/h. $F_s^j = 1$, for speed 80-110 km/h $F_s^j = 1.67$, for speed more than 110 km/h $F_s^j = 2.79$; n_{rp}^{pas} – total number of cars in trains, running during the whole year with speed up to 80 km/h, cars; n_{rp}^{sp} – number of cars in the express passenger cars, running during the reporting period with speed 80-110 km/h, cars; n_{rp}^{exp} – number of cars in the express passenger cars, running during the reporting period with speed more than 110 km/h, cars; n_s^i – number of cars in i-th passenger trains at different speeds, running during the summer season, holidays, during the increase

of passenger traffic, etc., cars; l^i – mileage of i-th passenger train to be tested for the reporting period km; l_{pas} – mileage of all trains that ply at mid-speed up to 80 km/h, during the reporting period, km; N – quantity of days during the reporting period, twenty four hours; l_{sp} – mileage of all trains that ply with mid-speed of 80-110 km/h. During reporting period, km; l_{exp} – mileage of all trains, mid-speed more than 110 km/h during the reporting period, km; l_s^i – mileage of i-x passenger trains, running with various speeds during summer season, holidays, increase of traffic flow etc., km (separately for each train) during thereporting period; F_{pas}^j – factor takes into account increase in expences for repairs of tracks from trains running with mid- speed of 80 km/h, equals – 1; F_{sp}^j – factor takes into account increase in expences for repairs of tracks from trains running with mid-speed of 80-110 km/h, equals – 2; F_{exp}^j – factor takes into account increase in expences for repairs of tracks from trains running with mid-speed more than 110 km/h., equals – 4; T_r^i – running period of

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

i -th train, twenty four hours; F_{ac} – factor takes into account accruals of production overhead costs, administrative costs and sales expenses.

After studies the reporting of UZ during 2010 year was determined annual mileage ratio, executed by trains with mid-speed up to 80 km/h,

80-110 km/h and more than 110 km/h. They are – 0.432; 0.487; 0.081 respectively (an indicative coefficients of determination). Then the formula (3) for manual calculation after simplification takes the form (4). This error in the calculations would be insignificant.

$$C_{track, fac}^i = \frac{(C_{track, fac}^d \cdot n_{train}^i \cdot F_s^j \cdot T_r^i / 365) \cdot l^i \cdot F_{ac}}{\sum nS(0,432 \cdot F_{pas}^j + 0,487 \cdot F_{sp}^j + 0,081 \cdot F_{exp}^j)}, \quad (4)$$

where the values of all indicators are above.

On the base of the foregoing approach a rather complex and voluminous procedure of calculating the actual costs on infrastructure of each train were obtained, and as a consequence, profitability, reflects adequately the real effectiveness of the particular passenger trains running.

Since to count manually the costs of every particular train is very complex and cumbersome procedure, it was necessary to automate this process. The software to determine the effectiveness of a particular passenger train running was developed by scientists of DNURT (with authors) in research and development work [11].

The list of all the necessary data for the calculation was formed in order to automate the process of calculating the costs of the infrastructure component. The total direct and overhead costs for each sector are taken from the output cost pricing of passenger traffic [4]. Except the amount of the total costs on items, calculating the cost of a particular train requires some quantitative indicators:

- average number of passenger cars in i -th passenger train for the period of calculation, cars;
- term and running of a passenger train for the calculation period, twenty four hours;
- total mileage of a passenger train during the period of calculation, km;
- total mileage of all passenger trains during the period of calculation, cars,-km;
- average number of passenger cars in i -th passenger train of international traffic during the period of calculation, cars;
- total number of cars of international trains during the period of calculation, cars;
- the total number of cars in passenger trains that run during the period of calculation, at a speed up to 80 km/h, cars.

– the total number of cars in passenger trains that run during the period of calculation, at a speed from 80 to 110 km/h, cars.

– the total number of cars in passenger trains that run during the period of calculation, at a speed more than 110 km/h, cars.

– total mileage of passenger trains that run during the period of calculation at a speed up to 80 km/h;

– total mileage of passenger trains that run during the period of calculation at a speed from 80 to 110 km/h;

– total mileage of passenger trains that run during the period of calculation at a speed more than 110 km/h;

– percentage of passenger trains that run with mid-speed up to 80 km/h in total quantity of passenger trains;

– percentage of passenger trains that run with mid-speed from 80 to 110 km/h in total quantity of passenger trains;

– percentage of passenger trains, which run at mid-speed above 110 km/h in the total number of passenger trains

– number of days in the reporting period, twenty four hours

In all formulas of methodical approach was used coefficient of costs accrual, taking into account accrual of production overhead costs, administrative ones and sales expenses. This ratio is calculated by the formula:

$$F_{ac} = 1 + \frac{C_{adm} + C_{gen.exp.} + C_{sale}}{C_d + C_{dist}}, \quad (5)$$

where C_{adm} – administrative expenses of household, $C_{gen.exp.}$ – production overhead costs of household, C_{sale} – costs for household's sale, C_d – direct costs of household, C_{dist} – allocated costs of household.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

- The user of software has the possibility to see the results of costs calculations of a passenger train by components and objects of expenditure. The results are presented in absolute amounts (UAH.) And relative ones (%)
 - percentage of each component in the total amount of train costs;
 - percentage of each item in calculation in the component of costs;

- percentage of each article in calculation in total sum of the train costs;

To perform automatic calculations when determining the infrastructure component of the costs for the particular passenger train, railway services (divisions) have to submit in standard procedure information about passenger transportation, listed in the table 1.

Table 1

Information about passenger transportation to determine the infrastructure component costs of a particular passenger train

No.	The structural division of Ukrzaliznytsia	Required data
1	Ukrzaliznytsia, the main passenger management	1 Total quantity of passenger cars that equipped in Ukrzaliznytsia, cars; 2. Total quantity of cars in all passenger international trains that ply during the reporting period, cars; 3. Total quantity of cars in all passenger trains that ply during the reporting period with mid-speed up to 80 km/h; 4. Total quantity of cars in all express passenger trains that ply during the reporting period with mid-speed from 80 to 110 km/h; 5. Total quantity of cars in all express passenger trains that ply during the reporting period with mid-speed from 110 km/h; 6. Total year mileage of all passenger trains that ply during the reporting period with mid-speed up to 80 km/h, km; 7. Total year mileage of all passenger trains that ply during the reporting period with mid-speed from 80 km/h to 110 km/h, km; 8. Total year mileage of all passenger trains that ply during the reporting period with mid-speed from 110 km/h, km;
2	Passenger car car-repair shed to which a specific train is attached	1. Average number of cars (<i>pass. and luggage</i>) in a specific passenger train during reporting period, cars
3	Main Transportation Department	1. Running period of a passenger specific train, twenty four hours 2. Mileage of a passenger train during the reporting period, km 3. Average speed of a specific passenger train during the reporting period, km/h

Originality and practical value

The method of costs distribution of all households of the Ukrzaliznytsia for passenger transportation in long-distance traffic and international one for a particular passenger train was improved. It is based on the principles of formation of selected general indicators of costs for each sector, corresponding to the main influential factors of train operation.

Methodical approach to determining the costs of the infrastructure component, which includes the movement speed impact and weight of a passenger train on deterioration of permanent way and contact system was improved.

This allows allocating correctly the costs for passenger train traffic.

Methods of cost allocation taking into account all the individual characteristics of a passenger train running allows calculating costs for the particular passenger train, depending on its structure,

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

comfort of the running period and movement speed.

The introduction of this methods for determining the infrastructure component of costs for particular passenger train running will let calculate the exact, economically justified expenses of this component to a specific train.

This all makes it possible to determine correctly the profitability of a particular passenger train and on its basis to make management decisions to introduce amendments in to the existing schedule. Later, through the proposed approach and using a PC, one can promptly identify the costs for the infrastructure use by a specific train.

Conclusions

On the basis of conducted studies the following conclusions were made:

1. The methodical approach of costs allocation for passenger transportation by the particular passenger train under general indicators, taking into account the peculiarities of each train running was developed.
2. In determining the costs of a particular passenger train a new classification of passenger trains was applied.
3. The dependence of permanent way deterioration and contact system on the movement speed and weight of a passenger train was found out.
4. The method of costs allocation on infrastructure between passenger trains, taking into account the running speed and weight of the concrete passenger trains was developed.
5. Organizational support relating to automation system of calculating the expenses allocation of infrastructure component for the movement of a particular passenger train was formed.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Бараш, Ю. С. Методика складання оптимального плану формування пасажирських поїздів / Ю. С. Бараш, В. В. Скалозуб // Економіка : проблеми теорії та практики : зб. наук. пр. ДНУ. – Дніпропетровськ, 2005. – Вип. 205. – Т. 4. – С. 186–198.
2. Близнюк, Т. М. Аналіз методів визначення плати за користування об'єктами інфраструктури залізничного транспорту / Т. М. Близнюк // Проблеми економіки трансп. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 5. – С. 41–46.
3. Божок, Н. О. Методичний підхід щодо визначення привабливості пасажирських перевезень залізничного транспорту / Н. О. Божок // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 2 (50). – С. 31–40. doi: 10.15802/stp2014/23742.
4. Калькуляція собівартості вантажних та пасажирських перевезень. Таблиця 1. – Київ : Укрзалізниця, 2011. – 112 с.
5. Колесникова, Н. М. Теорія адаптивно-гармонізаційного механізму ціноутворення на залізничному транспорті : монографія / Н. М. Колесникова. – Київ : КУЕТТ, 2007. – 349 с.
6. Корженевич, І. П. Вплив підвищення швидкості руху поїздів на витрати, пов'язані із зносом колійної інфраструктури / І. П. Корженевич, М. Б. Курган, Ю. С. Бараш // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 21. – С. 285–292.
7. Кравченко, Х. В. Наукові принципи визначення ефективності курсування окремого пасажирського поїзда / Х. В. Кравченко, Ю. С. Бараш // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 40. – С. 267–269.
8. Кравченко, Х. В. Сутність економічної категорії ефективності та визначення її на транспорті / Х. В. Кравченко // Зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна «Проблеми економіки транспорту». – 2014. – Вип. 8. – С. 48–56.
9. Номенклатура витрат з основних видів економічної діяльності залізничного транспорту України : затв. наказом Укрзалізниці від 21.08.2007 р. № 417-Ц. – Київ : Укрзалізниця, 2008. – 414 с
10. П'ятигорець, Г. С. Проведення реструктуризації залізничного транспорту України в умовах світової фінансової кризи / Ю. В. Булгакова, Г. С. П'ятигорець // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 27. – С. 239–242.
11. Розробка програмного забезпечення із визначення ефективності курсування пасажирських поїздів : звіт з НДР (закл.) / ДНУЗТ ; кер. Скалозуб В. В. ; викон. Скалозуб В. В., Вишнякова І. М., Дребот Х. В., Нечай Г. В., Клименко І. В. – Дніпропетровськ, 2012. – 81 с. – № 97/2012-ЦТех-248/2012-ЦЮ.
12. Розробка порядку визначення ефективності курсування пасажирських поїздів : звіт з НДР / ДНУЗТ ; кер. Бараш Ю. С. ; викон. Бараш Ю. С., П'ятигорець А. С., Матусевич О. О., Задоя В. О.,

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

- Мельянцова Ю. П., Ломтєва І. М. Пінчук О. П., Дребот Х. В., Чаркіна Т. Ю., Гайдук Н. О. – Дніпропетровськ, 2012. – 175 с. – № ДР 0111U007615. – № 62/11–ЦТех–117/2011–ЦЮ.
13. Самсонкин, В. М. Пути повышения эффективности пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте / В. М. Самсонкин, А. М. Гудков // Проблемы підвищення ефективності інфраструктури : зб. наук. пр. / Київ. ун-т екон. і техн. трансп. – Київ, 2003. – Вип. 4. – С. 135–142.
 14. Скалозуб, В. В. Удосконалення методу оптимізації плану формування пасажирських поїздів з урахуванням обсягів інвестицій // В. В. Скалозуб, Ю. С. Бараш, І. М. Вишнякова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 12. – С. 249–255.
 15. Чаркіна, Т. Ю. Удосконалення класифікації пасажирських поїздів в Україні / Т. Ю. Чаркіна // Зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна «Проблеми економіки транспорту». – 2014. – Вип. 7. – С. 74–80.
 16. Чорний, В. В. Формування доходів від залізничних перевезень в умовах вертикально-інтегрованої системи управління / Н. М. Колесникова, І. Г. Бакаєва, В. В. Чорний // Економіка і управління : зб. наук. пр. / Держ. екон.-технолог. ун-т трансп. – Київ, 2012. – Вип. 19. – С. 54–57.
 17. Blyzniuk, T. M. Methodological approaches to defining railways infrastructure charges / T. M. Blyzniuk // Проблеми економіки трансп. – 2014. – Вип. 6. – С. 100–106.
 18. Chorniy, V. V. Conceptual framework of Ukrainian railways competitive growth at the freight market / V. V. Chorniy // Nauka i studia. – 2012. – № 15 (60). – С. 89–92.
 19. Holgersson, A. Inre säkerheten i tåg eftersatt (Internal safety in trains neglected) / A. Holgersson, R. Forsberg, B. I. Saveman // Läkartidningen. – 2012. – № 109 (1–2). – P. 24–26.
 20. Nationell plan för transportsystemet 2010-2021, Förslag till (Proposal for a National Plan for the Transport System 2010-2021) / National Road Administration, National Rail Administration, Swedish Maritime Administration. – Norrköping, 2009. – 200 p.

Ю. С. БАРАШ¹, Х. В. КРАВЧЕНКО^{2*}, М. Ф. ЗЕНЧУК³

¹Каф. «Облік, аудит та інтелектуальна власність», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (0562) 33 58 13, ел. пошта ubarash@mail.ru, ORCID 0000-0001-5911-9805

^{2*}ГНДЛ «Економіка та управління залізничним транспортом», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (0562) 33 58 13, ел. пошта geneuakk@gmail.com, ORCID 0000-0002-7773-6652

³Каф. «Логістика», «Інститут бізнесу і менеджменту технологій», Білоруський державний університет, вул. Московська, 5, Мінськ, Республіка Білорусь, 220007, тел. +375 (29) 362 30 80, ел. пошта zianchuk@gmail.com, ORCID 0000-0003-0628-1571

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ІНФРАСТРУКТУРНОЇ СКЛАДОВОЇ ВИТРАТ НА КУРСУВАННЯ ОКРЕМОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ПОЇЗДА

Мета. В науковій роботі необхідно розробити методичний підхід щодо визначення інфраструктурної складової витрат руху окремого пасажирського поїзда, який враховує індивідуальні особливості руху конкретного поїзда **Методика.** Для вирішення задач такого класу в роботі запропоновано нову методику, яка розроблена на основі постатейного розподілу витрат конкретного пасажирського поїзда з врахуванням факторів впливу на їх величину. Ця методика дозволяє коректно розподіляти витрати на користування інфраструктурою окремим поїздом і, як наслідок, визначати точну рентабельність кожного поїзда. **Результати.** З калькуляції собівартості пасажирських та вантажних перевезень по Україні виділено всі статті витрат, які стосуються пасажирських перевезень у дальньому сполученні. Всі ці витрати розділено на чотири складові. В інфраструктурній складовій виділено три групи витрат, які розраховуються за певним принципом із врахуванням індивідуальних особливостей курсування конкретного поїзда. **Наукова новизна.** Удосконалено метод розподілу витрат усіх господарств Укрзалізниці на перевезення пасажирів у дальньому та міжнародному сполученні для окремого пасажирського поїзда. Цей метод базується на принципах формування окремих узагальнюючих показників витрат по кожному господарству, які відповідають

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

основним впливовим факторам експлуатації поїзда. Удосконалено методичний підхід щодо визначення витрат на інфраструктурну складову, яка враховує вплив швидкості руху та маси пасажирського поїзда на знос верхньої будови колії та контактної мережі. Все це дозволяє обґрунтовано розподілити витрати на рух конкретного пасажирського поїзда та визначити його рентабельність. **Практична значимість.** Впровадження вказаної методики дозволить розрахувати реальні, економічно обґрунтовані витрати на конкретний поїзд. Це сприяє правильному визначенню рентабельності окремого пасажирського поїзда і, на основі цього, прийняттю управлінських рішень щодо внесення змін в існуючий розклад руху. Також, на основі даної методики можна буде за допомогою ПЕОМ визначати вартість користування інфраструктурою конкретним поїздом та його рентабельність.

Ключеві слова: інфраструктура; витрати; швидкість руху; маса поїзда; рентабельність пасажирського поїзду

Ю. С. БАРАШ¹, К. В. КРАВЧЕНКО^{2*}, М. Ф. ЗЕНЧУК³

¹Каф. «Учет, аудит и интеллектуальная собственность», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (0562) 33 58 13, эл. адрес ubarash@mail.ru, ORCID 0000-0001-5911-9805

^{2*}ОНИЛ «Экономика и управление железнодорожным транспортом», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (0562) 33 58 13, эл. адрес geneuakk@gmail.com, ORCID 0000-0002-7773-6652

³Каф. «Логистика», «Институт бизнеса и менеджмента технологий», Белорусский государственный университет, ул. Московская, 5, Минск, Республика Беларусь, 220007, тел. +375 (29) 362 30 80, эл. адрес zianchuk@gmail.com, ORCID 0000-0003-0628-1571

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИНФРАСТРУКТУРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ РАСХОДОВ НА КУРСИРОВАНИЕ ОТДЕЛЬНОГО ПАССАЖИРСКОГО ПОЕЗДА

Цель. В научной работе необходимо разработать методический подход к определению инфраструктурной составляющей расходов на движение отдельного пассажирского поезда, который учитывал бы индивидуальные особенности движения конкретного поезда. **Методика.** Для решения задач такого класса в работе предложена новая методика, разработанная на основе постатейного распределения затрат на курсирование конкретного пассажирского поезда с учетом факторов влияния на их величину. Эта методика позволяет корректно распределять затраты за пользование инфраструктурой отдельным поездом и, как следствие, определять точную рентабельность каждого поезда. **Результаты.** Из калькуляции себестоимости пассажирских и грузовых перевозок по Украине выделены все статьи расходов, касающиеся пассажирских перевозок в дальнейшем сообщении. Все эти расходы разделены на четыре составляющие. В инфраструктурной составляющей выделены три группы расходов, которые рассчитываются по определенному принципу с учетом индивидуальных особенностей курсирования конкретного поезда. **Научная новизна.** Усовершенствован метод распределения расходов всех хозяйств Укрзализныци на перевозки пассажиров в дальнем и международном сообщении для отдельного пассажирского поезда. Этот метод базируется на принципах формирования отдельных обобщающих показателей затрат по каждому хозяйству, которые соответствуют основным влияющим факторам эксплуатации поезда. Усовершенствован методический подход к определению затрат на инфраструктурную составляющую, учитывающую влияние скорости движения и массы пассажирского поезда на износ верхнего строения пути и контактной сети. Все это позволяет обоснованно распределить затраты на движение конкретного пассажирского поезда и определить его рентабельность. **Практическая значимость.** Внедрение указанной методики позволит рассчитать реальные, экономически обоснованные расходы на конкретный поезд. Это будет содействовать правильному определению рентабельности отдельного пассажирского поезда и, на основе этого, принятию управленческих решений по внесению изменений в действующее расписание движения. Также, на основе данной методики можно будет с помощью ПЭВМ определять стоимость пользования инфраструктурой конкретным поездом и его рентабельность.

Ключевые слова: инфраструктура; затраты; скорость движения; масса поезда; рентабельность пассажирского поезда

REFERENCES

1. Barash Yu.S., Skalozub V.V. Metodyka skladannia optymalnoho planu formuvannia pasazhyrskykh poizdiv [The methodology of optimal plan of passenger trains formation]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu: «Ekonomika: problemy teorii i ta praktyky»* [Proc. of Dnipropetrovsk National University: «Economics: questions of theory and practice»], 2005, issue 205, vol. 4, pp. 1186-1198.
2. Blyzniuk T.M. Analiz metodiv vyznachennia platy za korystuvannia ob'ektyamy infrastruktury zaliznychnoho transportu [The analysis of methods for determining the fees for the use of railway infrastructure]. *Problemy ekonomiky transportu – Problems of Transport Economics*, 2014, issue 5, pp. 41-46.
3. Bozhok N.O. Metodichniy pidkhid shchodo vyznachennia pryvablyvosti pasazhyrskykh perevezen zaliznychnoho transportu [Methodical approach to determination of passenger transportation attractiveness on railway transport]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 2 (50), pp. 31-40. doi: 10.15802/stp2014/23742.
4. *Kalkuliatsiia sobivartosti vantazhnykh ta pasazhyrskykh perevezen. Tablytsia 1* [Cost accounting of freight and passenger traffic. Table 1]. Kyiv, Ukrzaliznytsia Publ., 2011. 112 p.
5. Kolesnykova N.M. *Teoriia adaptivno-harmonizatsiinoho mekhanizmu tsinoutvorennia na zaliznychnomu transporti* [Theory of adaptive and harmonization pricing mechanism at railway transport]. Kyiv, KUETT Publ., 2007. 349 p.
6. Korzhenevych I.P., KurhanM.B., Barash Yu.S. Vplyv pidvyshchennia shvydkosti rukhu poizdiv na vytraty, poviazani iz znosom koliinoi infrastruktury [The impact of the increased speed of trains on the losses associated with the wear gauge infrastructure]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue, 21, pp. 285-292.
7. Kravchenko Kh.V., Barash Yu.S. Naukovi pryntsypy vyznachennia efektyvnosti kursuvannia okremoho pasazhyrskoho poizda [Scientific principles of determination of efficiency of running a separate passenger train]. *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. 267-269.
8. Kravchenko Kh. V. Sutnist ekonomichnoi katehorii efektyvnosti ta vyznachennia yii na transporti [The notion of efficiency as economic category and its assessment in transport]. *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 Transport Economics»], 2014, issue 8, pp. 48-56.
9. *Nomenklatura vytrat z osnovnykh vydiv ekonomichnoi diialnosti zaliznychnoho transportu ukrainy. № 417-TS* [Nomenclature of costs of the main economic activities of Railway Transport of Ukraine No. 417-TS]. Kyiv, Ukrzaliznytsia Publ., 2008. 414 p.
10. Piatyhorets H.S., Bulhakova Yu.V. Provedennia restrukturyzatsii zaliznychnoho transportu Ukrainy v umovakh svitovoi finansovoi kryzy [The reconstruction of Ukrainian railway transport in the condition of world financial crisis]. *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. 239-242.
11. Skalozub V.V., Vyshniakova I.M., Drebot Kh.V., Nechai H.V., Klymenko I.V. *Rozrobka prohramnoho zabezpechennia iz vyznachennia efektyvnosti kursuvannia pasazhyrskykh poizdiv* [Development of software about determination the effectiveness of the passenger trains running]. Dnipropetrovsk, 2012. 81 p. No. 97/2012-TsTekh-248/2012-TsIU.
12. Barash Yu.S., Piatyhorets A.S., Matusevych O.O., Zadoia V.O., Meliantsova Yu.P., Lomtseva I.M., Pinchuk O.P., Drebot Kh.V., Charkina T.Yu., Haiduk N.O. *Rozrobka poriadku vyznachennia efektyvnosti kursuvannia pasazhyrskykh poizdiv* [Development procedures for determining the efficiency of running of passenger trains]. Dnipropetrovsk, 2012. 175 p. No. SR 0111U007615. No. 62/11– TsTekh –117/2011– TsIU.
13. Samsonkin V.M., Gudkov A.M. Puti povysheniya effektivnosti passazhirskikh perevozok na zheleznodorozhnom transporte [Ways to improve the efficiency of passenger rail transportation]. *Zbirnyk naukovykh prats Kyivskoho universytetu ekonomiky i tekhnolohii transportu «Problemy pidvyshchennia efektyvnosti infrastruktury»* [Proc. of Kyiv University of Economics and Transport Technologies «Problems of increasing the efficiency of infrastructure»]. Kyiv, 2003, issue 4, pp. 135-142.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

14. Skalozub V.V., Barash Yu.S., Vyshniakova I. M. Udoshkonalennia metodu optymizatsii planu formuvannia pasazhyrskykh poizdiv z urakhuvanniam obsiahiv investytzii [Optimization method improvement of the forming plan of passenger trains in view of the investments]. *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. 249-255.
15. Charkina T.Yu. Udoshkonalennia klasyfikatsii pasazhyrskykh poizdiv v Ukraini [Improving classification of passenger trains 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 Transport Economics»], 2014, issue 7, pp. 74-80.
16. Chornyi V.V., Kolesnykova N.M., Bakaieva I.H. Formuvannia dokhodiv vid zaliznychnykh perevezen v umovakh vertykalno-intehrovanoi systemy upravlinnia [Formation of income generation from railway transportation in terms of vertical and integrated management system]. *Zbirnyk naukovykh prats Kyivskoho derzhavnoho ekonomiko-tekhonolohichnoho universytetu transport «Ekonomika i upravlinnia»* [Proc. of Kyiv State Economic and Technological University of Transport], 2012, issue 9, pp. 54-57.
17. Blyzniuk T.M. Methodological approaches to defining railways infrastructure charges. *Problemy ekonomiky transportu – Problems of Transport Economics*, 2014, issue 6, pp. 100-106.
18. Chorniy V.V. Conceptual framework of Ukrainian railways competitive growth at the freight market. *Nauka i studia*, 2012, no. 15 (60), pp. 89-92.
19. Holgersson A., Forsberg R., Saveman B.I. Inre säkerheten i tåg eftersatt (Internal safety in trains neglected) *Läkartidningen*, 2012, no. 109 (1-2), pp. 24-26.
20. Nationell plan för transportsystemet 2010-2021, Förslag till (Proposal for a National Plan for the Transport System 2010-2021) / National Road Administration, National Rail Administration, Swedish Maritime Administration. Norrköping, 2009. 200 p.

Ass. Prof., D. Sc. O. V. Kakhovska (Tech.), (Ukraine); Prof. O. M. Hnennyi, D. Sc. (Tech.), (Ukraine)
recommended this article to be published

Received: May 15, 2015

Accepted: July 14, 2015

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.423.33:621.336.2

Ю. Л. БОЛЬШАКОВ^{1*}, А. В. АНТОНОВ²

¹ТОВ «Глорія», пр. Леніна, 108-а, Запоріжжя, Україна, 69004, тел. + 38 (0612) 34 80 45, ел. пошта
jurij.bolshakov@gmail.com, ORCID 0000-0002-1513-2992

²Каф. «Електропостачання залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
ім. академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 25,
ел. пошта a.v.antonov91@gmail.com, ORCID 0000-0001-5701-6087

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ВУГІЛЬНИХ СТРУМОЗНІМАЛЬНИХ ВСТАВОК СТРУМОПРИЙМАЧІВ ШВИДКІСНОГО ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Мета. Робота спрямована на визначення основних напрямків підвищення ресурсу та ефективності експлуатації вугільних струмознімальних вставок струмоприймачів швидкісного електрорухомого складу. **Методика.** Дослідження побудоване на методиці, яка ґрунтується на використанні положень теорії надійності технічних систем, електромеханічних процесів, теорії статистики. **Результати.** Розглянуто існуючі підходи у виробництві струмознімальних вставок полозів струмоприймачів у Європі та Україні, проаналізовано ряд інформаційних джерел. Визначено найбільш ефективні напрямки підвищення навантажувальної здатності та зносостійкості струмознімальних елементів. Встановлено, що існуючі системи для визначення якості виготовлення вугільних струмознімальних вставок мають ряд недоліків, які ускладнюють вхідний контроль та унеможливають діагностування струмознімальних елементів в експлуатації. На основі даних фактів для потреб локомотивних депо запропоновано новий стенд, що дозволяє уникнути існуючих складнощів із діагностуванням вугільних вставок. У ході дослідження встановлено повсюдні порушення технологічних норм обслуговування струмоприймачів. **Наукова новизна.** На основі результатів експлуатаційних досліджень, що проводились на базі локомотивних депо, отримано залежності, базуючись на яких, запропоновано впровадити систему оперативного діагностування стану вугільних вставок у процесі експлуатації. У ході проведеного порівняльного аналізу існуючих та перспективних напрямків розробки струмознімальних елементів із підвищеною навантажувальною здатністю та зносостійкістю визначено конструктивні умови для вибору оптимального співвідношення складових вставок. Встановлено, що значна частина відмов виникає через недосконалість системи технічного обслуговування, для чого на основі експлуатаційних даних розроблено рекомендації. **Практична значимість.** Отримані результати аналізу інформаційних джерел визначають необхідність введення в матеріал вугільних вставок мідної складової, що дозволить підвищити навантажувальну здатність полозів струмоприймачів. Встановлено чисельні недоліки існуючих систем діагностування вугільних струмознімальних вставок полозів струмоприймачів, вирішення яких покладено за основу при створенні нових засобів та систем діагностування струмознімальних елементів. Це, в свою чергу, дозволяє підвищити термін експлуатації вставок та допоможе організувати відбракування неякісних струмознімальних елементів. Встановлена недосконалість системи технічного обслуговування струмоприймачів. Підвищення вимог до такої системи дозволить значно зменшити кількість поломок, викликаних підвищеним перехідним опором у системі «вставка – полоз струмоприймача».

Ключові слова: швидкісний рух; струмознімальні елементи; графіт; зносостійкість; металеві волокна; навантажувальна здатність; ресурс; система діагностування; полоз струмоприймача

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Вступ

Забезпечення надійної та економічної передачі електроенергії електрорухомому складу є однією з головних проблем розвитку швидкісного залізничного транспорту України. Пріоритетним напрямком вдосконалення пристроїв струмознімання є збільшення їх терміну експлуатації шляхом вибору таких матеріалів для контактної пари, які б задовольняли умовам струмознімання [3], оскільки в умовах швидкісного руху надійність системи «контактний провід – струмознімальний елемент» напряму залежить від стану взаємодіючих поверхонь.

Інтенсивність зношування пари «контактний провід – струмознімальний елемент», окрім електромеханічних умов, визначається властивостями і складом струмознімальних елементів, динамічними параметрами контактної мережі та струмоприймачів електрорухомого складу, властивостями самих контактних проводів, а також іншими параметрами пристроїв струмознімання [1]. При цьому сам процес зносу є складною взаємодією механічних та електричних процесів в ковзному електричному контакті і носить випадковий характер [3].

Аналіз технічних вимог показує, що струмознімаюча вставка повинна відповідати багатьом взаємовиключним умовам роботи. З одного боку – це умова мінімального зносу контактного проводу при забезпеченні надійного струмознімання, а з іншого – максимально можливий міжремонтний пробіг полоза струмоприймача [15]. В зв'язку з цим проблема підвищення ресурсу вугільних вставок залишається серед пріоритетних. Актуальність вирішення зазначеної проблеми зростає з підвищенням швидкостей руху електрорухомого складу.

Мета

Метою статті є визначення основних напрямків підвищення ресурсу та ефективності експлуатації вугільних струмознімальних вставок струмоприймачів швидкісного електрорухомого складу.

Методика

Уже протягом майже століття різноманітні компанії як на теренах країн СНД, так і в Європі пропонують струмознімальні вставки, які кардинально відрізняються своїми характеристиками

і формами. Всі матеріали струмознімальних вставок умовно розділяють на два типи: композиційні матеріали на основі металів та матеріали на основі вуглецю. Останні можуть бути однорідними, з просочуванням металами чи складними в поєднанні з іншими матеріалами.

На сьогодні провідними виробниками в Європі, які виготовляють вуглецеві електротехнічні матеріали, є компанії Morgan Carbon, PanTrac, Hoffman. Більшість видів вставок, що виготовляються ними, містять в собі мідну складову, при цьому вставки можуть виготовлятися довільної довжини. Такі струмознімальні елементи виконуються в алюмінієвому каркасі та кріпляться за допомогою спеціальних клеїв чи болтових з'єднань, а також часто розміщуються в мідних обоймах.

На рис. 1 наведені профілі струмознімальних вставок компанії Morgan Carbon. Відповідно до даних, які надає компанія Morgan Carbon, пробіги їх струмознімальних вставок, залежно від місця експлуатації та роду струму, коливаються в межах 70–220 тис. км.

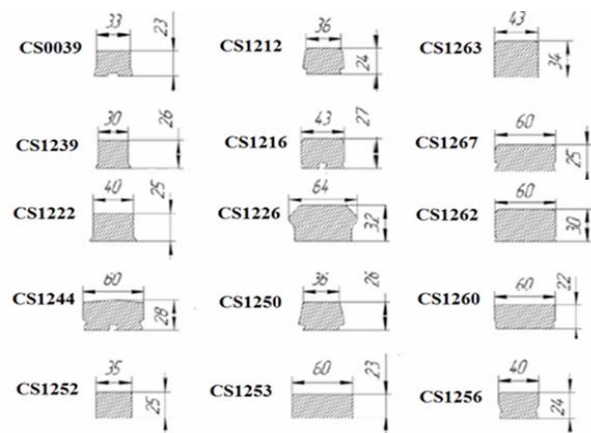


Рис. 1. Профілі струмознімальних вставок компанії Morgan Carbon

Fig. 1. Profiles of current collector inserts of Morgan Carbon company

Струмознімальні вставки компанії Hoffman виготовляються разом з мідними, алюмінієвими чи стальними каркасами або оболонками, до яких вставки кріпляться за допомогою клею. На теренах України, Росії та інших країн СНД виробництвом матеріалів для струмознімальних вставок займається велика кількість підприємств, які пропонують широкий асортимент електротехнічної продукції, але вже протягом майже півстоліття основними є марки, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики струмознімальних вставок, що експлуатуються в країнах СНД

Table 1

Characteristics of slip inserts which are operated in the CIS countries

Марка (основа)	ПЕО, мкОм·м	Щільність, г/см ³	Твердість, НS	Метал, %
ВЖ-ЗП (залізо)	0,28	7,8	120HB	75 Fe – 10 Cu – 14 Pb – 1 Sn
«Б» (штучний графіт)	15	1,75	50	0
«А» (кокс)	30	1,8	70	0
«О» (штучний графіт)	5	1,78	25	0

Загальноприйнятим є використання контактних вугільних вставок з поперечним перерізом прямокутної форми 30х30 мм [8, 9]. Така товщина обрана з техніко-економічних міркувань. Подальше зменшення товщини вставки раціонально здійснювати тільки в тому випадку, коли сам матеріал є досить зносостійким і відповідає умовам струмознімання. Вставки такого типу, біля основи, мають виступ у формі «ластівчиного хвоста», який необхідний для їх кріплення до полозу.

За кордоном розповсюдження отримали вуглецеві вставки висотою від 19 до 30 мм, в останні роки – частіше 22 мм, але більш широкі – (>40) [2, 3].

Збільшення швидкостей руху поїздів зумовлює посилення вимог до надійності ковзного контакту, в зв'язку з цим пошук та розробка нових, ефективних матеріалів для виготовлення вставок струмоприймачів, вивчення умов, що впливають на знос контактуючих поверхонь, становлять важливу та актуальну задачу. Дослідженням таких питань приділяється велика увага як в країнах СНД, так і за кордоном [1, 4, 5, 12, 15, 18–21].

Введення в вугільний матеріал мідних домішок різного виду та різними способами дозволяє регулювати властивості струмознімальних вставок в широких межах. На сьогодні виділяється декілька способів введення мідної складової у вуглецевий матеріал [4]:

- просочування пористої вугільної заготовки розплавом міді чи її сплавами;
- введення порошку міді на стадії приготування шихти;
- введення частинок графіту чи коксу з мідним покриттям;
- введення металевої складової у вигляді коротких волокон.

Наприклад, компанія Hoffman, встановивши

наявність орієнтованих мікротріщин при виготовленні пластин графіту, подала ідею виділення пластів, в яких є природні прожилки, орієнтовані вертикально. Методом насичення міддю прожилок були створені струмознімальні вставки [14], виготовлені на основі графітів SK85, SK01. Насичення міддю здійснювалось в об'ємі 20–30 % від маси графіту, це забезпечувало природне проходження струму від точки контакту струмознімальної вставки до металевої основи, без перегріву. На основі виконаних експлуатаційних випробувань, при швидкості ведення поїзда 140–270 км/год, було встановлено, що середній пробіг вставок SK85ACu та SK01ACu в 2 рази більший, ніж з металевими.

Авторами [4] створений композиційно-вуглецевий матеріал, виготовлений шляхом об'ємно-дискретного армування мідними волокнами (МВ). Виконано велику кількість дослідів, які виявляють різке (10–15 разів) зменшення питомого еквівалентного опору струмознімальної вставки, при вмісті мідних волокон 15–25 мас. %. Встановлено, що зменшення міцності та антифрикційних властивостей відсутнє, ударна міцність матеріалу зросла, матеріал має підвищену струмову навантажувальну здатність. Враховуючи структуру та дисперсність шихти вугільного матеріалу, особливості технології термообробки, було визначено, що найбільш раціональним вибором геометричних характеристик мідних волокон є: діаметр МВ 0,1–0,3 мм та довжина 5–15 мм.

В [5] наводиться технологія виготовлення вставок на основі графіту, в якому було досягнуто змочування природного графіту міддю, для цього використовувались такі модифікатори: Nb, W, V, Cr, Mo. Під дією модифікатора мідь розподілялась по графіту у вигляді стріч-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

коподібних включень. Як результат, було досягнуто значного зниження питомого електричного опору вставки та з'явилась анізотропія властивостей.

До складу металовмісних вугільних вставок частіше всього входить мідь, в кількості від 30 до 60 %. Однак в [6] вставлено, що помітне зменшення питомого електричного опору можливе при концентрації міді 30–35 %, подальше збільшення частки міді в матеріалі збільшить вірогідність схоплювання вставок з контактним проводом і не призведе до виправданого зменшення питомого електричного опору вставки.

Необхідно виділити, що властивості струмознімальних вставок визначаються самими виробниками і можуть бути однаковими за складом, але різко відрізнятися за своїми властивостями. Це зумовлено великою різноманітністю способів виготовлення струмознімальних елементів.

Якість вставок струмоприймача визначає інтенсивність зносу контактного проводу, довговічність електрообладнання електро рухомого складу, рівні завад в пристроях зв'язку, розташованих в залізничних зонах, а також зв'язані з цим затрати на поточний ремонт цих систем. Відомий досвід розробки вставок з трапецеїдальною формою профілю [16, 17]. Профіль вставки [16], виконаний з кутом нахилу 30–60 ° прямолінійної ділянки до основи, а профіль вставки [17] має криволінійну форму контактуючої поверхні, що описується віткою параболи. Такі профілі дозволяють знизити динамічні удари на бокову поверхню вставки, але не вирішують проблему аеродинамічних властивостей полоза струмоприймача в цілому.

Авторами [2] запропонована вставка з профілем випуклої форми, яка показала кращий результат під час дослідних випробувань, порівняно зі вставками з трапецеїдальним та стандартним профілем. Випукла форма профілю вставки позитивно впливає на аеродинамічні властивості полоза струмоприймача, при цьому вага полоза зменшується на 6–11 %.

На сьогодні велика кількість наукових робіт направлена на розробку нових матеріалів, зменшення питомого електричного опору струмознімальних елементів, визначення оптимального співвідношення часток тих чи інших складових в матеріалі струмознімальних вставок, способу їх виготовлення.

Виконаний аналіз інформаційних джерел, відомих результатів експериментальних та теоретичних досліджень визначає конструктивні умови для вибору оптимального співвідношення складових вставок та розробки раціональної форми контактної вставки струмоприймача, які б відповідали взаємовиключним умовам, що висуваються до вставок струмоприймачів, але проблема контролю їх відповідності існуючим вимогам в процесі експлуатації залишається актуальною.

Вугільні вставки, на етапі виготовлення, проходять заводський контроль якості, порядок якого встановлений нормативною документацією [9]. Види контролю, які для цього використовуються, передбачають вимір твердості струмознімальної частини вставок за шкалою Шора, вимір межі міцності при трьохточкову статичному згинанні і статичному стисненні, визначення щільності зразка методом гідростатичного зважування, вимірювання величини водопоглинання, а також визначення електричного опору вставки.

Твердість струмознімальної частини вставки визначають методом пружного відскоку бойка по Шору згідно з ГОСТ 23273 (більш розповсюджений на сьогодні метод видавлювання шарика діаметром 5 або 10 мм) та розраховують як середнє арифметичне значення п'яти вимірів в точках, що знаходяться одна від одної і від торців вставок на рівних відстанях. Межу міцності на стиск визначають згідно з ГОСТ 25.503 на фрагменті вуглецевої струмознімальної частини вставки циліндричної форми, використовуючи універсальну випробувальну машину (ГОСТ 28840). Межу міцності при статичному згинанні визначають на фрагменті у формі прямокутного паралелепіпеда, вирізаного з вугільної струмознімальної частини вставки.

Під час визначення електроопору вугільної вставки вимірювання виконуються методом амперметра-мілівольтметра. Розташування струмових і потенційних електродів на вставці зумовлює фізичний зміст вимірюваного опору. Зменшення відстані між потенційними електродами дозволяє фіксувати зміну електроопору вставки залежно від мінливої внутрішньої структури.

Нормативні дослідження контактних вставок, за умови комплексного аналізу всіх їх ре-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

зультатів, можуть дати уявлення про якість кожного конкретного розглянутого зразка, але застосування подібних методів для вхідного контролю вставок в умовах депо різко обмежена, внаслідок вимогливості їх до точного і, відповідно, дорогого вимірювального обладнання. Також, як недолік, можна відмітити значний час, необхідний для виконання всіх досліджень зазначеними методами.

Відповідно до вищесказаного, постає важливе питання вибору та застосування економічно-доцільного методу неруйнуючого контролю як нових, так і експлуатованих струмознімальних елементів.

Найбільш часто використовуваними неруйнуючими методами контролю внутрішньої структури матеріалу є: рентгенографія і ультразвукові дослідження. Ці методи частково перекривають області застосування один одного і частково розширюють їх. Таким чином, багато завдань контролю можна вирішувати більш економічним і безпечним ультразвуковим методом, а в низці спеціальних проблем – використовувати рентген.

Ультразвукові методи дефектоскопії і, зокрема, ехо-імпульсний метод контролю, відносяться до числа найбільш універсальних методів неруйнуючого контролю. Вони дозволяють контролювати різноманітні властивості (довжину, товщину, суцільність матеріалу тощо) виробів, виготовлених з акустично прозорих конструкційних матеріалів. Не вимагають забезпечення безпосереднього контакту з контролюваною поверхнею, що дозволяє вести контроль виробів без їх демонтажу з конструкції. Метод має високу чутливість, достатню для контролю конструкцій і виробів в експлуатації (мінімальна площа дефекту, який виявляється на відстані 2 500 мм від випромінювача, становить близько 1мм²).

В роботі [13] автором встановлений зв'язок між властивостями матеріалу контактної вставки та характером акустичного сигналу, на основі чого була розроблена методика вибраковки та сортування вставок за якістю виготовлення методом ультразвукового зондування.

В той же час цей метод має такі недоліки:

- високі вимоги до контролюпридатності конструкції чи виробу;

- низькі показники надійності результатів контролю;

- складність процесу виміру, апаратури та її використання;

- великі габарити та вагу;

- відносно низьку завадостійкість.

Застосування ультразвукового імпульсного методу у вигляді стендів неруйнівного контролю є одним із напрямків вирішення задачі оперативного вхідного контролю струмознімальних елементів на виробництві, який різко дозволить скоротити час та зменшити складність проходження процедури вхідного контролю вугільних вставок, яка інколи розтягується на місяць. Але використання таких систем в експлуатації потребує виконання додаткових досліджень та вирішення цілої низки питань зі створення автоматизованих, компактних, універсальних вимірювальних систем неруйнуючого ультразвукового контролю. Також використання подібних стендів для перевірки кожного окремого зразка вугільної вставки перед встановленням на полоз струмоприймача є недоцільним з матеріальної точки зору та вносить значні складності під час роботи обслуговуючого персоналу локомотивних депо.

Для таких потреб більш доцільним є використання стенда для виміру питомого електричного опору вугільних струмознімальних вставок принципово нового типу, який скорочує процедуру виміру до декількох секунд та базується на мікропроцесорних вимірювальних пристроях, має компактні розміри, високу точність та низьку собівартість, що дозволяє йому отримати широке поширення в експлуатації.

Із збільшенням швидкостей руху електрорухомого складу виникає необхідність підвищення вимог щодо надійності ковзного контакту і, як уже зазначалося, вирішення проблеми підвищення ресурсу контактної пари «струмознімальний елемент струмоприймача – контактний провід» стає ще більш актуальним.

Тому, збір статистичних даних щодо виходів з ладу полозів струмоприймачів повинен лягти в основу методики прогнозування появи відмов елементів струмоприймачів.

Відповідно до вимог ЦТ-ЦЕ-0077, при появі слідів ударів, сколів, тріщин вугільних вставок, пошкодженнях полозів струмоприймачів, працівникам локомотивних депо необхідно робити

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

запис в журналі з вказівкою дати та характеру пошкодження. При цьому персонал деяких локомотивних депо недбало ставиться до контролю за появами перерахованих несправностей та часто їх просто не фіксує.

На основі даних про пошкодження полозів струмоприймачів електровозів локомотивного депо Знам'янка та Київ-Пас. було вирішено: для визначення характеру розподілення пошкоджень протягом року застосувати алгоритм лінійної інтерполяції масиву даних. Звичайно, такий підхід є досить грубим інструментом апроксимації, але, тим не менш, володіє низкою корисних властивостей, наприклад алгоритмічною простотою, і має достатню точність для вирішення задачі такого типу. Результати за-

стосування алгоритму лінійної апроксимації, для усереднених даних за три роки в графічному вигляді наведені на рис. 2.

Як видно з рис. 2, характер розподілу пошкоджень полозів струмоприймачів має різко виражені сезонні коливання (спостерігається збільшення кількості замінених полозів в осінньо-зимовий період до п'яти разів), які викликані впливом різноманітних параметрів. Для виділення основних причин виходів з ладу полозів струмоприймачів необхідно виконати детальні дослідження опрацьованих статистичних даних, отриманих в експлуатації, та виділити найбільш значущі в кількісному співвідношенні пошкодження (рис. 3).

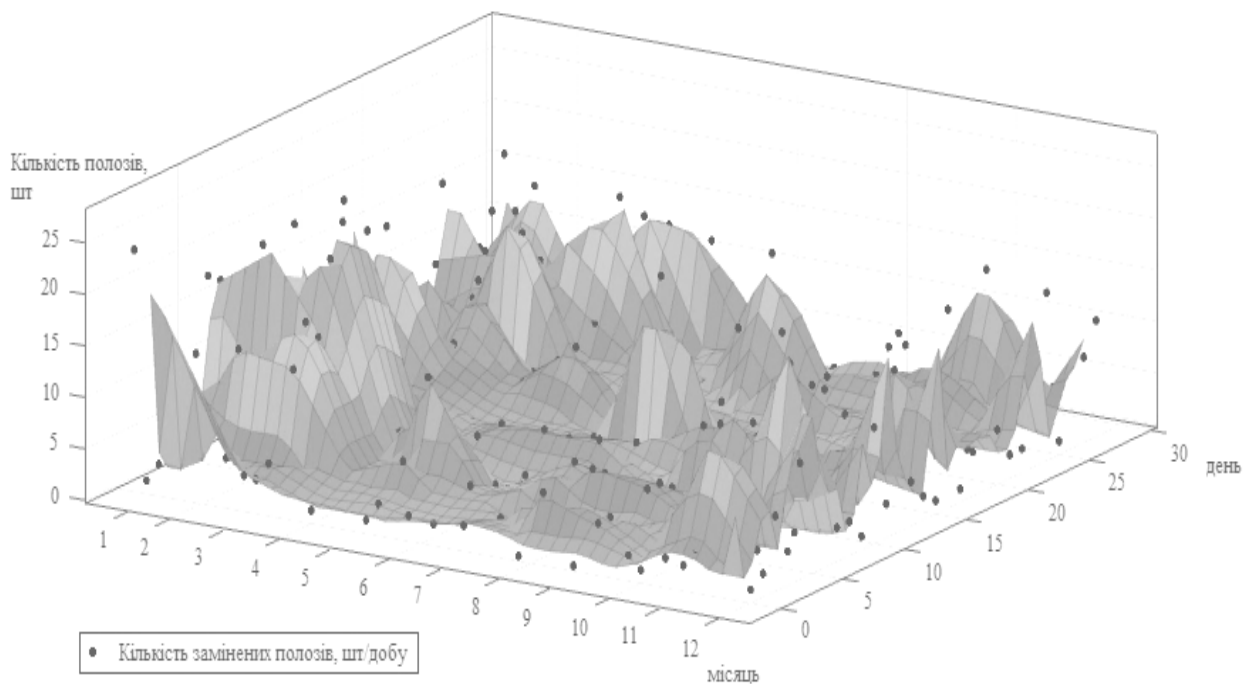
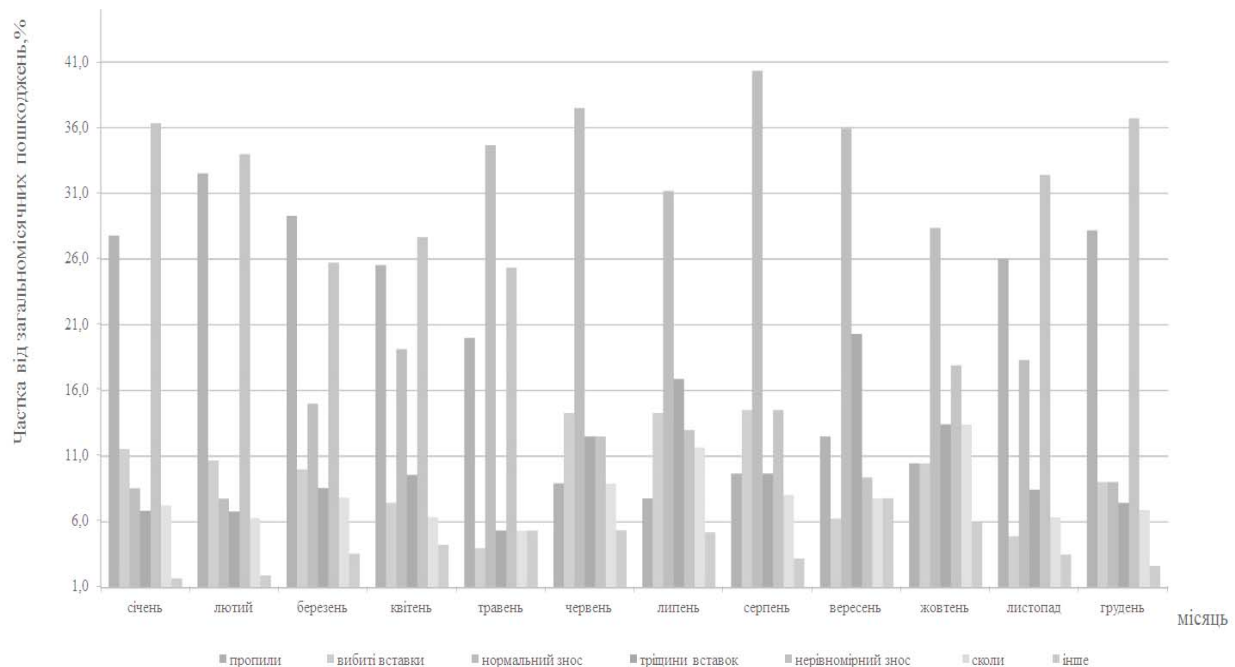


Рис. 2. Кількісний розподіл заміни полозів струмоприймачів

Fig. 2. Quantitative distribution of the replacement skids of current collectors

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Рис. 3. Розподіл видів пошкоджень
полозів струмоприймачівFig. 3. Kinds distribution of skids
damages of current collectors

Сезонність в статистиці – це зміна динамічних рядів, що мають циклічність в середині року (залежать від погодних умов, тощо). Явища, що схильні до сезонних змін, необхідно досліджувати на предмет наявності основної тенденції розвитку. Для цього необхідно розділити обсяг зміни явища між сезонною складовою та основною тенденцією. На рис. 4 наведено найбільш вагомі у відсотковому співвідношенні пошкодження полозів струмоприймачів.

Як видно з рис. 4, найбільша частка несправностей, через які необхідно замінювати полози струмоприймачів, припадає на пропили та нерівномірний знос вставок. Для визначення та відображення основних несправностей полозів, а також розподілення зусиль для їх вирішення, як загальний принцип, можна застосувати закон Парето (рис. 5).

Для оптимізації результатів, отриманих за допомогою побудованої діаграми Парето, та позбавлення від менш важливих причин, найкраще підійде загальновідомий метод ABC-аналізу, відповідно до якого найважливішими причинами, що становлять разом більше ніж 50 % від загального, є нерівномірний знос та пропили вставок.

Різне скорочення нормативного терміну експлуатації або ж взагалі втрата працездатності струмознімальних вставок полозів струмоприймачів (рис. 6) може виникнути через: неякісний ремонт, неправильну експлуатацію, різноманітні перевантаження, використання неякісних запасних частин, проблеми, пов'язані з неякісним регулюванням контактної підвіски.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

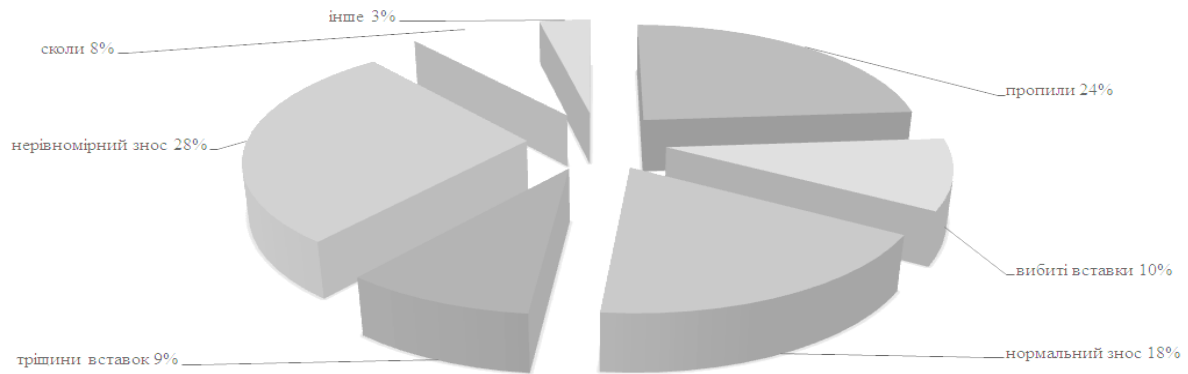


Рис. 4. Розподіл несправностей полозів струмоприймачів

Fig. 4. The distribution of skids faults of current collectors

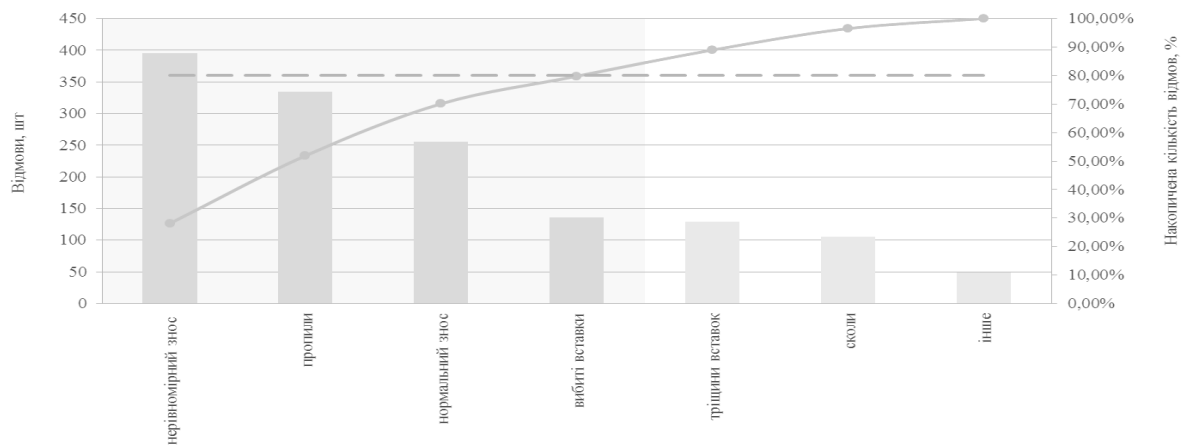


Рис. 5. Діаграма Парето

Fig. 5. Pareto Chart

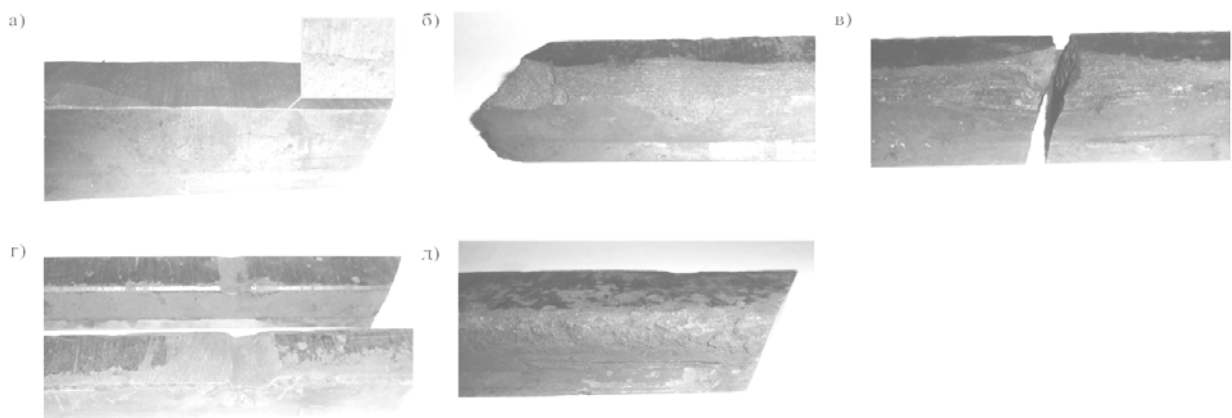


Рис. 6. Характерні пошкодження струмознімальних елементів:

a – мікротріщина та нерівномірний знос; *b* – спил бокової поверхні; *в* – скол з тріщиною;
г – пропили; *д* – кратери (результат дії електричної дуги)

Fig. 6. Characteristic damages of current collector elements:

a – cracks and uneven wear; *b* – saw cut of side surface; *c* – cleavage with crack;
d – saw cut; *e* – craters (the result of the action of the electric arc)

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Наприклад, аналіз заміни вставок полозів струмоприймачів по локомотивних депо Київ-Пасажирський, Козятин та Знам'янка в різні роки показує таку картину по пробігах вугільних вставок типу «А» (табл. 2).

Відповідно до наведених даних, за період з 2003 по 2014 рік, середньорічний пробіг полоза до заміни вставок складає 35–50 тис. км. Ця

цифра узгоджується з річним об'ємом закупок Укрзалізниці: 40–50 тонн вставок типу «А» та відповідає технічній документації [9].

Виконавши нескладні розрахунки, можна встановити, що середньостатистичний пробіг полоза струмоприймача в теплу пору року складає 50–120 тис. км, а в холодну – 6–12 тис. км.

Таблиця 2

Загальний пробіг локомотивів, млн км/кількість встановлених полозів, шт.

Table 2

The total mileage of locomotives, million km/number of installed skids PCs.

Локомотивне депо	Рік						
	2003	2004	2005	2006	2012	2013	2014
Київ- Пас.	26,412/ 660	25,480/ 531	25,617/ 512	18,087/ 368	–	25,941/ 1179	24,316/ 1261
Козятин	–	23,897/ 680	23,100/ 580	25,531/ 600	–	–	–
Знам'янка	–	–	–	–	27,263/ 1363	26,315 /1235	27,561/ 1407

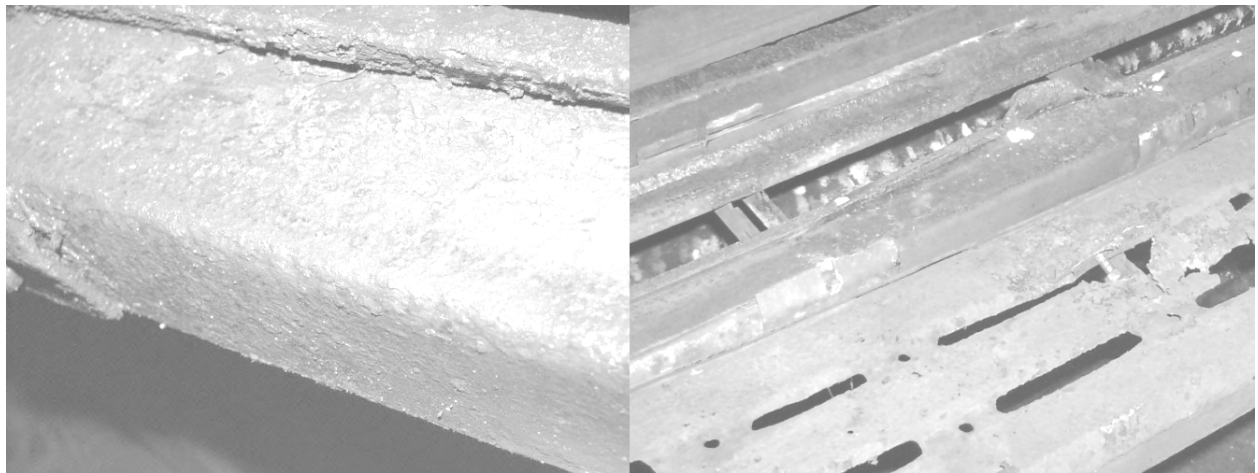


Рис. 7. Стан полоза струмоприймача в експлуатації (депо Знам'янка)

Fig. 7. The condition of the current collector skid in operation (depot Znamianka)

Також на ресурс роботи вугільних струмоприймачів значним чином впливає величина перехідного опору «вставка – полоз струмоприймача». В реальних умовах експлуатації повсюдно порушуються технологічні нор-

ми обслуговування струмоприймачів: відсутні мідні підкладки; сталі каркаси полозів покриті іржею та окалиною (рис. 7), що значно підвищує опір протіканню струму; незадовільне прилягання підшви вставок до каркасу по-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

лоза; наявність зазорів між торцевими поверхнями вставок та інше.

Збільшений перехідний опір пари «вставка – полоз струмоприймача» призводить до значного збільшення температури контакту і, як наслідок, до знеміцнення струмознімального елемента. При цьому, створюються умови погіршення струмознімання, поява пропилів, іскріння та електромагнітних завад, збільшення зносу контактного проводу.

Наукова новизна та практична значимість

На основі результатів експлуатаційних досліджень, що виконувались на базі локомотивних депо, отримані залежності, базуючись на яких запропоновано впровадити систему оперативного діагностування стану вугільних вставок в процесі експлуатації. В ході виконання порівняльного аналізу існуючих та перспективних напрямків розробки струмознімальних елементів з підвищеною навантажувальною здатністю та зносостійкістю, визначені конструктивні умови для вибору оптимального співвідношення складових вставок. Встановлено, що значна частина відмов виникає через недосконалість системи технічного обслуговування, для чого, на основі експлуатаційних даних, розроблені рекомендації.

Отримані результати аналізу інформаційних джерел визначають необхідність введення в матеріал вугільних вставок мідної складової, що дозволить підвищити навантажувальну здатність полозів струмоприймачів. Встановлені чисельні недоліки існуючих систем діагностування вугільних струмознімальних вставок полозів струмоприймачів, вирішення яких покладено за основу під час створення нових засобів та систем діагностування струмознімальних елементів, що, в свою чергу, дозволяє підвищити термін експлуатації вставок та допоможе організувати відбракування неякісних струмознімальних елементів. Встановлена недосконалість системи технічного обслуговування струмоприймачів, підвищення вимог до якої дозволить значно зменшити кількість поломок, викликаних підвищеним перехідним опором в системі «вставка – полоз струмоприймача».

Висновки

1. Підвищення швидкості руху на залізничному транспорті викликає необхідність застосування новітнього та набагато потужнішого електрорухомого складу, що відповідає світовим тенденціям. При цьому для забезпечення якісного струмознімання обов'язковою умовою є застосування струмознімальних елементів, що володіють підвищеною навантажувальною здатністю та зносостійкістю.

2. Існуючі методи діагностування вугільних вставок мають низку недоліків, через які сфера їх застосування різко обмежена. Розв'язати проблему контролю відповідності вугільних вставок існуючим вимогам в процесі експлуатації можливо, використовуючи компактні стенди для виміру питомого електричного опору, що базуються на мікропроцесорних системах.

3. Під час детального дослідження роботи полозів струмоприймачів в експлуатації встановлено повсюдне порушення вимог до контролю несправностей та їх фіксації в робочих журналах, що, в свою чергу, призводить до значного збільшення поломок.

4. Досягти різкого зменшення кількості виходів з ладу полозів струмоприймачів в осінньо-зимовий період можливо, усунувши вплив високого перехідного опору «вставка – полоз струмоприймача» та проблем, пов'язаних з цим.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Берент, В. Я. Материалы и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожного транспорта / В. Я. Берент. – Москва : Интекст, 2005. – 408 с.
2. Большаков, Ю. Л. К вопросу выбора рациональной формы профиля контактных вставок токоприемников электроподвижного состава / Ю. Л. Большаков, И. С. Гершман, В. Г. Сыченко // Заліз. трансп. України. – 2007. – № 3. – С. 53–54.
3. Большаков, Ю. Л. Перспективные направления создания современных углеродных материалов для вставок токоприемников электротранспорта / Ю. Л. Большаков, И. С. Гершман, В. Г. Сыченко // Электрификация трансп. – 2013. – № 5. – С. 19–23.
4. Гершман, И. С. Совместимость различных токосъемных материалов на одном участке контактного провода / И. С. Гершман, Ю. Л. Большаков.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

- шаков, В. Г. Сыченко // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 5. – С. 52–56.
5. Гершман, И. С. Токосяемные углеродно-медные материалы / И. С. Гершман // Вестн. ВНИИЖТа. – 2002. – № 5. – С. 15–20.
 6. Гершман, И. С. Токосяемные углеродные материалы нового поколения / И. С. Гершман, Л. М. Бучнев // Вестн. ВНИИЖТа. – 2003. – № 6. – С. 21–27.
 7. Гершман, И. С. Требования к контактным проводам для высокоскоростного железнодорожного транспорта / И. С. Гершман, Н. В. Миронос // Вестн. ВНИИЖТа. – 2011. – № 3. – С. 13–17.
 8. ГОСТ 14692-78. Вставки угольные контактные для токоприемников электроподвижного состава. ТУ 1916-020-27208846-99. – Москва : Изд-во стандартов, 1999. – 40 с.
 9. ГОСТ 14692-78. Вставки угольные контактные для токоприемников электроподвижного состава ТУ 32.22117843.003-2000. – Киев : Изд-во стандартов. – 2000. – 42 с.
 10. Колесов, С. Н. Материалы и взаимодействие контактной подвески и токоприемника / С. Н. Колесов, И. С. Колесов. – Днепрпетровск : ДНУЖТ, 2006. – 284 с.
 11. Колесов, С. Н. Улучшение динамических характеристик токоприемников / С. Н. Колесов, Н. В. Клименко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2005. – Вип. 8. – С. 45–47.
 12. Купцов, Ю. Е. Беседы о токосяеме и его надежности, экономичности и о путях совершенствования / Ю. Е. Купцов. – Москва : Модерн – А, 2001. – 256 с.
 13. Ли, В. Н. Неразрушающий контроль элементов контактной сети и токоприемников электроподвижного состава электрифицированных железных дорог : монография / В. Н. Ли, С. Н. Химухин. – Хабаровск : ДВГУПС, 2007. – 266 с.
 14. Ли, В. Н. Определение качества изготовления угольных вставок токоприемников / В. Н. Ли, Е. В. Матыцын // Електрифікація трансп. – 2012. – № 3. – С. 71–73.
 15. Основные направления создания новых композиционных материалов для вставок токоприемников электротранспорта / Ю. Л. Большаков, И. С. Гершман, В. Г. Сыченко, С. М. Жуковин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 13. – С. 14–20.
 16. Пат. 2168422 Российская Федерация, МПК⁷ В 60 L 5/08. Токосяемный элемент токоприемника электрического транспортного средства / Жуковин С. М., Власов Е. И. – № 2229395 ; заявл. 30.12.2002 ; опубл. 27.05.2004, Бюл. № 16. – 3 с.
 17. Пат. 2229395 Российская Федерация, МПК⁷ В 60 L 5/08. Токосяемный элемент электрического транспортного средства / Самодурова М. Н., Барков Л. А. – № 2002135796/282002135795/26 ; заявл. 25.10.2002 ; опубл. 27.05.2004, Бюл. № 15. – 2 с.
 18. Полищук, В. С. Композиционные накладки пантографов электроподвижного состава / В. С. Полищук, В. И. Буковский, А. В. Филатов // Залізн. трансп. України. – 2001. – № 3. – С. 14–17.
 19. Токосяемные вставки для токоприемников железнодорожного транспорта / И. С. Гершман, Н. В. Миронос, М. А. Мельник, Е. И. Гершман // Вестн. ВНИИЖТа. – 2012. – № 4. – С. 3–10.
 20. Хольм, Р. Электрические контакты / Р. Хольм. – Москва : Изд-во иностр. лит., 1961. – 464 с.
 21. Яндович, В. Н. Сравнительный анализ контактных подвесок в странах Евросоюза и Украины: организация надежного токосяема / В. Н. Яндович, В. Г. Сыченко, А. В. Антонов // Електрифікація трансп. – 2014. – № 7. – С. 67–77.
 22. Auditeau, G. Carbon of high destiny for current collection / G. Auditeau // Revue Generale des Chemins de Fer. – 2010. – № 200. – P. 9–19.
 23. Auditeau, G. Wearout current collection contact / G. Auditeau // Elektrische Bahnen. – 2013. – № 3. – P. 186–194.
 24. Lee, J. H. Development and Verification of a Dynamic Analysis Model for the Current-Collection Performance of High-Speed Trains Using the Absolute Nodal Coordinate Formulation / J. H. Lee, T. W. Park // Transactions of the KSME. – 2012. – Vol. 36. – Iss. 3. – P. 339–346. doi: 10.3795/KSME-A.2012.36.3.339.
 25. Kubo, S. Wear Properties of Metal/Carbon Compo-site Pantograph Sliders for Conventional Electric Vehicles / S. Kubo, H. Tsuchiya, J. Ikeuchi // Quarterly Report of RTRI. – 1997. – Vol. 38, № 1. – P. 25–30.

Ю. Л. БОЛЬШАКОВ^{1*}, А. В. АНТОНОВ²

^{1*}ООО «Глория», пр. Ленина, 108-а, Запорожье, Украина, 69004, тел. +38 (0612) 34 80 45, эл. почта jurij.bolshakov@gmail.com, ORCID 0000-0002-1513-2992

²Каф. «Электроснабжение железных дорог», Днепрпетровский национальный университет железнодорожного

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

транспорта им. акад. В. Лазаряна, ул. Лазаряна 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 (056) 373 15 25,
эл. почта a.v.antonov91@gmail.com, ORCID 0000-0001-5701-6087

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА УГОЛЬНЫХ ТОКОСЪЕМНЫХ ВСТАВОК ТОКОПРИЕМНИКОВ СКОРОСТНОГО ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Цель. Работа предполагает определение основных направлений повышения ресурса и эффективности эксплуатации угольных токосъемных вставок токоприемников скоростного электроподвижного состава. **Методика.** Исследование построено на методике, которая основывается на использовании положений теории надежности технических систем, электромеханических процессов, теории статистики. **Результаты.** Рассмотрены существующие подходы в производстве токосъемных вставок полозов токоприемников в Европе и Украине, проанализирован ряд информационных источников. Определены наиболее эффективные направления повышения нагрузочной способности и износостойкости токосъемных элементов. Установлено, что существующие системы для определения качества изготовления угольных токосъемных вставок имеют ряд недостатков, которые затрудняют входной контроль и делают невозможным диагностирование токосъемных элементов в эксплуатации. На основе данных фактов для нужд локомотивных депо предложен новый стенд, позволяющий избежать существующих сложностей с диагностированием угольных вставок. В ходе исследования установлены повсеместные нарушения технологических норм обслуживания токоприемников. **Научная новизна.** На основе результатов эксплуатационных исследований, проводимых на базе локомотивных депо, получены зависимости, основываясь на которых, предложено внедрить систему оперативного диагностирования состояния угольных вставок в процессе эксплуатации. В ходе проведенного сравнительного анализа существующих и перспективных направлений разработки токосъемных элементов с повышенной нагрузочной способностью и износостойкостью определены конструктивные условия для выбора оптимального соотношения составляющих вставок. Установлено, что значительная часть отказов возникает из-за несовершенства системы технического обслуживания, для чего на основе эксплуатационных данных разработаны рекомендации. **Практическая значимость.** Полученные результаты анализа информационных источников определяют необходимость введения в материал угольных вставок медной составляющей, что позволит повысить нагрузочную способность полозов токоприемников. Установлены многочисленные недостатки существующих систем диагностирования угольных токосъемных вставок полозов токоприемников, решение которых положено за основу при создании новых средств и систем диагностирования токосъемных элементов. Это, в свою очередь, позволит повысить срок эксплуатации вставок и поможет организовать отбраковку некачественных токосъемных элементов. Установлено несовершенство системы технического обслуживания токоприемников. Повышение требований к данной системе позволит значительно уменьшить количество поломок, вызванных повышенным переходным сопротивлением в системе «вставка – полоз токоприемника».

Ключевые слова: скоростное движение; токосъемные элементы; графит; износостойкость; металлические волокна; нагрузочная способность; ресурс; система диагностирования; полоз токоприемника

Y. L. BOLSHAKOV^{1*}, A. V. ANTONOV²

^{1*}GLORIYA LLC, Lenin Av., 108-a, Zaporizhzhia, Ukraine, 69004, tel. + 38 (0612) 34 80 45,
e-mail jurij.bolshakov@gmail.com, ORCID 0000-0002-1513-2992

²Dep. «Power Supply of Railways», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after
Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. + 38 (056) 373 15 25,
e-mail a.v.antonov91@gmail.com, ORCID 0000-0001-5701-6087

INCREASE THE RESOURCE OF CURRENT COLLECTOR ELEMENTS OF THE ELECTRIFIED HIGH-SPEED TRANSPORT IN OPERATING CONDITIONS

Purpose. The paper is aimed to determinate the main ways of increasing resource efficiency and exploitation of coal current collector surface inserts of speed electric rolling stock. **Methodology.** The research is based on the technique relies on the use of theory regulations of technical systems reliability, electromechanical processes, theory of statistics. **Findings.**

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

The existing approaches to the production of current collector surface inserts in Europe and Ukraine were considered, a number of information sources was analyzed. The most effective ways of increasing current carrying capacity and wear resistance of current collector elements were determined. It has been established that the existing system for determining the quality of manufacturing of current collector elements have a number of drawbacks that make it difficult to control the input and makes diagnosing current collecting elements in operation impossible. On the basis of the facts, for the needs of the locomotive depot, we propose a new booth allowing avoiding the existing difficulties with diagnosing of current collector elements. During the study were established pervasive transgressions of technological standards of service pantographs. **Originality.** Based on the results of operational research carried out on the basis of the locomotive depot, obtained depending, based on which, it is proposed to introduce an operative diagnosing system of the current collector elements state during operation. In the course of a comparative analysis of existing and perspective development directions of current collector elements with high load current carrying capacity and durability, were defined constructive conditions for the optimal ratio is inserts. It was established that a significant proportion of failures occur due to imperfect maintenance system for which, on the basis of operational data, recommendations were developed. **Practical value.** Obtained results of the information sources analysis determine the need to implement coal inserts copper component in material, which will increase the load current carrying capacity of the current collectors. The numerous shortcomings of existing diagnostic systems carbon of current collector inserts skids pantographs were established, the solution of them should be the basis for the development of new means and diagnostic systems of current collector elements. It can improve service life of inserts and arrange culling of substandard of current collector inserts. The imperfect system maintenance of pantographs was established. The requirements increasing to this system will significantly reduce the amount of breakages caused by an increased transitive resistance in the «insert – pantograph».

Keywords: high-speed movement; collector elements; graphite; wear resistance; metal fibers; current carrying capacity; resource; diagnostic system; current collector skid

REFERENCES

1. Berent V.Ya. *Materialy i svoystva elektricheskikh kontaktov v ustroystvakh zheleznodorozhnogo transporta* [Materials and properties of the electrical contacts in the devices of railway transport]. Moscow, Intekst Publ., 2005. 408 p.
2. Bolshakov Yu.L., Gershman I.S., Sychenko V.G. K voprosu vybora ratsionalnoy formy profilya kontaknykh vstavok tokopriemnikov elektropodvizhnogo sostava [On the choosing the rational form of the profile of the contact inserts while the electric rolling stock]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2007, no. 3, pp. 53-54.
3. Bolshakov Yu.L., Gershman I.S., Sychenko V.G.. Perspektivnyye napravleniya sozdaniya sovremennykh ugleodnykh materialov dlya vstavok tokopriemnikov elektrotransporta [Perspective directions of development of modern carbon materials for electric surface inserts]. *Elektrifikatsiya transportu – Electrification of Transport*, 2013, no. 5, pp. 19-23.
4. Gershman I.S., Bolshakov Yu.L., Sychenko V.G. Sovmestimost razlichnykh tokosemnykh materialov na odnom uchastke kontaktnogo provoda [The compatibility of different current collector materials in one area of a contact wire line]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2008, no. 5, pp. 52-56.
5. Gershman I.S. Tokosemnyye ugleodno-mednyye materialy [Current collecting carbon-copper materials]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of the All-Russian Research Institute of Railway Transport], 2002, no. 5, pp. 15-20.
6. Gershman I.S., Buchnev L.M. Tokosemnyye ugleodnyye materialy novogo pokoleniya [Collector carbon materials of new generation]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of the All-Russian Research Institute of Railway Transport], 2003, no. 6, pp. 21-27.
7. Gershman I.S., Mironos N.V. Trebovaniya k kontaktnym provodam dlya vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta [Requirements for contact wires for high-speed rail]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of the All-Russian Research Institute of Railway Transport], 2011, no. 3, pp. 13-17.
8. GOST 14692-78. Vstavki ugolnyye kontaknyye dlya tokopriemnikov elektropodvizhnogo sostava. TU 1916-020-27208846-99 (Rossiya) [State Standard 14692-78. Coal contact inserts for current collectors of electric rolling stock. TU 1916-020-27208846-99 (Russia)]. Moscow, Standartinform Publ., 1999. 40 p.
9. GOST 14692-78. Vstavki ugolnyye kontaknyye dlya tokopriemnikov elektropodvizhnogo sostava TU 32.22117843.003-2000 (Ukraina) [State Standard 14692-78. Coal contact inserts for current collectors of electric rolling stock TU 32.22117843.003-2000 (Ukraine)]. Kyiv, Standartinform Publ., 2000. 42 p.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

10. Kolesov S.N., Kolesov I.S. *Materialy i vzaimodeystviye kontaktnoy podveski i tokopriyemnika*. [The materials and the interaction between catenary and pantograph]. DNURT Publ., 2006. 284 p.
11. Kolesov S.N. Klimenko N.V. Uluchsheniye dinamicheskikh kharakteristik tokopriyemnikov [Improvement of dynamic characteristics of the current collectors]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2005, issue 8, pp. 45-47.
12. Kuptsov Yu.Ye. *Besedy o tokosyeme i yego nadezhnosti, ekonomichnosti i o putyakh sovershenstvovaniya* [Discussions about the current collection and its reliability, efficiency and ways of improvements]. Moscow, Modern Publ., 2001. 256 p.
13. Li V.N., Khimukhin S.N. Nerazrushayushchiy kontrol elementov kontaktnoy seti i tokopriyemnikov elektropodvizhnogo sostava elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog [Non-destructive testing of elements of the contact network and the electric rolling stock pantographs of electrified Railways]. Khabarovsk, Dalnevostochnyy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya Publ., 2007. 266 p.
14. Li V.N., Matytsyn Ye.V. Opredeleniye kachestva izgotovleniya ugolnykh vstavok tokopriyemnikov [The quality determination of manufacturing of coal inserts in current collectors]. *Elektrifikatsiya transportu – Electrification of Transport*, 2012, no. 3, pp. 71-73.
15. Bolshakov Yu.L., Gershman I.S., Sychenko V.G., Zhukovin S.M. Osnovnyye napravleniya sozdaniya novykh kompozitsionnykh materialov dlya vstavok tokopriyemnikov elektrotransporta [The basic directions of creation of new composite materials for current collector inserts in the electric vehicle]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2006, issue 13, pp. 14-20.
16. Zhukovin S.M., Vlasov Ye.I. *Tokosemnyy element tokopriyemnika elektricheskogo transportnogo sredstva* [The slip element of current collecting in the electric vehicle]. Patent Rus. no. 2229395, 2004.
17. Samodurova M.N., Barkov L.A. *Tokosemnyy element elektricheskogo transportnogo sredstva* [Current collecting element of the electric vehicle]. Patent Rus. no. 2002135796/282002135795/26. 2004.
18. Polishchuk V.S., Bukovskiy V.I., Filatov A.V. Kompozitsionnyye nakladki pantografov elektropodvizhnogo sostava [Composite strips of pantographs in the electric rolling stock]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2001, no. 3, pp.14-17.
19. Gershman I.S., Mironos N.V., Melnik M.A., Gershman Ye.I. Tokosemnyye vstavki dlya tokopriyemnikov zheleznodorozhnogo transporta [Collector inserts for collectors of railway transport]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of the All-Russian Research Institute of Railway Transport], 2012, no. 4, pp. 3-10.
20. Kholm R. *Elektricheskiye kontakty* [Electric contacts]. Moscow, Izdatelstvo inostrannoy literatury Publ., 1961. 464 p.
21. Yandovich V.N., Sychenko V.G., Antonov A.V. Sravnitelnyy analiz kontaktnykh podvesok v stranakh Yevrosoyuza i Ukrainy: organizatsiya nadezhnogo tokosema [A comparative analysis of overhead catenaries in the European Union and Ukraine: the organization of reliable current-collecting]. *Elektrifikatsiya transportu – Electrification of Transport*, 2014, no. 7, pp. 67-77.
22. Auditeau G. Carbon of high destiny for current collection. *Revue Generale des Chemins de Fer*, 2010, no. 200, pp. 9-19.
23. Auditeau G. Wearout current collection contact. *Elektrische Bahnen*, 2013, no. 3, pp. 186-194.
24. Lee J.H., Park T.W. Development and Verification of a Dynamic Analysis Model for the Current-Collection Performance of High-Speed Trains Using the Absolute Nodal Coordinate Formulation. *Transactions of the KSME*, 2012, no. 36 (3), pp. 339-346. doi: 10.3795/KSME-A.2012.36.3.339.
25. Kubo S., Tsuchiya H., Ikeuchi J. Wear Properties of Metal/Carbon Composite Pantograph Sliders for Conventional Electric Vehicles. *Quarterly Report of RTRI*, 1997, vol. 38, no. 1, pp. 25-30.

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

Надійшла до редколегії: 26.01.2015

Прийнята до друку: 16.07.2015

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

УДК 625.1.031:539.4

О. В. АГАРКОВ^{1*}, Р. М. ЙОСИФОВИЧ^{2*}

^{1*}Каф. «Теоретична та прикладна механіка», Державний економіко-технологічний університет транспорту,
вул. Лукашевича, 19, Київ, Україна, 03049, тел. +38 (044) 591 51 87, ел. пошта agarcov@ukr.net,
ORCID 0000-0001-8250-6280

^{2*}Каф. «Залізнична колія та колійне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту,
вул. Лукашевича, 19, Київ, Україна, 03049, тел. +38 (044) 591 51 47, ел. пошта yosyfovych@gmail.com,
ORCID 0000-0003-3892-3727

ВИЗНАЧЕННЯ КОНТАКТНИХ НАПРУЖЕНЬ В РЕЙКАХ ТИПУ Р50, ЯКІ ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ В МЕТРОПОЛІТЕНІ

Мета. В дослідженні необхідно: 1) визначити об'ємний напружено-деформований стан головки рейки залізничної колії при взаємодії із колесами рухомого складу; 2) проаналізувати різні форми контактної взаємодії; 3) отримати дані, необхідні для розрахунку довговічності рейок залізничної колії. **Методика.** В основі розрахунку об'ємного напружено-деформованого стану лежить метод скінченних елементів. Задача розв'язувалася в пружній об'ємній постановці. При розв'язанні використовувались реальні геометричні параметри тіл. **Результати.** Авторами виконаний розрахунок об'ємного напружено-деформованого стану головки рейки залізничної колії при взаємодії із колесами рухомого складу для різних випадків геометрії контактуючих поверхонь. Представлено результати розрахунку, як у графічній, так і у табличній формах. Виконано порівняння різних варіантів умов контакту. Отримані результати проаналізовано та зроблено висновки щодо оптимальності умов контактної взаємодії. **Наукова новизна.** Отримані результати розрахунку показали, що за критерієм мінімізації контактних напружень у рейках типу Р50 для умов контакту, характерних для прямої ділянки колії, використання колеса рухомого складу з профілем за кресленням ЗАТ «МІНТЕК» не є найбільш раціональним рішенням. Найбільш раціональним у цьому випадку, серед розглянутих, є укладка рейок у колію з ухилом 1:20 та використання колеса з профілем поверхні кочення конусністю 1:10. Відсутність ухилу рейки нівелює всі переваги поверхні кочення колеса конусністю 1:10, і такий випадок контактної взаємодії є найменш раціональним. **Практична значимість.** Отримано результати аналізу контактної взаємодії головки рейки залізничної колії із колесом рухомого складу в тривимірній пружній постановці для різних умов контактної взаємодії. Ці дані можуть бути використані при оптимізації умов контактної взаємодії та науковому обґрунтуванні причин появи дефектів контактної взаємодії в головках рейок залізничної колії. Представлену модель можна ускладнювати, враховуючи в розрахунках залишкові напруження в рейках, зміцнення поверхневого шару, наявність початкових дефектів у результаті недосконалості процесу виготовлення тощо.

Ключові слова: рейка; колесо; контактна взаємодія; пружні деформації; метод скінченних елементів

Вступ

Визначення напружень при контактній взаємодії рейок залізничної колії з колесами рухомого складу має велике значення для розробки методів і засобів подовження строку служби відповідальних елементів як залізничної колії, так

і рухомого складу. Складність цієї задачі полягає у великій кількості факторів, що впливають на результати розв'язання. Одним із найбільш впливових факторів є геометрія контактуючих поверхонь.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Мета

Метою цього дослідження є визначення напружено-деформованого стану головки рейки залізничної колії при взаємодії з колесом рухомого складу.

Методика

Для розв'язання цієї задачі можуть використовуватись як аналітичні [2, 6, 8, 9], так і числові методи.

Аналітичний метод розв'язання контактної задачі вперше було запропоновано Герцем.

При контакті колеса з рейкою у центральній частині поверхні кочення рейки розрахункова схема взаємодії являє собою контакт двох циліндрів, осі яких взаємно перпендикулярні. В такому випадку максимальні напруження на контактній поверхні визначаються за формулою [6]:

$$\sigma_y^{\max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_y}{\pi \cdot a \cdot b}, \quad (1)$$

де a і b – півосі контактної площадки.

В загальному випадку площадка контакту має форму еліпса (рис. 1), розміри півосей якого:

$$a = \alpha \sqrt[3]{\frac{3P(1-\mu)^2}{E \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_1'} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_2'} \right)}}; \quad (2)$$

$$b = \beta \sqrt[3]{\frac{3P(1-\mu)^2}{E \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_1'} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_2'} \right)}}; \quad (3)$$

де r_1 та r_1' – радіуси кривини в точці дотику першого тіла; r_2 та r_2' – радіуси кривини в точці дотику другого тіла; E – модуль Юнга; μ – коефіцієнт Пуассона; α і β – табличні значення.

В подальшому професором Г. М. Шахуняцем [8] було запропоновано коригування формули Герца-Біляєва у вигляді:

$$\sigma_y^{\max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_{din} \cdot \varphi}{\pi \cdot a \cdot b \cdot k_f}, \quad (4)$$

де φ і k_f – поправочні коефіцієнти, що враховують вплив дотичних сил та різницю між фактичною площею контакту і розрахунковою, що пов'язана із зносом коліс.

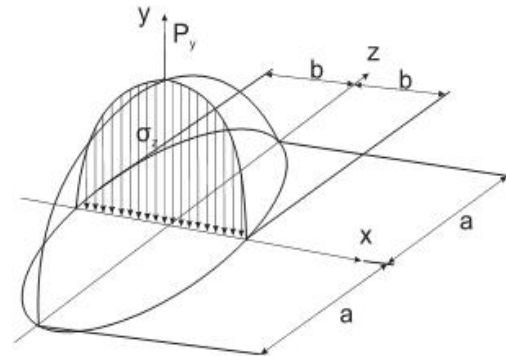


Рис. 1. Схема розподілу нормального тиску по площадці контакту

Fig. 1. The pattern of distribution of normal pressure on the contact area

Професором В. Ф. Яковлевим було запропоновано наступне: якщо не виконуються передумови теорії Герца-Біляєва, то розрахунок контактних напружень виконувати у такому вигляді [9]:

$$\sigma = \alpha_k \cdot \alpha_{sh} \cdot \alpha_y \cdot \alpha_r \cdot \alpha_{rb} \cdot \alpha_M \cdot \sigma_G, \quad (5)$$

де σ – дійсні контактні напруження; α_k – коефіцієнт, що враховує вплив краю; α_{sh} – коефіцієнт, що враховує вплив ширини головки рейки; α_y – коефіцієнт, що враховує вплив кута нахилу бокових граней рейки; α_r – коефіцієнт, що враховує вплив близькості за величиною радіусів контактуючих тіл; α_{rb} – коефіцієнт, що враховує вплив близькості за величиною радіуса поверхні контакту та розмірів контактної площадки; α_M – коефіцієнт, що враховує вплив мікронерівностей; σ_G – контактні напруження, розраховані за теорією Герца-Біляєва.

Зауважимо, що не зважаючи на простоту запропонованих залежностей, а отже і виконання відповідних розрахунків, використання аналітичних методів має багато недоліків. Так передумовами до використання теорії Герца є те, що матеріал контактуючих поверхонь має бути ідеально пружним та ізотропним, стискаюча

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

сила має бути нормальною до площадки контакту, а силами тертя нехтують.

Такі передумови не відповідають умовам контакту колеса з рейкою на залізниці, оскільки сили взаємодії викликають в контактуючих тілах пластичні деформації, матеріал рейки не є ізотропним (це пов'язано із технологією виготовлення рейок), а сили тертя також мають вплив на напружено-деформований стан контактуючих поверхонь.

Сучасний підхід до розв'язання задач з визначення напружено-деформованого стану конструкцій складної форми базується на використанні числових методів механіки деформівного твердого тіла.

Зокрема, останнім часом найбільшого поширення серед числових методів отримав метод скінченних елементів [3, 10–15].

Метод скінченних елементів (МСЕ) являє собою числовий метод розв'язання крайових задач математичної фізики [5].

Не зважаючи на те, що існує велика кількість різноманітних формулювань методу скінченних елементів, його можна узагальнити такими етапами розв'язання [4]:

Фізична область розбивається на підобласті, або скінченні елементи.

Невідома змінна (одна або декілька) апроксимується функцією спеціального вигляду по всій під області. Параметри цих апроксимацій в подальшому стають невідомими параметрами задачі.

Підстановка апроксимацій у визначальні рівняння дає систему множини рівнянь з невідомими параметрами. Розв'язуючи ці рівняння, можна визначити значення цих параметрів, а отже, отримати чисельне наближене розв'язання задачі.

Замість визначальних рівнянь часто використовують варіаційний підхід.

Під час розв'язання задач за допомогою методу скінченних елементів використовуються залежності механіки деформівного твердого тіла. Якщо метою розв'язання є визначення невідомих напружень

$$\sigma_{ij}(x, y, z), i, j = 1, 2, 3, \quad (6)$$

деформацій

$$\varepsilon_{ij}(x, y, z), i, j = 1, 2, 3, \quad (7)$$

або переміщень

$$u_k(x, y, z), i, j = 1, 2, 3, \quad (8)$$

то така постановка задачі називається прямою. Можлива і зворотна постановка, коли з відомих функцій (6), (7) або (8) знаходять навантаження на поверхні тіла, які задовольняють ці функції. Така задача називається зворотною. В обох випадках завдання зводиться до встановлення зв'язку між п'ятнадцятьма параметрами: шістьма компонентами тензора напружень, шістьма компонентами тензора деформацій і трьома компонентами переміщень.

Отже, для коректної постановки завдання необхідна замкнута система рівнянь, що має єдине рішення у вигляді безперервних функцій для кожної з шуканих величин. Такою системою є комплект наступних 15 рівнянь, які виконуються для будь-якої точки всередині тіла.

Статичні рівняння – диференціальні рівняння рівноваги (або руху) наведено нижче:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + f_x^v &= 0 \left[= \rho \left(\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} \right) \right]; \\ \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + f_y^v &= 0 \left[= \rho \left(\frac{\partial^2 V}{\partial t^2} \right) \right]; \\ \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + f_z^v &= 0 \left[= \rho \left(\frac{\partial^2 W}{\partial t^2} \right) \right], \quad (9) \end{aligned}$$

де f_x^v, f_y^v, f_z^v – компоненти об'ємної сили; ρ – щільність середовища; t – час.

Статичні рівняння доповнені умовами на поверхні тіла (граничними умовами другого роду), що характеризують розподіл зовнішнього навантаження на тих ділянках поверхні S , де прикладені розподілені навантаження

$$\begin{aligned} f_x^S &= \sigma_x n_x + \tau_{xy} n_y + \tau_{xz} n_z; \\ f_y^S &= \tau_{yx} n_x + \sigma_y n_y + \tau_{yz} n_z; \\ f_z^S &= \tau_{zx} n_x + \tau_{zy} n_y + \sigma_z n_z \end{aligned} \quad (10)$$

або переміщення на поверхні

$$U = U_0; V = V_0; W = W_0, \quad (11)$$

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

де U, V, W – компоненти вектора переміщень; n_x, n_y, n_z – напрямні косинуси, причому в кожній точці поверхні $n_x^2 + n_y^2 + n_z^2 = 1$.

Геометричні рівняння – співвідношення Коші – описують компоненти тензора деформацій через компоненти вектора переміщень:

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= \frac{\partial U}{\partial x}; \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x}; \\ \varepsilon_y &= \frac{\partial V}{\partial y}; \quad \gamma_{yz} = \frac{\partial V}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial y}; \\ \varepsilon_z &= \frac{\partial W}{\partial z}; \quad \gamma_{zx} = \frac{\partial W}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial z}.\end{aligned}\quad (12)$$

Компоненти деформацій мають задовольняти умови спільності (неперервності) деформацій Сен-Венана:

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} &= \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y}; \\ \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial y^2} &= \frac{\partial^2 \gamma_{yz}}{\partial y \partial z}; \\ \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial z^2} &= \frac{\partial^2 \gamma_{zx}}{\partial z \partial x}; \\ \frac{\partial}{\partial x} \left(-\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} \right) &= \frac{2\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y \partial z}; \\ \frac{\partial}{\partial y} \left(-\frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} \right) &= \frac{2\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z \partial x}; \\ \frac{\partial}{\partial z} \left(-\frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} \right) &= \frac{2\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x \partial y}.\end{aligned}\quad (13)$$

Фізичні рівняння – рівняння стану середовища; пов'язують компоненти тензора напружень з компонентами тензора деформацій і, в загальному випадку, включають як незалежні параметри час і температуру.

Під час використання нумерованих позначень напружень, деформацій і переміщень в ортогональних координатних осях, рівняння руху (9), граничні умови (10) і співвідношення Коші (12) можна навести у такому вигляді:

$$\sum_{j=1}^3 \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + x_i = \rho \frac{\partial^2 U_i}{\partial t^2}, i=1,2,3 \quad (14)$$

$$\sigma_i = \sum_{j=1}^3 \sigma_{i,j} l_j, i=1,2,3; \quad (15)$$

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ji} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right), i=1, 2, 3. \quad (16)$$

В циліндричних координатах r, θ і z рівняння рівноваги мають вигляд

$$\begin{aligned}\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} + \rho F_r &= 0; \\ \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{\theta r}}{\partial z} + \frac{2\tau_{r\theta}}{r} + \rho F_\theta &= 0; \\ \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\theta r}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{r} + \rho F_z &= 0,\end{aligned}\quad (17)$$

де F_r, F_θ, F_z – компоненти вектора об'ємної сили.

Одним із методів розв'язання задач за допомогою МСЕ є метод переміщень. Базується він на принципі можливих переміщень: якщо тіло знаходиться в стані рівноваги, то робота δW внутрішніх сил дорівнює роботі δA поверхневих сил на можливих переміщеннях. Принцип можливих переміщень можливо використовувати як для лінійних, так і для нелінійних задач. Якщо виконується закон Гука, то принцип можливих переміщень стає еквівалентним принципу повної енергії Лагранжа: із всіх переміщень, що задовольняють умови закріплення, реалізуються в дійсності лише ті, для яких повна енергія мінімальна.

Під час застосування змішаних схем методу скінченних елементів, система рівнянь рівноваги для тіла, що дискретизоване МСЕ, має вигляд [7]:

$$[K]\{u\} = \{R^f\} + \{R^T\} + \{R^c\},$$

де $[K]$ – матриця жорсткості конструкції; $\{u\}$ – вектор переміщень вузлів; $\{R^f\}$ – вектор прикладених до вузлів зовнішніх навантажень; $\{R^T\}$ – вектор початкових (температурних) напружень; $\{R^c\}$ – вектор фіктивних вузлових

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

сил, пов'язаних з неоднорідним розподілом непружних деформацій.

Із зростанням потужності комп'ютерної техніки, метод скінченних елементів стає більш поширеним. Перевагою його порівняно з класичною теорією пружності є можливість розрахунку тензорів переміщень, напружень та деформацій для тіл, що мають складну геометричну форму. Крім того, метод дозволяє локально збільшувати точність розрахунку у місцях, що становлять інтерес для інженера, що досліджує конструкцію. Також є можливість врахувати у розрахунках вплив температурно-сило-вих параметрів на напружено-деформований стан. Щодо контактних задач, то МСЕ дозволяє виконувати розрахунки для тіл взаємодії складної форми, у тому числі із геометричною та фізичною нелінійністю.

За допомогою МСЕ було розв'язано задачу контактної взаємодії рейки Р50 [1] та колеса рухомого складу метрополітену із діаметром за кругом кочення 780 мм, конусністю поверхні кочення 1:10 та з профілем поверхні кочення за кресленням ЗАТ «МІНТЕК».

Умови контакту відповідали руху поїзда в прямій ділянці колії шириною 1 520 мм.

Задача розв'язувалася в об'ємній пружній постановці із такими механічними властивостями матеріалу рейки:

- модуль пружності $E = 2,1 \cdot 10^5$ Н/мм²;
- коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,3$;
- крайові умови наведено на рис. 2;
- геометрію колеса і рейки наведено на рис. 3;
- розбиття на скінченні елементи наведено на рис. 4.

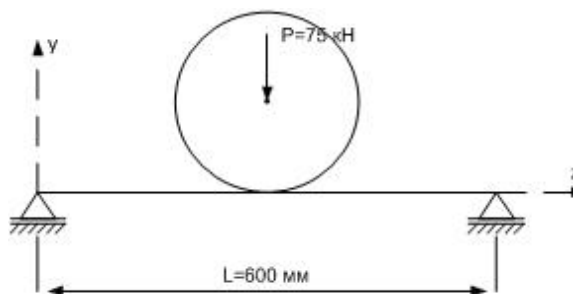


Рис. 2. Модель крайових умов

Fig. 2. Model of boundary conditions

Результати

Проаналізуємо отримані результати розрахунків. На рис. 5–8 наведено графік розподілення вертикальних нормальних напружень σ_y в головці рейки. З рисунків видно, що найбільш оптимальною умовою контакту рейки Р50 з колесом є ухил рейки 1:20, за умови поверхні кочення колеса з конусністю 1:10. В такому випадку нормальні напруження, а отже і контактний тиск, майже в два рази нижче порівняно з іншими трьома випадками контактної взаємодії. Причому найбільш оптимальним є контакт колеса і рейки в області осі симетрії рейки, в такому випадку через великий радіус викружки поверхні рейки значно збільшується площа контакту. Порівнявши рис. 5 і 7 бачимо, що під час використання профілю колеса рухомого складу за кресленням ЗАТ «МІНТЕК» зміна ухилу з 1:20 до нульового майже не впливає на нормальні напруження σ_y в головці рейки. Найбільш неоптимальним за величиною напруження σ_y є випадок контакту, зображений на рис. 8.

На рис. 9–12 наведено графік розподілення дотичних напружень τ_{xy} в головці рейки. Розташування місця реалізації найбільших дотичних напружень τ_{xy} не співпадає з місцем розташування максимальних нормальних напружень σ_y .

Причому в місці, де реалізуються максимальні нормальні напруження σ_y , дотичні напруження τ_{xy} близькі до нуля. Це пов'язано з тим, що в точці, де реалізуються максимальні нормальні напруження, положення головної осі практично співпадає з вертикальною віссю. Закономірність зміни дотичних напружень співпадає із закономірністю зміни нормальних напружень.

Найбільш оптимальним з точки зору мінімізації дотичних напружень τ_{xy} є випадок, зображений на рис. 10.

На рис. 13–16 наведено графік розподілення еквівалентних напружень в головці рейки.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

$$\sigma_{eqv} = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)}$$

Як видно з рисунків, максимальні еквівалентні напруження реалізуються на деякій глибині під площадкою контакту. У випадку контакту, зображеного на рис. 13, відстань від поверхні до точки максимальних еквівалентних напружень складає 2,27 мм, у випадку, зображеному на рис. 14 – 2,94 мм, у випадку, зображеному на рис. 15 – 2,12 мм, у випадку, зображеному на рис. 16 – 2,36 мм.

За критерієм мінімізації еквівалентних напружень найбільш оптимальним є варіант улаштування рейки з ухилом 1:20 та використання профілю поверхні кочення колеса з конусністю 1:10.

Подамо усі складові тензорів напружень для точок, в яких реалізуються максимальні еквівалентні напруження, у вигляді таблиці:

Таблиця 1

Рейка з ухилом 1:20, профіль колеса з конусністю поверхні кочення 1:10

Table 1

Rake with a slope of 1:20, wheel's profile with the taper of the tread surface 1:10

σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}
-188,60	-790,11	-224,25	17,725	-0,09
τ_{xz}	σ_{eqv}	σ_1	σ_2	σ_3
-0,015	585,31	-188,07	-224,25	-790,64

Таблиця 2

Рейка з ухилом 1:20, профіль колеса за кресленням ЗАТ «МІНТЕК»

Table 2

Rake with a slope of 1:20, the wheel profile according to the drawings of CJSC «MINETEK»

σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}
-188,60	-790,11	-224,25	17,725	-0,09
τ_{xz}	σ_{eqv}	σ_1	σ_2	σ_3
-0,015	585,31	-188,07	-224,25	-790,64

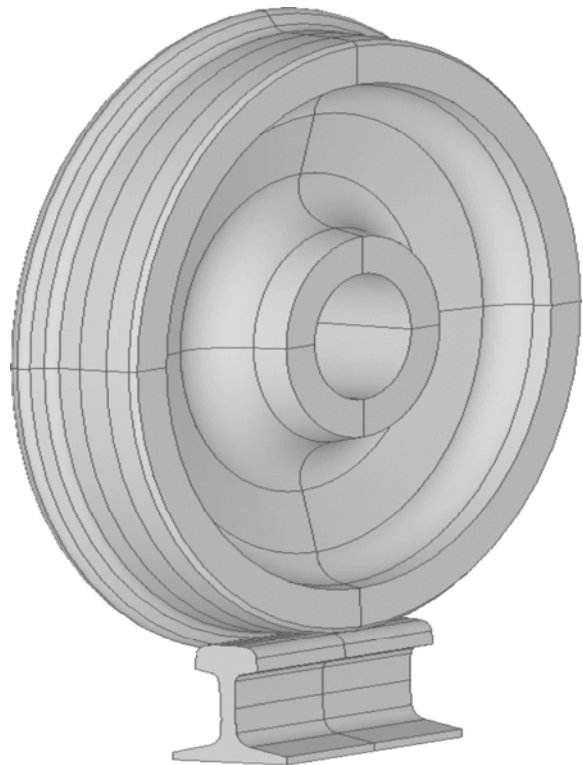


Рис. 3. Геометрична модель колеса і рейки

Fig. 3. Geometrical model of a wheel and a rail

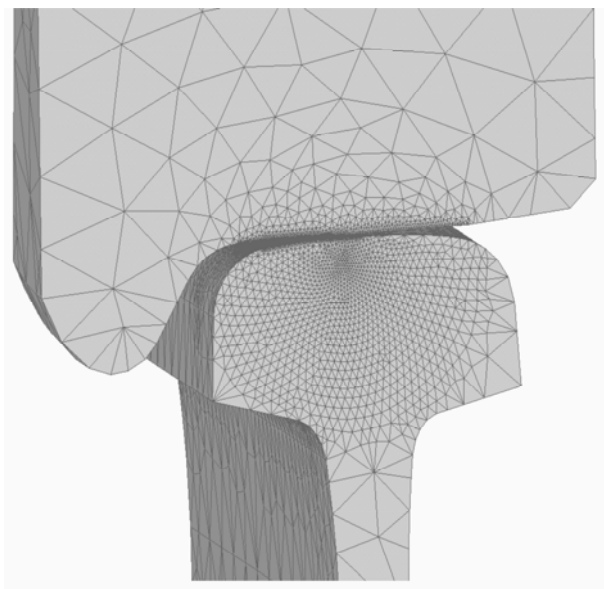


Рис. 4. Схема розбиття в зоні контакту на скінченні елементи

Fig. 4. Partitioning scheme in the contact zone on finite elements

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

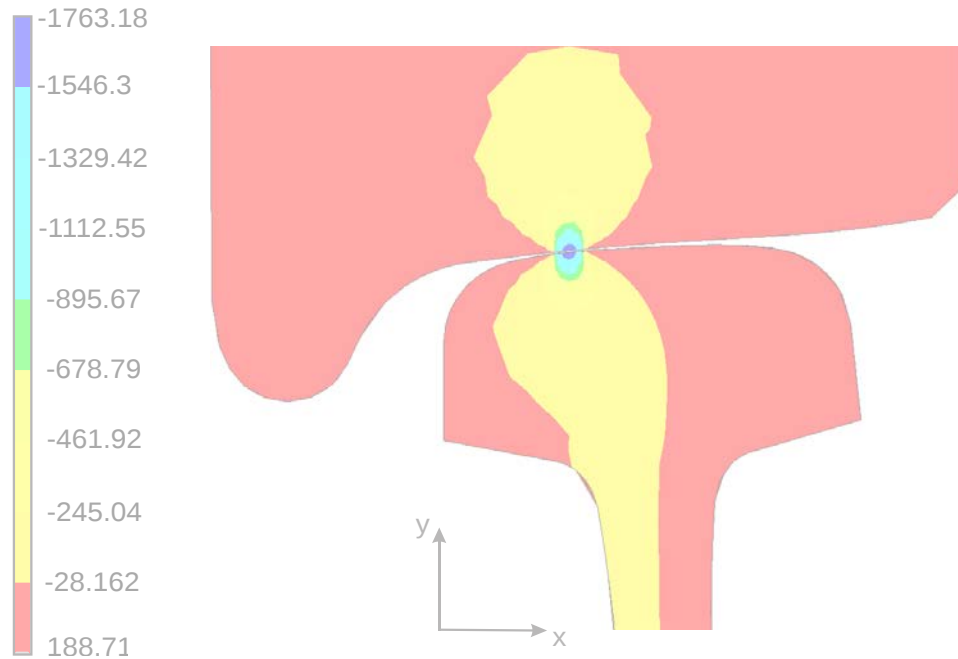


Рис. 5. Розподіл вертикальних нормальних напружень σ_y в головці рейки
(ухил рейки 1:20, профіль колеса за кресленням ЗАТ «МІНТЕК»)

Fig. 5. The distribution of the vertical normal stresses σ_y in the rail head
(slope of the rail 1:20, the wheel profile according to the drawings of CJSC «MATEC»)

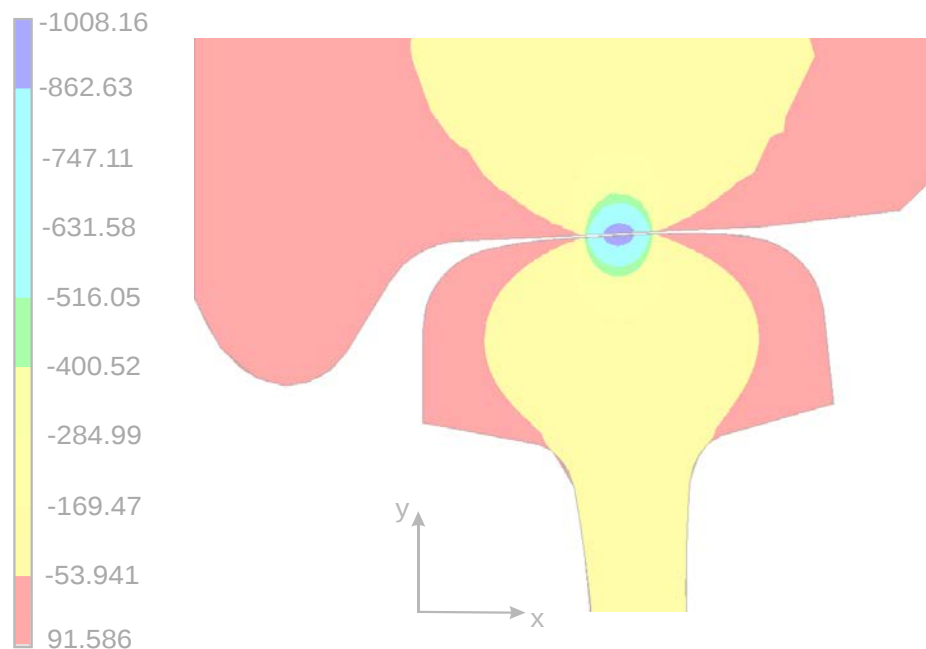


Рис. 6. Розподіл вертикальних нормальних напружень σ_y в головці рейки
(ухил рейки 1:20, профіль колеса з конусністю поверхні кочення 1:10)

Fig. 6. The distribution of the vertical normal stresses σ_y in the rail head
(slope of the rail 1:20, the wheel profile with the taper of the tread surface 1:10)

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

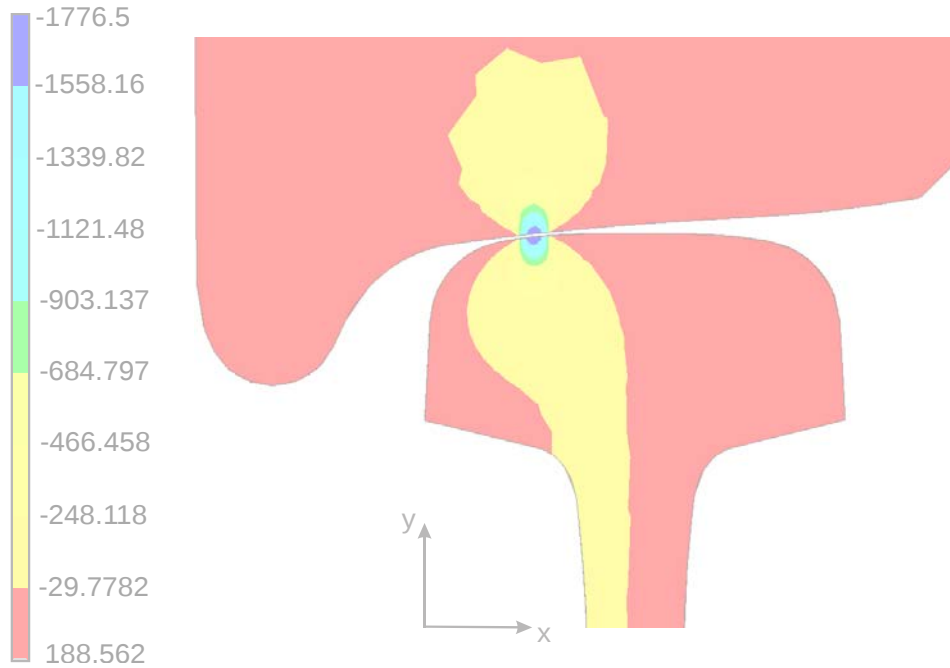


Рис. 7. Розподіл вертикальних нормальних напружень σ_y в головці рейки
(рейка без ухилу, профіль колеса за кресленням ЗАТ «МІНТЕК»)

Fig. 7. The distribution of the vertical normal stresses σ_y in the rail head
(rake without slope, the wheel profile according to the drawings of CJSC «MINETEK»)

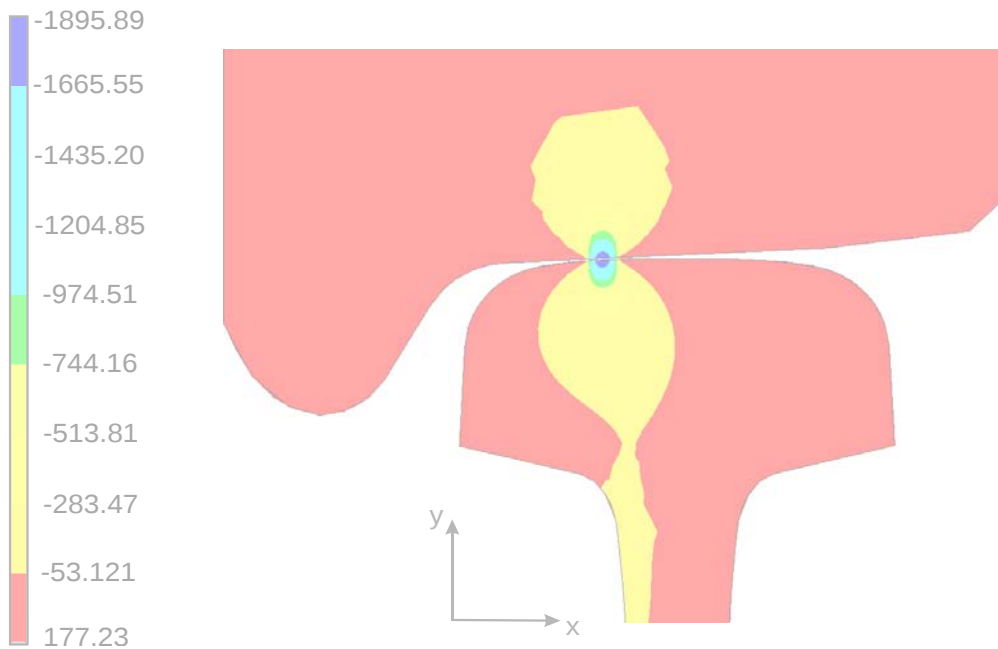


Рис. 8. Розподіл вертикальних нормальних напружень σ_y в головці рейки
(рейка без ухилу, профіль колеса з конусністю поверхні кочення 1:10)

Fig. 8. The distribution of the vertical normal stresses σ_y in the rail head
(rake without slope the wheel profile with the taper of the tread surface 1:10)

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

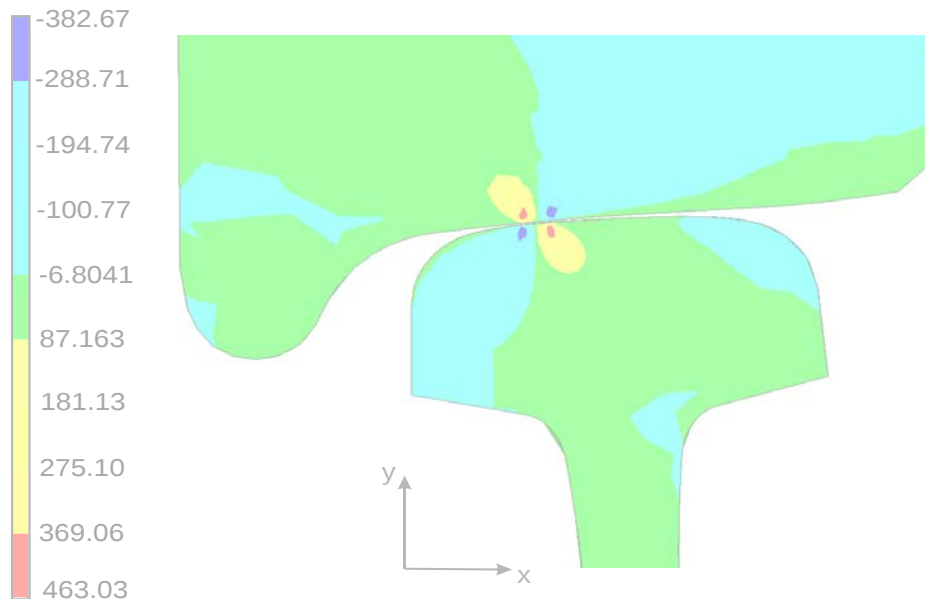


Рис. 9. Розподіл дотичних напружень τ_{xy} в головці рейки
(ухил рейки 1:20, профіль колеса за кресленням ЗАТ «МІНТЕК»)

Fig. 9. The distribution of shear stresses τ_{xy} in the rail head
(slope of the rail 1:20, the wheel profile according
to the drawings of CJSC «MINETEK»)

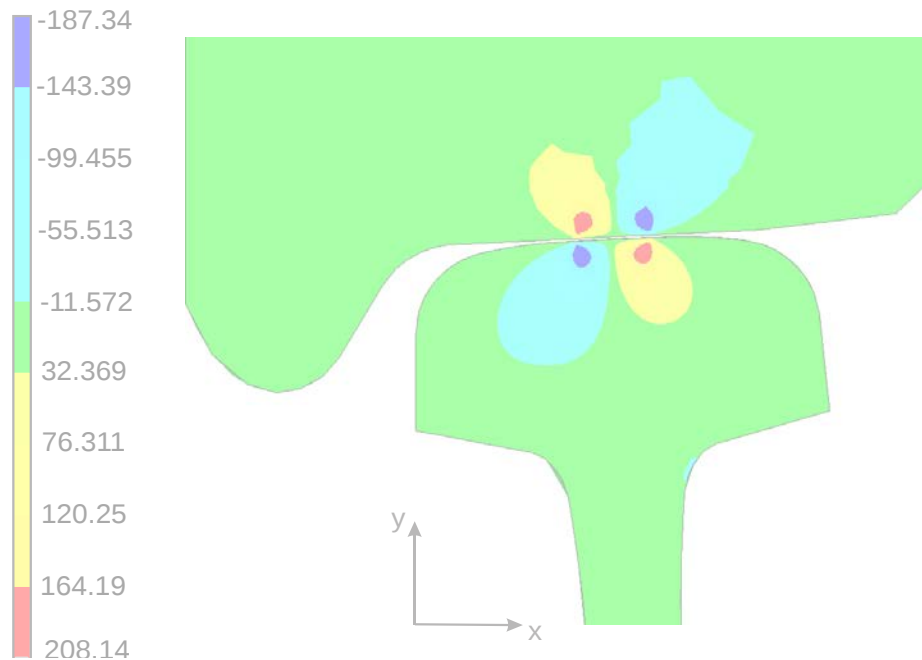


Рис. 10. Розподіл дотичних напружень τ_{xy} в головці рейки
(ухил рейки 1:20, профіль колеса з конусністю поверхні кочення 1:10)

Fig. 10. The distribution of shear stresses τ_{xy} in the rail head
(slope of the rail 1:20, the profile of the wheel
with the taper of the tread surface 1:10)

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

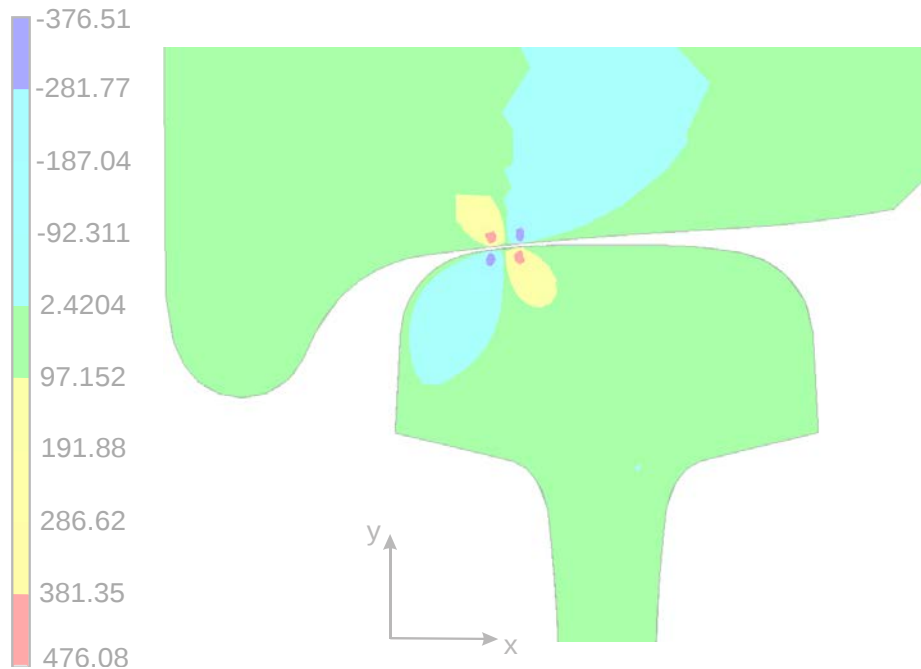


Рис. 11. Розподіл дотичних напружень τ_{xy} в головці рейки
(рейка без ухилу, профіль колеса за кресленням ЗАТ «МІНТЕК»)

Fig. 11. The distribution of shear stresses τ_{xy} in the rail head
(rake without bias, the wheel profile according to the drawings of CJSC «MINETEK»)

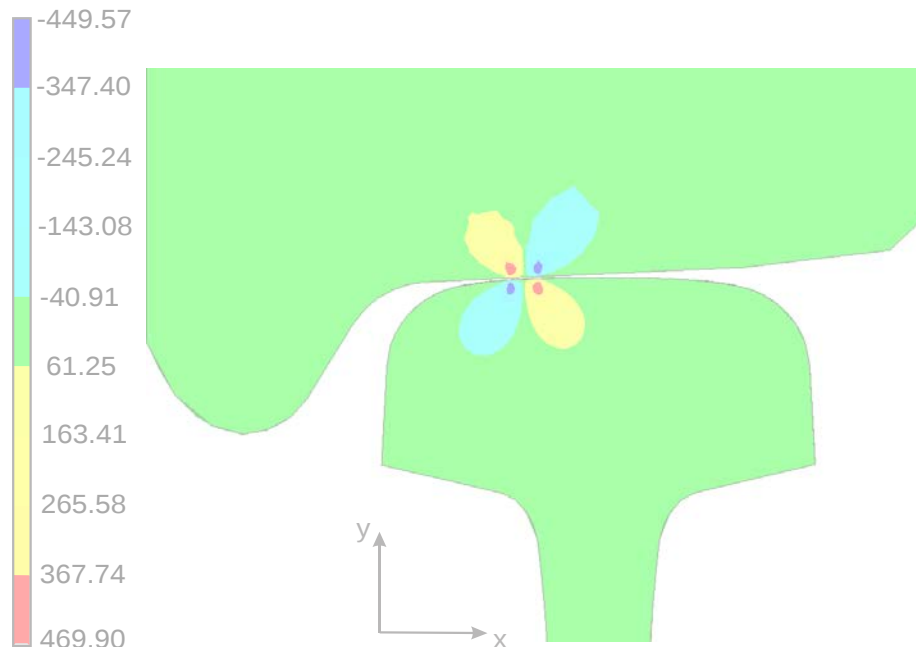


Рис. 12. Розподіл дотичних напружень τ_{xy} в головці рейки
(рейка без ухилу, профіль колеса з конусністю поверхні кочення 1:10)

Fig. 12. The distribution of shear stresses τ_{xy} in the rail head
(rake without slope, the profile of the wheel with the taper of the tread surface 1:10)

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

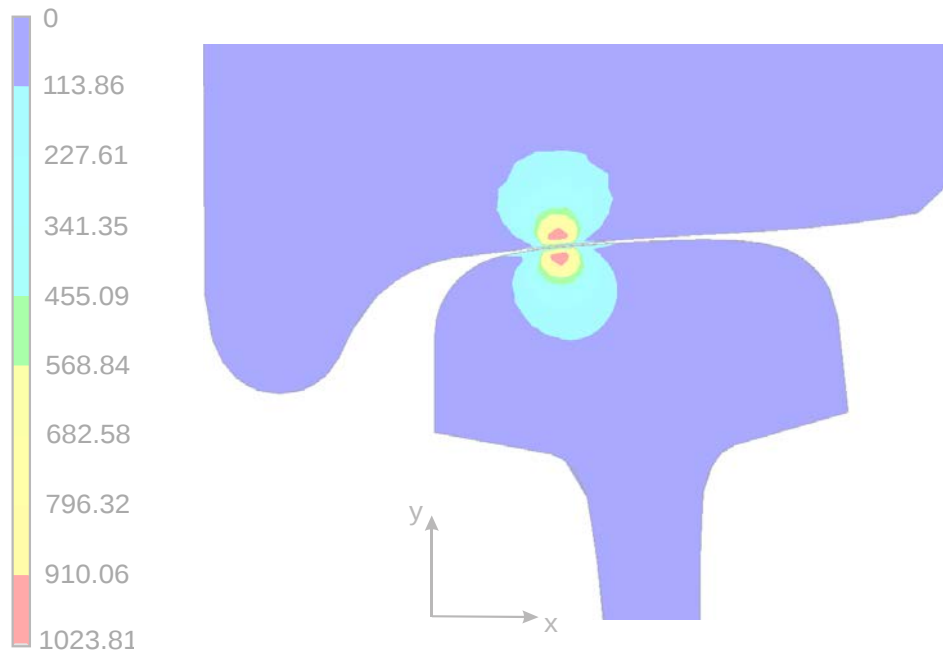


Рис. 13. Розподіл еквівалентних напружень σ_{eqv} в головці рейки
(ухил рейки 1:20, профіль колеса за кресленням ЗАТ «МІНТЕК»)

Fig. 13. The distribution of equivalent stresses σ_{eqv} in the rail head
(slope of the rail 1:20, the wheel profile according to the drawings of CJSC «MINETEK»)

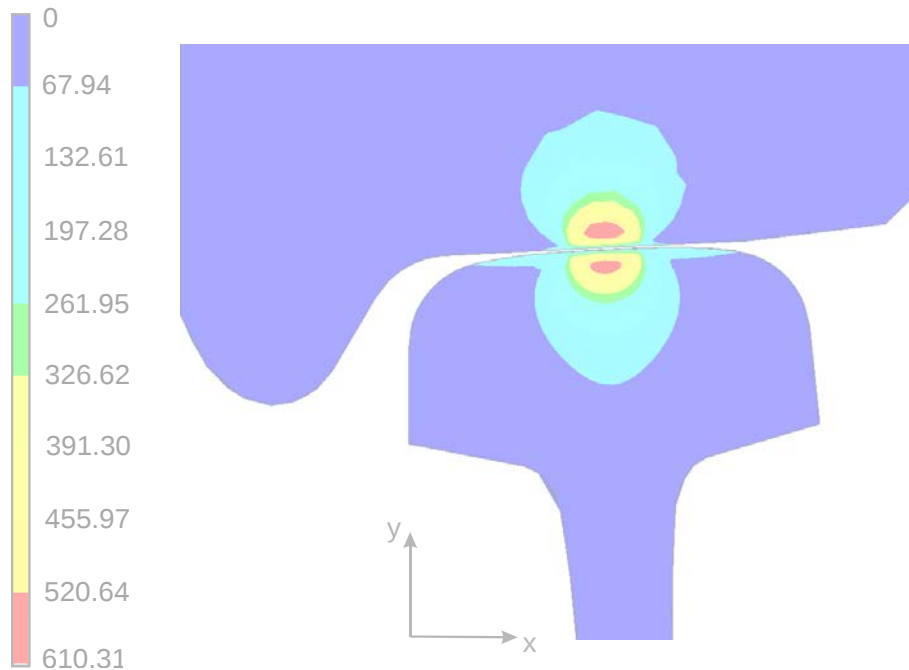


Рис. 14. Розподіл еквівалентних напружень σ_{eqv} в головці рейки
(ухил рейки 1:20, профіль колеса з конусністю поверхні кочення 1:10)

Fig. 14. The distribution of equivalent stresses σ_{eqv} in the rail head
(slope of the rail 1:20, the profile of the wheel with the taper of the tread surface 1:10)

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

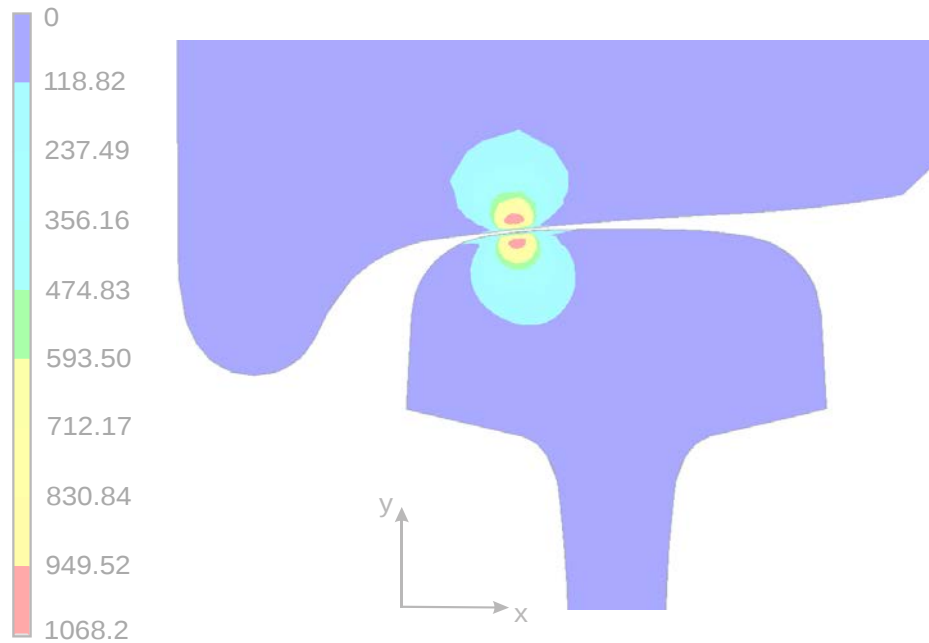


Рис. 15. Розподіл еквівалентних напружень σ_{eqv} в головці рейки
(рейка без ухилу, профіль колеса за кресленням ЗАТ «МІНТЕК»)

Fig. 15. The distribution of equivalent stresses σ_{eqv} in the rail head
(rake without slope, the wheel profile according
to the drawings of CJSC «MINETEK»)

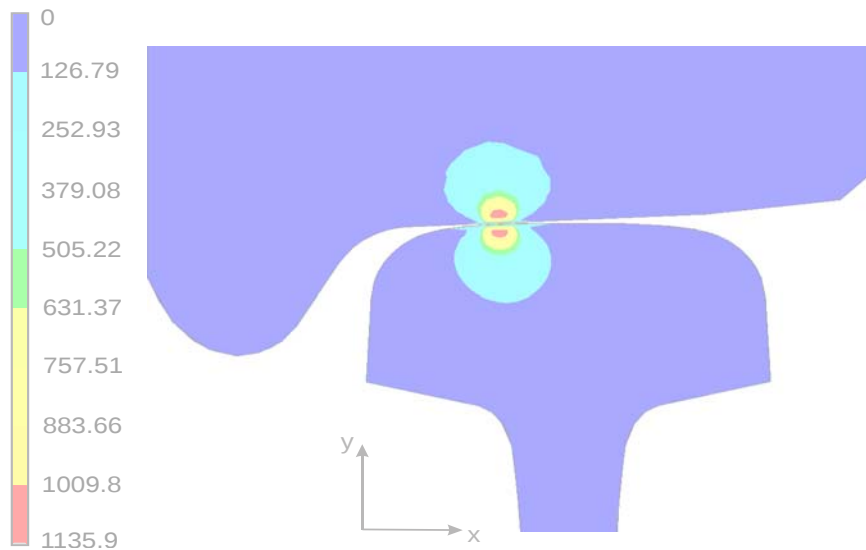


Рис. 16. Розподіл еквівалентних напружень σ_{eqv} в головці рейки
(рейка без ухилу, профіль колеса з конусністю поверхні кочення 1:10)

Fig. 16. The distribution of equivalent stresses σ_{eqv} in the rail head
(rake without slope, the wheel profile with the taper
of the tread surface 1:10)

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Таблиця 3

**Рейка без ухилу, профіль колеса
з конусністю поверхні кочення 1:10**

Table 3

**Rake without slope, the wheel profile
with the taper of the tread surface 1:10**

σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}
-188,60	-790,11	-224,25	17,725	-0,09
τ_{xz}	σ_{eqv}	σ_1	σ_2	σ_3
-0,015	585,31	-188,07	-224,25	-790,64

Таблиця 4

**Рейка без ухилу, профіль колеса
за кресленням ЗАТ «МІНТЕК»**

Table 4

**Rake without slope, the wheel profile according
to the drawings of CJSC «MINETEK»**

σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}
-188,60	-790,11	-224,25	17,725	-0,09
τ_{xz}	σ_{eqv}	σ_1	σ_2	σ_3
-0,015	585,31	-188,07	-224,25	-790,64

Наукова новизна та практична значимість

Отримано результати аналізу контактної взаємодії головки рейки залізничної колії з колесом рухомого складу у тривимірній пружній постановці для різних умов контактної взаємодії.

Отримані результати можуть бути використані при оптимізації умов контактної взаємодії та науковому обґрунтуванні причин появи дефектів контактно-втомного походження в головках рейок залізничної колії.

Висновки

Отримані результати розрахунку показали, що за критерієм мінімізації контактних напружень в рейках типу Р50 для умов контакту, характерних для прямої ділянки колії, використання колеса рухомого складу з профілем за кресленням ЗАТ «МІНТЕК» не є найбільш раціональним рішенням. Найбільш раціональ-

ним в цьому випадку, серед розглянутих, є укладка рейок в колію з ухилом 1:20 та використання колеса з профілем поверхні кочення конусністю 1:10. Відсутність ухилу рейки нівелює всі переваги поверхні кочення колеса конусністю 1:10 і такий випадок контактної взаємодії є найменш раціональним. Наведені результати можуть бути в подальшому використані при прогнозуванні довговічності рейок залізничної колії. Наведену модель можна ускладнювати, враховуючи в розрахунках залишкові напруження в рейках, зміцнення поверхневого шару, наявність початкових дефектів в результаті недосконалості процесу виготовлення та ін. За отриманими результатами не можливо зробити однозначного висновку щодо оптимальності форми контакту під час укладки рейок в колію метрополітену.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 4344:2004. Рейки звичайні для залізниць широкої колії. – Чинний від 2005-10-01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2005. – 28 с.
2. 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.
3. Настечик, М. П. Дослідження напруженого стану в елементах вузла скріплення типу КПП-5 під дією рухомого складу / М. П. Настечик, І. О. Бондаренко, Р. В. Маркуль // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 2 (56). – С. 146–156. doi: 10.15802/stp2015/42174.
4. Норри, Д. Введение в метод конечных элементов / Д. Норри, Ж. де Фриз. – Москва : Мир, 1981. – 304 с.
5. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов : [пер. с англ.] / Л. Сегерлинд. – Москва : Мир, 1979. – 392 с.
6. Сопротивление материалов / Г. С. Писаренко, В. А. Агарев, А. Л. Квитка [и др.]. – Київ : Вища шк., 1986. – 775 с.
7. Уманский, С. Э. Оптимизация приближенных методов решения краевых задач механики / С. Э. Уманский. – Київ : Наук. думка, 1983. – 168 с.
8. Шахунянц, Г. М. Железнодорожный путь / Г. М. Шахунянц. – Москва : Транспорт, 1987. – 479 с.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

9. Яковлев, В. Ф. Исследование контактных напряжений в элементах колеса и рельса при действии вертикальных и касательных сил / В. Ф. Яковлев // Сб. тр. ЛИИЖТа. – Ленинград, 1962. – Вып. 187. – С. 3–89.
10. A comprehensive approach for modeling fatigue and fracture of rails / K. Dang Van, M. H. Maitoum, Z. Moumni, F. Roger // Engineering Fracture Mechanics. – 2009. – Vol. 76. – Iss. 17. – P. 2626–2636. doi: 10.1016/j.engfracmech.2008.12.020.
11. Ali Arslan, M. 3-D Rail-Wheel contact analysis using FEA / M. Ali Arslan, O. Kayabasi // Advances in Engineering Software. – 2012. – Vol. 45. – Iss. 1. – P. 325–331. doi.org/10.1016/j.advengsoft.2011.10.09.
12. Bogdanski, S. 3D model of liquid entrapment mechanism of rolling contact fatigue cracks in rails / S. Bogdanski, P. Lewicki // Wear. – 2008. – Vol. 265. – Iss. 9–10. – P. 1356–1362. doi: 10.1016/j.wear.2008.03.014.
13. Jungwon, S. Effects of surface defects on rolling contact fatigue of rail / S. Jungwon, K. Seokjin, L. Deonghyeong // Procedia Engineering. – 2011. – Vol. 10. – P. 1274–1278. doi: 10.1016/j.proeng.2011.04.212.
14. Numerical Analysis for predicting the rolling contact fatigue crack initiation in a railway wheel steel / M. Taraf, E. H. Zahaf, O. Oussouaddi, A. Zeghloul // Tribology Intern. – 2010. – Vol. 43. – Iss. 3. – P. 585–593. doi: 10.1016/j.triboint.2009.09.007.
15. Numerical stress analysis and rolling contact fatigue of White Etching Layer on rail steel / S. JungWon, K. Seokjin, J. HyenKue, L. Dong-Hyeong // Intern. J. of Fatigue. – 2011. – Vol. 33. – Iss. 2. – P. 203–211. doi: 10.1016/j.ijfa-tigue.2010.08.00.

А. В. АГАРКОВ^{1*}, Р. Н. ЙОСИФОВИЧ^{2*}

^{1*}Каф. «Теоретическая и прикладная механика», Государственный экономико-технологический университет транспорта, ул. Лукашевича, 19, Киев, Украина, 03049, тел. +38 (044) 591 51 87, эл. почта agarcov@ukr.net, ORCID 0000-0001-8250-6280

^{2*}Каф. «Железнодорожный путь и путевое хозяйство», Государственный экономико-технологический университет транспорта, ул. Лукашевича, 19, Киев, Украина, 03049, тел. +38 (044) 591 51 47, эл. почта yosyfovych@gmail.com, ORCID 0000-0003-3892-3727

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В РЕЛЬСАХ ТИПА Р50, КОТОРЫЕ ЭКСПЛУАТИРУЮТСЯ В МЕТРОПОЛИТЕНЕ

Цель. В исследовании необходимо: 1) определить объемное напряженно-деформированное состояние головки рельс при взаимодействии с колесами подвижного состава; 2) проанализировать различные формы контактного взаимодействия; 3) получить данные, необходимые для расчета долговечности рельсов железнодорожного пути. **Методика.** В основе расчета объемного напряженно-деформированного состояния лежит метод конечных элементов. Задача решалась в упругой объемной постановке. При решении использовались реальные геометрические параметры тел. **Результаты.** Авторами выполнен расчет объемного напряженно-деформированного состояния головки рельс при взаимодействии с колесами подвижного состава для различных случаев геометрии контактирующих поверхностей. Представлены результаты расчета, как в графической, так и в табличной форме. Выполнено сравнение различных вариантов условий контакта. Полученные результаты проанализированы, и сделаны выводы относительно оптимальности условий контактного взаимодействия. **Научная новизна.** Полученные результаты расчета показали, что по критерию минимизации контактных напряжений в рельсах типа Р50 для условий контакта, характерных для прямого участка пути, использование колеса подвижного состава с профилем по чертежам ЗАО «МИНТЕК» не является наиболее рациональным решением. Наиболее рациональным в этом случае, среди рассмотренных, является укладка рельсов в пути с подуклонкой 1:20 и использование колеса с профилем поверхности катания конусностью 1:10. Отсутствие подуклонки рельса нивелирует все преимущества поверхности катания колеса конусностью 1:10, и такой случай контактного взаимодействия является наименее рациональным. **Практическая значимость.** Получены результаты анализа контактного взаимодействия головки рельс с колесом подвижного состава в трехмерной упругой постановке для различных условий контактного взаимодействия. Эти данные могут быть использованы при оптимизации условий контактного взаимодействия и научном обосновании причин появления дефектов контактно-усталостного происхождения в головках рельсов железнодорожного пути. Представленную модель можно усложнять, учитывая в расчетах остаточные

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

напряжения в рельсах, упрочнение поверхностного слоя, наличие начальных дефектов в результате несовершенства процесса изготовления и др.

Ключевые слова: рельс; колесо; контактное взаимодействие; упругие деформации; метод конечных элементов

O. V. AGARKOV^{1*}, R. M. YOSYFOVYCH^{2*}

^{1*}Dep. «Theoretical and Applied Mechanics», State Economy and Technology University of Transport, Lukashevich St., 19, Kyiv, Ukraine, 03049, tel. +38 (044) 591 51 87, e-mail agarcov@ukr.net, ORCID 0000-0001-8250-6280

^{2*}Dep. «Railway Track and Track Facilities», State Economy and Technology University of Transport, Lukashevich St., 19, Kyiv, Ukraine, 03049, tel. +38 (044) 591 51 47, e-mail yosyfovych@gmail.com, ORCID 0000-0003-3892-3727

DETERMINATION OF CONTACT STRESSES IN THE RAILS P50, WHICH ARE OPERATED IN THE METRO

Purpose. In the research one should do: 1) to determine a 3-d stress-strain state of the rail head in contact with the rolling wheels; 2) to analyze different forms of contact interaction; 3) to obtain the data necessary to calculate the durability of railway track rails. **Methodology.** The basis for calculating the 3-d stress-strain state is the finite element method. The basis for calculating the volume of the stress-strain state is the finite element method. The problem was solved in the elastic 3-D conditions. Real geometrical bodies parameters were used during the solving. **Findings.** The calculation of the 3-d stress-strain state of the rail head in contact with the rolling wheels for various cases of the contact surfaces geometry is performed. The results of calculation are presented in the graphic and tabular form. The comparison of different options contact conditions is performed. The results are analyzed and conclusions about the optimality conditions of contact interaction are made. **Originality.** The results of the calculation showed that within the criterion of minimizing the contact stresses in the rails P50 for the conditions specific to the direct contact route section, the use of rolling wheels with a profile according to the drawings of CJSC «MINETEK» is not the most rational decision. The most rational in this case, among the considered is the laying of rails in track with gradient 1:20 and the use of the wheel with the rolling surface profile of 1:10 conicity. The lack of rail gradient eliminates the benefits of the wheel running surface with 1:10 conicity, and a case of contact interaction is the least rational. **Practical value.** The results of analysis of the contact interaction of the rail head with a rolling stock wheel in a three-dimensional elastic formulation for different conditions of contact interaction were obtained. These data can be used to optimize the conditions of contact interaction and scientific substantiation of the causes of defects of the contact fatigue origin in the railway railhead. The presented models can be upgraded, including the residual stresses in the rails, hardening of the surface layer, and the presence of initial defects as a result of imperfections in the manufacturing process and others in the calculations.

Keywords: rail; wheel; contact interaction; elastic deformations; finite element method

REFERENCES

1. DSTU 4344:2004. *Reiky zvychaini dlia zaliznyts shyrokoj kolii* [State standart 4344:2004. Normal rails for the broad gauge Railways]. Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy Publ., 2005. 28 p.
2. Kurhan D.M. Do vyryshennia zadach rozrakhunku kolii na mitsnist iz urakhuvanniam nerivnopruzhnosti pidreikovoï 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.
3. Nastechyk M.P., Bondarenko I.O., Markul R.V. Doslidzhennia napruzhenoho stanu v elementakh vuzla skriplennia typu KIII-5 pid diieiu rukhomoho skladu [Investigation of stress state in the elements of rail fastenings, type KIII-5 under the influence of rolling stock]. *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. 146-156. doi: 10.15802/stp2015/42174.
4. Norri D., Zh. de Friz. *Vvedeniye v metod konechnykh elementov* [Introduction to finite element method]. Moscow, Mir Publ., 1981. 304 p.
5. Segerlind L. *Primeneniye metoda konechnykh elementov* [Application of the finite element method]. Moscow, Mir Publ., 1979. 392 p.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

6. Pisarenko G.S., Agarev V.A., Kvitka A.L. *Soprotivleniye materialov* [Resistance of materials]. Kyiv, Vyshcha shkola Publ., 1986. 775 p.
7. Umanskiy S.E. *Optimizatsiya priblizhennykh metodov resheniya krayevykh zadach mekhaniki* [Optimization of approximate methods of solution of boundary value problems of mechanics]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1983. 168 p.
8. Shakhunyan G.M. *Zheleznodorozhnyy put* [Railway track]. Moscow, Transport Publ., 1987. 479 p.
9. Yakovlev V.F. Issledovaniye kontaktnykh napryazheniy v elementakh kolea i relsa pri deystvii vertikalnykh i kasatelnykh sil [Investigation of contact stresses in the elements of wheel and rail under the action of vertical and shear forces]. *Sbornik Leningradskogo instituta inzhenerov zheleznodorozhnogo transporta* [Proc. of the Leningrad Institute of Railway Transport Engineers]. Leningrad, 1962, no. 187, pp. 3-89.
10. Dang Van K., Maitoum M.H., Moumni Z., Roger F. A comprehensive approach for modeling fatigue and fracture of rails. *Engineering Fracture Mechanics*, 2009, vol. 76, issue 17, pp. 2626-2636. doi: 10.1016/j.engfracmech.2008.12.020.
11. Ali Arslan M., Kayabasi M. 3-D Rail-Wheel contact analysis using FEA. *Advances in Engineering Software*, 2012, vol. 45, issue 1, pp. 325-331. doi.org/10.1016/j.advengsoft.2011.10.09.
12. Bogdanski S., Lewicki S. 3D model of liquid entrapment mechanism of rolling contact fatigue cracks in rails. *Wear*, 2008, vol. 265, issue 9-10, pp. 1356-1362. doi: 10.1016/j.wear.2008.03.014.
13. Jungwon S., Seokjin K., Deonghyeong L. Effects of surface defects on rolling contact fatigue of rail. *Procedia Engineering*, 2011, vol. 10, pp. 1274-1278. doi: 10.1016/j.proeng.2011.04.212.
14. Taraf M., Zahaf E.H., Oussouaddi O., Zegloul A. Numerical Analysis for predicting the rolling contact fatigue crack initiation in a railway wheel steel. *Tribology International*, 2010, vol. 43, issue 3, pp. 585-593. doi: 10.1016/j.triboint.2009.09.007.
15. JungWon S., Seokjin K., HyenKue J., DongHyeong L. Numerical stress analysis and rolling contact fatigue of White Etching Layer on rail steel. *International Journal of Fatigue*, 2011, vol. 33, issue 2, pp. 203-211. doi: 10.1016/j.ijfatigue.2010.08.007.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Е. І. Даніленком (Україна); д.т.н., проф. В. Д. Петренком (Україна)

Надійшла до редколегії: 26.05.2015

Прийнята до друку: 16.07.2015

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 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ
ДЕФОРМАТИВНОЇ РОБОТИ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ**

Мета. Наукова стаття передбачає визначення основних фізико-конструктивних умов при моделюванні життєвого циклу роботи елементів залізничної колії для дослідження розвитку процесів деформативності як основи створення нормативної бази роботи колії за умов забезпечення надійності залізниць. **Методика.** Для досягнення мети використано засади теорії пружності та розповсюдження хвильового процесу при описі взаємодії колії та рухомого складу. **Результати.** Встановлено основні фізико-конструктивні умови, на основі яких необхідно проводити моделювання життєвого циклу роботи елементів залізничної колії для дослідження розвитку процесів деформативності. Сформульовано основні фізико-конструктивні засади складання розрахункових схем елементів залізничної колії для оцінки процесу деформативної роботи колії. Доведено коректність та можливість рішення поставленої задачі. **Наукова новизна.** Дослідження питань із надійності колії мотивує розробку нових моделей, що дають можливість розглядати її протягом деякого напруження. Існує необхідність визначення основних фізико-конструктивних умов для складання розрахункових схем, на основі яких можливі оцінка та прогнозування зміни станів колії у процесі її експлуатації. У роботі запропоновано основні фізико-конструктивні засади складання розрахункових схем елементів залізничної колії, при яких виконується принцип Гюйгенса. Зазначений принцип може виконуватись тільки при розгляді чотирьохмірного простору: зміни об'єму в часі. **Практична значимість.** Аналітичні моделі, що застосовані при визначенні параметрів міцності та стійкості колії, повністю задовольняють поставленим задачам, але не можуть бути застосовані для визначення параметрів надійності колії. Одним із головних факторів неможливості застосування цих моделей є квазидинамічний підхід. Тому, зазвичай, отримують та досліджують не сам динамічний процес роботи залізничної колії, а його наслідки. Окрім того, такі моделі відносяться до плоских, що також додає певних складнощів до порівняння результатів із експериментом, так як нелегко в об'ємному процесі виділити вплив в його обмежених частинах. Застосування чисельних методів розширює можливості, але також унеможливає розгляд самого динамічного процесу, бо неможливо ввести процеси, що обумовлюють реакцію на навантаження. Тому запропоновані основні фізико-конструктивні підходи при моделюванні дають можливість розглядати безпосередньо динамічний процес, локалізований як у часі, так і в просторі.

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

Введення

Надійність системи конструкцій верхньої та нижньої будов колії – це властивість цієї системи зберігати у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах та умовах експлуатації при встановленій системі технічного обслуговування.

Необхідними функціями в цьому випадку є пропуск рухомого складу зі встановленими швидкостями руху.

Умови експлуатації встановлюються на основі [8], за якими виділено вісім категорій колії

з певними значеннями вантажонапруженості ділянки та максимально встановлених швидкостях вантажних і пасажирських поїздів.

Режими експлуатації визначаються техніко-економічними розрахунками на основі [9]. При цьому встановлюють міжремонтні схеми, за якими система конструкцій верхньої та нижньої будов колії повинна бути приведена в працездатний стан.

Технічне обслуговування виконують безперервно впродовж року на всій протяжності колії з метою нагляду для забезпечення її працездатності. Основним принципом організації й виконання поточного утримання колії є запо-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

бігання появі несправностей, а також усунення їх на початковій стадії з одночасною ліквідацією причин, що їх викликали. Поточне утримання встановлюється на базі [5] в обсязі, передбаченому розрахунковими експлуатаційними витратами, відповідними за терміном служби конструкції верхньої будови колії.

Отже, дослідження питань надійності системи конструкцій верхньої та нижньої будов зводиться до визначення параметрів, що впливають на перехід системи зі стану в стан.

За теорією надійності існують п'ять станів: справний, несправний, працездатний, непрацездатний та граничний. Але в нормативно-технічних документах щодо системи конструкцій верхньої та нижньої будов колії не прописано, які технічні стани системи відповідають зазначеним станам надійності.

Питання класифікації технічних станів системи ускладнюються і тим, що під час виконання посиленних капітальних або капітальних ремонтів для IV...VII категорій колії [9] передбачається укладання старопридатних матеріалів. Але основні положення надійної роботи системи конструкцій верхньої та нижньої будов колії були розроблені залізницями, які не застосовують старопридатні елементи та конструкції верхніх будов та привели відповідно до сучасних експлуатаційних умов конструкцію нижньої будови колії. Тому, відповідно до класифікацій за станами надійності, зазначені категорії колій відносяться до «небезпечних» [4], навіть після виконання ремонтів.

Отже, враховуючи особливості використання різноманітних (нових, нових та старопридатних і старопридатних) елементів під час виконання ремонтів колії, необхідно встановити їх параметри не тільки за станами надійності, а й відповідно до вимог функціональної безпеки.

Таким чином надійність системи конструкцій верхньої та нижньої будов колії і її функціональна безпека пов'язані між собою, та повинні базуватись на одних теоретичних засадах. Тому, по-перше, необхідно дослідити, які параметри впливають на зміну стану надійності системи конструкцій верхньої та нижньої будов колії та які значення цих параметрів відповідають вимогам за станами надійності.

Для того щоб встановити параметри, що

впливають на зміну технічних станів системи конструкцій верхньої та нижньої будов, необхідно розглянути роботу цієї системи в часі.

Оскільки параметри розрахунків міцності та стійкості зазначеної системи відносяться до статичних величин, то вони не можуть характеризувати протікання процесу змін в часі і їх розрахункові моделі не можуть бути використані для поставленої задачі. Тому введено поняття деформативності колії і для вирішення цієї задачі застосовано напрацювання математичної фізики.

Динамічна деформативність колії – виникнення під впливом навантаження конструкції колії деформацій, викликаних змінами форми, розмірів або об'єму елементів за рахунок вібрації елементів конструкції колії чи їхніх частин, змін властивостей матеріалів елементів та зумовлені всіма перемінами переміщення окремих точок конструкції колії. Під процесом деформативної роботи колії будемо розуміти явища динамічної деформативності, що відбуваються під впливом рухомого складу. Описання процесу деформативності виконується на засадах математичної фізики.

Математична фізика є частиною загальної теорії диференціальних рівнянь у приватних похідних. Назва «математична фізика» пов'язана з тим, що ця частина виникла з розгляду декількох простих, але важливих задач фізики. Основних рівнянь математичної фізики небагато. Всі вони – лінійні диференціальні рівняння другого порядку однієї невідомої функції, коефіцієнти яких вважаються зазвичай постійними величинами. Виключення мають так звані телеграфні рівняння: лінійні диференціальні рівняння другого порядку однієї невідомої функції, але зі змінними коефіцієнтами.

Оскільки рівняння математичної фізики – це лінійні диференціальні рівняння, отже, загальний інтеграл визначається за відомими правилами. Але головне ускладнення, з яким доводиться мати справу під час розв'язання рівнянь математичної фізики, полягає у тому, що визначувана функція повинна задовольняти як рівняння математичної фізики, так і рівняння другого порядку, які описують початкові і граничні умови. Останні не будуть довільними функціями, оскільки повинні підкорятись низці обмежуючих умов та володіти спеціальними

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

властивостями. Існують спеціальні методи для інтегрування рівнянь математичної фізики, в задачах яких застосовують різноманітні початкові та граничні умови. Вони поділяються на такі:

- перший метод Пуассона для лінійних рівнянь з приватними похідними та постійними коефіцієнтами, за умов обмеженого середовища;
- другий метод Фур'є: інтегрування рівнянь з приватними похідними для середовища, що обмежене відповідними умовами;
- третій метод засновано на результатах дослідження Коші та на його теорії так званих інтегральних обчисленнях;
- четвертий метод – метод інтегральних рівнянь.

Таким чином математичний апарат для застосування розроблено, але потрібно адаптувати його під поставлену задачу.

За поставленою задачею складено рівняння руху, початкові та граничні умови на засадах теорії пружної роботи. Для виведення рівнянь застосовано як метод Лагранжа, так і метод Ейлера, тобто, з одного боку, розглядається рух певної частки середовища в часі, та з другого – прийнято до уваги наявність заданого поля швидкостей та розглядається зміна швидкостей руху в певному перетині за деякий час. Постановка динамічної задачі з визначення процесу деформативної роботи залізничної колії зводиться до того, що в заданій області Ω необхідно знайти поля напружень σ_{ij} , деформацій ε_{ij} , переміщень u_i та щільності ρ_i , що задовольняють в будь-який момент часу t такі рівняння:

- руху

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

- граничним умовами

$$\sigma_{ij} n_j = \tau_i; \quad (2)$$

- залежностей Гука:

$$\begin{aligned} \sigma_{ij} &= \lambda \Theta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij} \\ \Theta &= j_1(\varepsilon_{ij}) = \text{div} u; \end{aligned} \quad (3)$$

- залежностей Коші

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i}); \quad (4)$$

- збереження маси

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \text{div} \bar{v} = 0. \quad (5)$$

Початкові дані формуються згідно з такими умовами. Розглянута ділянка колії знаходиться в стані спокою, тобто початковий час відповідає відсутності впливу рухомого складу на колію. Процес впливу рухомого складу на колію відбувається за передбачений час, що залежить від швидкості руху поїзда. Причому, цей час включає як стан спокою до впливу дії рухомого складу, так і стан спокою після його впливу. Стан спокою колії відповідає відсутності дії сил, що призводять до переміщень будь-яких точок системи конструкцій нижньої та верхньої будов колії. Таким чином, розглядається не перетин колії, як, зазвичай, в статичних або квазі-динамічних розрахунках, а ділянка колії, довжина якої залежить як від величин навантаження на колію, так і від швидкості їх переміщення по ній. Величини переміщень, деформацій та напружень застосовуються для визначення всіх видів змін енергій, що витрачаються на виконання робіт зовнішніми та внутрішніми силами, які призводять до протікання процесу деформативної роботи колії під час впливу рухомого складу на неї.

Таким чином, складені рівняння та визначені початкові та граничні умови привели до розв'язання лінійних диференціальних рівнянь другого порядку однієї невідомої функції з постійними коефіцієнтами [2, 3].

Мета

Метою дослідження є визначення основних фізико-конструктивних умов при моделюванні життєвого циклу роботи елементів залізничної колії для дослідження розвитку процесів деформативності як основи створення нормативної бази роботи колії за умов забезпечення надійності залізниць.

Методика

Моделі, за якими встановлені допустимі та рекомендовані значення у нормативних документах, повністю виконують поставлені задачі, але не можуть відповісти на питання щодо інтенсивності накопичення залишкових деформацій в колії, тобто не можуть характеризувати протікання процесу змін в часі. Тому спочатку необхідно встановити, на основі врахування яких фізико-конструктивних умов можна розглядати зазначені питання.

При постановці задачі математичної фізики, де потрібне визначення рішення на основі раніше сформульованих умов, зазвичай висувають такі три вимоги:

- рішення повинно існувати;
- рішення повинно бути однозначно визначеним;
- рішення повинно безперервно залежати від даних задачі.

Перша вимога математично сама собою зрозуміла: від рішення не слід вимагати суперечливих властивостей.

Друга вимога говорить, що задача повинна бути поставлена з належною повнотою.

Третя вимога виправдана з точки зору принципів пристосованості аналітичної задачі до явищ природи. Тобто з умови задачі повинні використовуватись не різко фіксовані дані. Наприклад, задані в задачі значення довжин або часу завжди пов'язані з деякими невеликими межами похибки. Математична задача вважається адекватною для опису реальних явищ, якщо зміні запропонованих даних в достатньо вузьких межах відповідає така ж мала (обмежена наперед заданими кордонами) зміна результату. Третя вимога виражає фізичну визначеність задачі.

Задачу з диференціальними рівняннями, що задовольняє перерахованим вимогам, вважають коректно поставленою.

Існування рішення складеного неоднорідного диференціального рівняння з приватними похідними другого порядку гіперболічного типу з парним числом незалежних змінних доведено багатьма авторами. Цей доказ ґрунтується на існуванні рішення однорідного рівняння, за допомогою якого з відповідними початковими даними вирішується неоднорідне рівняння.

Крайова задача при довільній гладко-кускової границі задовольняє вище поставленій вимозі однозначності. Ця однозначність випливає безпосередньо з того факту, що гармонійна функція, регулярна в деякій області, приймає своє найбільше та найменше значення на границі області, отже тотожно зникає, якщо всі її крайові значення дорівнюють нулю.

Вимога безперервної залежності рішення від крайових значень також виконана, оскільки виконується теорема про досягнення екстремальних значень на границі: якщо два різних, наперед заданих крайових значення відрізняються між собою усюди менше, ніж на деяку малу величину, то відповідні їм гармонійні функції у всій області не можуть відрізнятися більше, ніж на цю величину.

Тобто, по-перше, розв'язання диференціального рівняння однозначно визначаються початковими умовами. Так, якщо розглядається коливання будь-якої точки певної ділянки з системи конструкцій верхньої та нижньої будов колії, то початковими умовами є відсутність впливу рухомого складу. По-друге, при безперервній зміні початкових даних відповідне рішення змінюється безперервно. Це означає, що при появі впливу рухомого складу, який буде спочатку наближуватись, а потім віддалятися від будь-якої точки ділянки зазначеної системи, будуть змінюватись початкові дані щодо впливу рухомого складу від її повної відсутності до максимальних значень і навпаки. За цими даними будуть змінюватись характеристики напружено-деформованого стану точки, які призводять до зміни деформативного процесу на ділянці. По-третє, значення функції в будь-якій точці ділянки системи залежить не від всієї сукупності початкових даних, а тільки від початкових даних вздовж частини початкової поверхні впливу, яка вирізається з загальної поверхні впливу характеристиками, що виходять з точки. Тобто, зміни характеристик точки ділянки залежать не від всієї поверхні, по якій контактують колеса з рейкою при проході рухомого складу по ділянці, а тільки від тієї частини, що на даний час передала вплив рухомого складу на точку.

Отже, задача є коректно поставленою.

Крім того, при розгляданні такої задачі буде виконано принцип Гюйгенса. Для визначення

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

поводження системи конструкцій верхньої та нижньої будов колії обов'язковість виконання цього принципу є необхідною. Згідно з принципом Гюйгенса початкове збурювання, локалізоване у просторі, викликає в кожній точці простору вплив, локалізований в часі, при цьому має місце поширення хвилі з переднім і заднім фронтами хвиль. Зазначений принцип може виконуватись тільки при розгляді чотиримірною простору: зміни об'єму в часі. Його врахування дасть можливість розглядати процес деформативності в повному обсязі, причому максимальні прогини елементів системи конструкцій верхньої та нижньої будов колії не збігаються в часі за перетином та впливають на деформації елементів зазначеної системи та деформативність самої системи.

Враховуючи те, що початкові умови змінюються, прийнято, що розповсюдження впливу рухомого складу на систему конструкцій верхньої та нижньої будов колії відбуваються за сферичними хвилями. Сферичні хвилі визначаються такою властивістю, що відповідне сімейство характеристичних поверхонь складається з характеристичних коноїдів, вершини яких лежать на лініях тимчасового типу. Сферичні хвилі для будь-яких ліній тимчасового типу з властивістю за принципом Гюйгенса існують тільки у випадку чотирьох перемінних і до того ж тільки для диференціальних рівнянь, еквівалентних хвильовому рівнянню.

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

$$s(x, y, z, t) = A \sin(\omega t - kr + \varphi), \quad (6)$$

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

Значення амплітуди A_0 , що викликає зовнішня сила, визначено згідно з другим та третім законами Ньютона [8], за якими швидкість зміни імпульсу механічної системи дорівнює головному вектору впливу зовнішніх сил, що діють на цю систему

$$\frac{dK}{dt} = F. \quad (8)$$

Механічна система в цьому випадку – система з конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії. Для зазначеної системи прийнято, що дія зовнішньої сили, маса та швидкість системи – змінні величини. Тому рух такої системи відповідає рівнянню:

$$ma = F_{cp} + F_p, \quad (9)$$

де F_p – реактивна сила, що враховує імпульс приєднаної або відокремленої маси; F_{cp} – середнє значення перемінної зовнішньої сили.

Остаточне значення амплітуди A_0 визначається як:

$$A_0 = \frac{r(F_{cp}\Delta t \sin(\omega\Delta t) + v_1\Delta m)}{\omega \cos(\omega\Delta t - kr + \varphi)\Delta m}, \quad (10)$$

де v_1 – швидкість приєднаної або відокремленої маси.

Розміри хвилі розраховано згідно з [1].

Результати

Для оцінки процесу деформативної роботи колії необхідно складати розрахункові схеми конструкції колії. Якщо б розрахунки напружено-деформованого стану системи конструкцій верхньої та нижньої будов виконувались за існуючими розрахунками на міцність, то для визначення розрахункової осі так, щоб еквівалентні сили були найбільшими, необхідно розглянути ділянку довжиною 6 м, що обмежено довжиною лінії впливу розрахункової осі екіпажу [9]. Але ця розрахункова схема пов'язана з такими фізико-конструктивними характеристиками елементів нижньої та верхньої будов колії як: модуль пружності підрейкової основи, модуль деформації рейкової сталі, моменти опору та інерції поперечного перетину рейки, площі підкладки та полушпали з врахуванням її вигину, товщина щебеню, епюра шпал.

Із застосуванням методу кінцевих елементів, при впливі сили, що прикладена в зоні контакту центрального положення колеса та рейки в прямих ділянках, ця довжина також складатиме 6 м. Для розрахунку потрібно мати фізико-конструктивні характеристики, що описують повну геометрію кожного елемента системи конструкцій верхньої та нижньої будов. Висота насипу або товщина розглянутої виїмки

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

повинні бути не менше 3 м. Крім того, повинно мати значення модулів деформації, щільності та вид контакту для всіх елементів [20].

Якщо розглядати той же процес за допомогою запропонованого методу, то довжина розрахункової схеми повинна включати ділянки впливу як прямого, так і зворотного впливу діючої сили.

На довжину ділянки впливатиме по черзі: тип рухомого складу, його швидкість та навантаження, що формують значення та місця впливу діючої сили; стан рейки та колеса, що формують площадку контакту та частоту імпульсу зовнішньої сили, яка характеризує амплітуду коливань; геометрія кожного елемента та вид контакту для всіх елементів, що характеризують геометрію розповсюдження коливань; характеристики матеріалів (модуль пружності, щільність, коефіцієнт Пуассона, коефіцієнти тертя та зчеплення як самих матеріалів, так і контактуючих пар, імпеданс), що характеризують кількісно процес розповсюдження коливань. Для сипких матеріалів необхідно застосовувати дані, що відповідають AS 1141.4, 1141.6 та C. 1141.18 [18]. В табл. 1 наведено значення величин, що формують процес деформативності ділянки при впливі чотиривісного вагона ЦНІІІ-ХЗ-0.

В таблиці наведено:

- швидкість руху;
- максимальні нормальні/дотичні напруження на площі контакту;
- площа контакту рейки з колесом;
- довжина контакту вздовж рейки;
- +-частота обертів колеса;
- частота впливу зовнішньої сили;
- час дії на площі контакту.

В табл. 1 перший рядок демонструє значен-

ня для контакту нових коліс з новими рейками, а друга – нових коліс зі зношеними рейками. Для формування коректних умов навантаження, що адекватно описують реальні умови, було вивчено діючі стандарти [12, 13] та сучасні дослідження [6, 7, 11, 14, 15, 16, 17, 19].

Та зазначені характеристики викликають дуже різний характер коливання. Безпосередньо це видно зі співвідношення максимальних напружень на площі контакту та часу дії на ній для нових та зношених рейок при тій же частоті обертів коліс. Крім того, існує різниця між напруженнями, що реалізуються при контакті рейки та колеса. Так при нових рейках найбільші нормальні та дотичні напруження виникають на поверхні в центрі еліпса, а при ковзанні коліс по рейці реалізуються, крім нормальної, дотичні повздовжні та поперечні складові, що розташовані на межах контактної площадки вздовж та поперек головки рейки. Всі зазначені характеристики коливаються в певних межах, тому довжина розрахункової ділянки також коливається і залежно від швидкості руху і необхідної повноти вивчення процесу довжина розглянутої ділянки коливається від 25 до 400 м. Але існує певна закономірність: чим менша швидкість, тим більшу ділянку необхідно розглядати. Це пов'язано з двома факторами. По-перше, чим більша різниця між швидкостями руху поїзда та поширення поверхневої хвилі, тим більше часу відбувається коливання точок, оскільки збільшується контактуюча поверхня між рейкою та колесом, що передає вплив рухомого складу на точку. По-друге, чим більша різниця між швидкостями руху поїзда та поширення хвилі в середовищі, тим більша кількість відбитих процесів, які надають точці додаткових коливань.

Таблиця 1

Характеристики процесу коливань вагона ЦНІІІ-ХЗ-0

Table 1

Characteristics of fluctuations process, car CRI-H3-0

V, км/год	P_0 / τ_0 , МПа	ω , см ²	a, м	ω_k , рад/с	ω , рад/с	t, с
10	1275/402	1,2904	1,28	5,85	6,81	0,461449
	582/221	2,6327	0,68		12,76	0,246274

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Закінчення табл. 1

End of table 1

V, км/год	P_0 / τ_0 , МПа	ω , см ²	a, м	ω_k , рад/с	ω , рад/с	t, с
20	1293/407	1,3270	1,30	11,70	13,43	0,233974
	595/226	2,6885	0,70		24,98	0,125747
30	1311/413	1,3639	1,32	17,54	19,87	0,158134
	607/231	2,7443	0,71		36,71	0,085572
40	1328/418	1,4003	1,34	23,39	26,14	0,120172
	619/235	2,7990	0,73		47,99	0,065459
50	1345/424	1,4354	1,35	29,24	32,28	0,097337
	631/240	2,8516	0,74		58,89	0,05335
60	1362/429	1,4716	1,37	35,09	38,25	0,082131
	642/244	2,9054	0,75		69,36	0,045297
70	1378/434	1,5074	1,39	40,94	44,09	0,071248
	654/249	2,9582	0,77		79,47	0,039531
80	1395/439	1,5442	1,40	46,78	49,79	0,063098
	666/253	3,0121	0,78		89,20	0,035221
90	1411/445	1,5805	1,42	52,63	55,36	0,056743
	678/258	3,0652	0,80		98,61	0,031859
100	1428/450	1,6179	1,44	58,48	60,80	0,051669
	690/262	3,1193	0,81		107,66	0,029179
110	1444/455	1,6555	1,45	64,33	66,12	0,047514
	702/267	3,1735	0,82		116,41	0,026988
120	1460/460	1,6926	1,47	70,18	71,33	0,044041
	714/271	3,2268	0,84		124,89	0,025154

**Наукова новизна та практична
значимість**

Наукова новизна. Дослідження питань надійності колії мотивує розробку нових моделей, що дають можливість розглядати її протягом

деякого напрацювання. Існує необхідність визначення основних фізико-конструктивних умов для складання розрахункових схем, на основі яких можливі оцінка та прогнозування зміни станів колії в процесі її експлуатації. В роботі запропоновано основні фізико-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

конструктивні засади складання розрахункових схем елементів залізничної колії, за яких виконується принцип Гюйгенса. Зазначений принцип може виконуватись тільки при розгляді чотиримірною простору: зміни об'єму в часі. Практична значимість. Аналітичні моделі, що застосовані при визначенні параметрів міцності та стійкості колії, повністю задовольняють поставленим задачам, але не можуть бути застосовані для визначення параметрів надійності колії. Одним з головних факторів неможливості застосування цих моделей є квазідинамічний підхід. Тому, зазвичай, отримують та досліджують не сам динамічний процес роботи залізничної колії, а його наслідки. Крім того, такі моделі відносяться до плоских, що також додає певні складнощі порівняння результатів з експериментом, оскільки нелегко в об'ємному процесі виділити вплив в його обмежених частинах. Застосування числових методів розширюють можливості, але також унеможливають розгляд самого динамічного процесу, оскільки неможливо ввести процеси, що зумовлюють реакцію на навантаження. Тому запропоновані основні фізико-конструктивні підходи при моделюванні 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 вирішення 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 системах конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії необхідне точне визначення цього процесу як в часі, так і в просторі. Таким чином, необхідно правильно сформулювати задачу та визначити вхідні дані. До вхідних даних належать:

– тип рухомого складу, його швидкість та навантаження, що формують значення та місця впливу діючої сили;

– стан рейки та колеса, що формують площадку контакту та частоту імпульсу зовнішньої сили, яка характеризує амплітуду коливань;

– геометрія кожного елемента та вид контакту для всіх елементів, що характеризують геометрію розповсюдження коливань;

– характеристики матеріалів (модуль пружності, щільність, коефіцієнт Пуассона, коефіцієнти тертя та зчеплення як самих матеріалів, так і контактуючих пар, імпеданс), що характеризують кількісно процес розповсюдження коливань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баштова, В. Г. Топологическая неустойчивость полуограниченной капли магнитной жидкости / В. Г. Баштова, А. Г. Рекс, А.-Д. Т. М. Мансур // Весці Нацыян. акад. навук Беларусі. Серія фізіка-тэхнічных навук. —2013. — № 4. — С. 64–69.
2. 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.
3. Бондаренко, І. О. Формування оціночних умов життєвого циклу деформативної роботи залізничної колії / І. О. Бондаренко // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. — 2015. — № 3 (57). — С. 107–117.
4. ГОСТ 32192-2013. Надежность в железнодорожной технике. Основные понятия. Термины и определения. — Введ. 2014–07–01. — Москва : Стандартиформ, 2014. — 32 с.
5. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України : ЦП-0269 // Наказ Мін. інфраструктури України від 01 берез. 2012 р. № 072-Ц. — Київ : Мін. інфраструктури України, Укрзалізниця, 2012. — 456 с.
6. Kleiner, O. Исследование напряжений в контакте колесо-рельс / O. Kleiner // 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. Пермского нац. исследоват. политехн. ун-та. Механика. — 2011. — № 2. — С. 5–13.
8. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. — Москва : Наука, 1987. — Т. 1. — 210 с.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

9. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України : ЦП-0113 : Наказ Мін. трансп. та зв'язку України від 10 серп. 2004 р. № 630-ЦЗ. – Київ : Мін. трансп. та зв'язку України, Укрзалізниця, 2004. – 32 с.
10. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість : ЦП-0117 : Наказ Мін. трансп. та зв'язку України від 13 груд. 2004 р. № 960-ЦЗ. – Київ : Мін. трансп. та зв'язку України, Укрзалізниця, 2004. – 170 с.
11. 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. Коренюк // Проблемы трибологии. – 2013. – № 1. – С. 43–46.
12. AAR Manual of Standards and Recommended Practices: Wheel and Axles. – Washington : Publications Department Transportation Technology Center, Inc., 2009. – 166 p.
13. EN 13979-1:2003+A2:2011. Railway applications – Wheelsets and bogies. Monobloc wheels. Technical approval procedure : Forged and rolled wheels [Required by Directive 2008/57/EC]. – London : British Standard Institution, 2011. – 54 p. doi: 10.3403/02960998.
14. Full-scale model testing on a ballastless high-speed railway under simulated train moving loads / X. Bian, H. Jiang, C. Cheng [et al.] // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2014. – Vol. 66. – P. 368–384. doi:10.1016/j.soildyn.2014.08.003.
15. 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 // Proc. of 2nd Mini Conf. Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems (29.07.–31.07.1996) / Techn. Univ. of Budapest. – Budapest, 1996. – P. 52–61.
16. Kouroussis, G. Free field vibrations caused by high-speed lines: Measurement and time domain simulation / G. Kouroussis, O. Verlinden, C. Conti // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2011. – Vol. 31. – Iss. 4. – P. 692–707. doi: 10.1016/j.soildyn.2010.11.012.
17. Propagation Characteristics of Elastic Wave in High-Speed Railway Embankment and Its Application to Defect Detection / M. Chen, S. Feng, A. Che, H. Wang // Advances in Soil Dynamics and Foundation Engineering : Proc. Intern. Conf. (26–28 May 2014). – Shanghai, 2014. – P. 20–28. doi: 10.1061/9780784413425.003.
18. Report № 685. Aggregates proficiency testing program : Proficiency Testing Australia. – Silverwater NSW : PTA, 2010. – 27 p.
19. Srolarski, T. A. Rolling contacts / T. A. Srolarski, S. Tobe. – London : Professional Engineering Publishing Ltd., 2000. – 445 p. doi: 10.1002/9781118903001.
20. Wriggers, P. Nonlinear finite element analysis / P. Wriggers. – Berlin : Springer, 2008. – 559 p. doi: 10.1007/978-3-540-71001-1.

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 ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАТИВНОЙ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Цель. Научная статья предполагает определение основных физико-конструктивных условий при моделировании жизненного цикла работы элементов железнодорожного пути для исследования развития процессов деформирования как основы создания нормативной базы работы пути при условии обеспечения надежности железных дорог. **Методика.** Для достижения цели использованы принципы теории упругости и распространения волнового процесса при описании взаимодействия пути и подвижного состава. **Результаты.** Установлены основные физико-конструктивные условия, на основе которых необходимо проводить моделирование жизненного цикла работы элементов железнодорожного пути для исследования развития процессов деформативности. Сформулированы основные физико-конструктивные принципы составления расчетных схем элементов железнодорожного пути для оценки процесса деформационной работы пути. Доказаны корректность и возможность решения поставленной задачи. **Научная новизна.** Исследование вопросов надежности пути мотивирует разработку новых моделей, которые позволяют рассматривать ее в течение некоторой наработки. Существует необходимость определения основных

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

физико-конструктивных условий для составления расчетных схем, на основе которых возможны оценка и прогнозирование изменения состояний пути в процессе ее эксплуатации. В работе предложены основные физико-конструктивные принципы составления расчетных схем элементов железнодорожного пути, при которых выполняется принцип Гюйгенса. Указанный принцип может выполняться только при рассмотрении четырехмерного пространства: изменения объема во времени. **Практическая значимость.** Аналитические модели, примененные при определении параметров прочности и устойчивости пути, полностью удовлетворяют поставленным задачам, но не могут быть применены для определения параметров надежности пути. Одним из главных факторов невозможности применения этих моделей является квазидинамичный подход. Поэтому, как правило, получают и исследуют не один динамический процесс работы железнодорожного пути, а его последствия. Кроме того, такие модели относятся к плоским, что также добавляет определенные сложности в сравнении результатов с экспериментом, так как нелегко в объемном процессе выделить влияние в его ограниченных частях. Применение численных методов расширяет возможности, но также делает невозможным рассмотрение самого динамического процесса, ибо невозможно ввести процессы, обуславливающие реакцию на нагрузку. Поэтому предложенные основные физико-конструктивные подходы при моделировании позволяют рассматривать непосредственно динамический процесс, локализованный как во времени, так и в пространстве.

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

I. O. BONDARENKO^{1*}

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

FEATURES OF THE RESEARCH WORK ELEMENTS DEFORMABILITY OF RAILWAY TRACK

Purpose. The scientific paper is supposed the determination of basic physical and structural conditions in modeling life cycle of the elements of the railway line for the study of deformation processes as the basis of normative base of the track at the condition of railway safety. **Methodology.** To achieve the aim principles of the elasticity theory and wave propagation process in the description of the interaction between the track and rolling stock were used. **Findings.** The basic physical and structural conditions under which it is necessary to carry out the simulation of the life cycle of the elements of the railway line for the study of deformation processes were determined. The basic physical and structural principles of drawing the design schemes of railway track elements for the process assessment of the track deformation work were formulated. The decision correctness and the possibility of the problem solution are proved. **Originality.** The study of the track reliability questions motivates the development of new models, allow considering it for some developments. There is a need to identify the main physical and structural conditions for assembly design schemes based on assessment and prediction of possible track state changes during its operation. The paper presents the basic principles of physical and structural drafting design schemes of railway line items for which Huygens' principle is implemented. This principle can be performed only when the four dimensional space: the volume changing over time is considered. **Practical value.** Analytical models applied in determining the parameters of strength and resistance lines, fully satisfy the task, but can not be used to determine the parameters of track reliability. One of the main impossibility factors of these models is quasidynamic approach. Therefore, as a rule, receive and examine not only dynamic process of a railway track, but also its consequences. Besides, these models are related to flat ones, and it also adds some complexity in results comparing with an experiment, as well as the process is not easy to distinguish the impact of volume in its limited parts. The use of numerical methods extend the possibilities, and it also make it impossible for the consideration of the dynamic process, as well as it is impossible to introduce processes, causing the reaction to stress load. Thus the basic physical and constructive approaches in modeling make it possible to consider the dynamic process of localized both in time and in space directly.

Keywords: modeling; life cycle; the deformability of the way; the residual strain; efficiency; wave propagation; the stress-strain state of the path; path reliability; path of travel

REFERENCES

1. Bashtova V.G., Reks A.G., Mansur A.D.T.M. Topologicheskaya neustoychivost poluogranichennoy kapli magnitnoy zhidkosti [Topological instability of a semi-infinite drops of magnetic fluid]. *Вестні Нацыян. акад. навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук* [News of National Academy of Sciences of Belarus. Series of Physical and Technical Sciences], 2013, no. 4, pp. 64-69.
2. Bondarenko I.O. Stosovno pytan modeliuvannia zhyttievoho tsyklad 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.
3. Bondarenko I.O. Formuvannia otsinovykh umov zhyttievoho tsyklad deformatyvnoi roboty zaliznychnoi kolii [Formation of estimated conditions for life cycle of deformation work of the 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. 3 (57), pp. 107-117.
4. GOST 32192-2013. Nadezhnost v zheleznodorozhnoy tekhnike. Osnovnyye ponyatiya. Terminy i opredeleniya [State standart 32192-2013. Reliability in railway engineering. Basic concepts. Terms and definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 32 p.
5. Instruktsiya z ulashtuvannia ta utrymannia kolii zaliznyts Ukrainy TsP-0269 [Manual for installation and maintenance of the tracks of the Railways of Ukraine TsP-0269]. Kyiv, Ministerstvo infrastruktury Ukrainy, Ukrzaliznytsia Publ., 2012. 456 p.
6. Kleiner O. 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 stragivani zheleznodorozhnogo kolesa [Finite element modeling and study of the evolution of the contact stresses in the breakaway the railway wheels]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mekhanika* [Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Mechanics], 2011, no. 2, pp. 5-13.
8. Landau L.D., Lifshits Ye.M. *Teoreticheskaya fizika* [Theoretical Physics]. Moscow, Nauka Publ., 1987, vol. 1, 210 p.
9. Polozhennia pro provedennia planovo-zapobizhnykh remontno-koliinykh robot na zaliznytsiakh Ukrainy TsP-0113 [Position about carrying out of scheduled preventive repair and track work on the railways of Ukraine TsP-0113]. Kyiv, Ministerstvo infrastruktury Ukrainy, Ukrzaliznytsia Publ., 2004. 32 p.
10. Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist i stiikist TsP-0117 [Rules of payment of railway track on the strength and stability of the Tsp-0117]. Kyiv, Ministerstvo infrastruktury Ukrainy, Ukrzaliznytsia Publ., 2004. 170 p.
11. Dovbnya N.P., L.M. Bondarenko, Bobyr D.V., Korenyuk R.A. Sootnosheniya mezhdu 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.
12. AAR Manual of Standards and Recommended Practices: Wheel and Axles. Washington, Publications Department Transportation Technology Center Inc. Publ., 2009. 166 p.
13. EN 13979-1:2003+A2:2011: Railway applications – Wheelsets and bogies. Monobloc wheels. Technical approval procedure : Forged and rolled wheels. London, British Standard Institution Publ., 2011. 54 p. doi: 10.3403/02960998.
14. Bian X., Jiang H., Cheng C., Chen Y., Chen R., Jiang J. Full-scale model testing on a ballastless high-speed railway under simulated train moving loads. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2014, vol. 66, pp. 368-384. doi:10.1016/j.soildyn.2014.08.003.
15. Chen M., Feng S., Che A., Wang H. Propagation Characteristics of Elastic Wave in High-Speed Railway Embankment and Its Application to Defect Detection. *Advances in Soil Dynamics and Foundation Engineering*, 2014, pp. 20-28. doi: 10.1061/9780784413425.003.
16. 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, Techn. Univ. of Budapest Publ., 1996, pp. 52-61.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

17. Kouroussis G., Verlinden O., Conti C. Free field vibrations caused by high-speed lines: Measurement and time domain simulation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2011, vol. 31, issue 4, pp. 692-707. doi: 10.1016/j.soildyn.2010.11.012.
18. Report №. 685. Aggregates proficiency testing program. Proficiency Testing Australia. Silverwater NSW, PTA Publ., 2010. 27 p.
19. Srolarski T.A., Tobe S. Rolling contacts. London, Professional Engineering Publishing Ltd. Publ., 2000. 445 p. doi: 10.1002/9781118903001.
20. Wriggers P. Nonlinear finite element analysis. Berlin, Springer Publ., 2008. 559 p. doi: 10.1007/978-3-540-71001-1.

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

Надійшла до редколегії: 13.04.2015

Прийнята до друку: 18.06.2015

УДК 625.14"401.4":[539.372:536.722]

Д. М. КУРГАН^{1*}

^{1*}Каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, ел. пошта kurgan@brailsys.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

МОДЕЛЮВАННЯ НАКОПИЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ НА ОСНОВІ ЕНТРОПІЇ СИСТЕМИ

Мета. В роботі передбачається проведення теоретичних досліджень щодо використання методів, які визначають термін експлуатації залізничної колії не тільки за показником загального обсягу навантаження, а й враховують його структуру та динамічні характеристики. Метою таких досліджень є створення моделі накопичення деформацій для оцінки термінів експлуатації залізничної колії із урахуванням зазначених особливостей. **Методика.** Для моделювання процесу поступової зміни стану за час експлуатації (накопичення деформацій) залізнична колія представлена як система, яка складається з множин часток різних речовин, зібраних у цільну конструкцію. Доцільно говорити не про появу деформацій якоїсь визначеної величини в певному перерізі колії, а про імовірність такої події на ділянці. Якщо оперувати вірогідністю появи відхилення, стан системи зручно характеризувати кількістю розривів умовних внутрішніх зв'язків. Однаковому стану системи можуть відповідати різні комбінації розривів. Чим більша кількість розривів, тим більша кількість варіантів змін структури системи, що відповідають її поточному стану. Такий процес можна представити як поступовий перехід від упорядкованого стану до хаотичного. Для опису наведеної характеристики системи застосовується такий чисельний показник, як ентропія. **Результати.** При старінні системи її ентропія постійно збільшується. Зростання ентропії виражається змінами внутрішньої енергії системи, які можна визначити, використовуючи механічну роботу сил, дія яких приводить до деформацій. Це дає змогу визначити кількісний показник розриву зв'язків у системі як наслідок виконання механічної роботи. За результатами теоретичних досліджень розроблено методику оцінки строків життєвого циклу експлуатації залізничної колії із урахуванням таких факторів, як: структура поїздопотоків, конструкція верхньої будови колії, рух поїздів із високими швидкостями. **Наукова новизна.** Вперше для моделювання накопичення деформацій залізничної колії використаний такий показник, як ентропія системи. **Практична значимість.** Розгорнуті аналітичні залежності доведено до практичної методики, що дає змогу аналізувати ділянки колії із різними конструкціями або з різними умовами експлуатації за строками накопичення деформацій.

Ключові слова: ентропія; верхня будова колії; залишкові деформації; розрахунок колії на міцність; напруження в колії; строк служби колії

Вступ

Стала тенденція розвитку транспортних мереж потребує від залізничного транспорту підтримувати та удосконалювати сучасний стан для збереження конкурентоспроможності. Одним з основних показників вибору виду транспорту традиційно залишається швидкість доставки вантажів і пасажирів [15]. Для забезпечення цієї умови залізнична колія повинна весь час експлуатації знаходитись у належному стані [14]. Серед багатьох суміжних питань постає завдання щодо прогнозування термінів експлуатації залізничної колії.

Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях

України (ЦП-0287) [11] визначає основні та додаткові показники, від яких залежать строки виконання відповідних ремонтних робіт. Але введення швидкісного руху, перерозподіл потоків поїздів з метою спеціалізації вантажних і пасажирських напрямків [5] потребують доповнень до такого основного критерію призначення модернізації, як пропущений тоннаж. Такі корегування повинні враховувати структуру поїздопотоків, що обертається на ділянці, та швидкості руху поїздів.

Мета

В цій роботі передбачається виконання теоретичних досліджень щодо використання методів, які визначають термін експлуатації заліз-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

ничної колії не тільки за показником загального обсягу навантаження, а й враховують його структуру та динамічні характеристики. Метою таких досліджень є створення моделі накопичення деформацій для оцінки термінів експлуатації залізничної колії з урахуванням зазначених особливостей.

Методика

Для моделювання процесу поступової зміни стану залізниці за час експлуатації залізничну колію можна представити як систему, яка складається з множини часток різних речовин, зібраних в суцільну конструкцію. Кожна частка оточена пружними зв'язками з іншими, які формують навколо неї щось на зразок пружної оболонки або сукупності зв'язків. При навантаженні системи ця сукупність деформується, а за певних обставин деякі зв'язки руйнуються, що зумовлює перехід від пружних деформацій до залишкових.

Життєвий цикл такої системи можна розглядати як процес накопичення розірваних зв'язків. Якщо кількість розривів доходить до кількості елементарних часток, то відбувається повний розпад системи. Зазвичай приймається, що тіло, яке опрацьовує навантаження, в процесі експлуатації проходить три етапи розвитку, які характеризуються різними швидкостями накопичення деформацій: на першому етапі швидкість накопичення деформацій зменшується, на другому – залишається приблизно постійною, на третьому – збільшується. Наочно це можна продемонструвати графіком на рис. 1. Його прототип було наведено у роботі [4] як приклад деформації ґрунту під навантаженням, але якісно він підходить для більшості твердих тіл та їх систем.

Наприклад, в роботі [10] наведено результати розрахунків для залишкових деформацій залізничної колії в вертикальній площині, які якісно відповідають зонам «1» і «2» графіка, зображеного на рис. 1. Також відповідні за характером залежності були отримані в роботах [16, 17], присвячених застосуванню в колії геоматеріалів, які включали розгорнуті дослідження щодо накопичення деформацій підрейкової основи від циклічного навантаження, отримані як експериментально, так і з виконанням математичного моделювання.

Перехід у зону «3» (див. рис. 1), а можливо навіть наближення до завершення зони «2», враховуючи специфіку саме системи «залізнична колія», не є доцільним. Термін експлуатації залізничної колії не може визначатися до її повного руйнування – весь час повинна забезпечуватися умова безпечного пропуску поїздів з встановленими швидкостями руху. З іншого боку, відмова якогось з елементів або порушення геометричного положення колії в певних межах [14] не обов'язково є приводом для виконання позапланових ремонтних робіт або обмеження швидкості руху. Враховуючи велику протяжність залізничних ділянок, для теоретичних розрахунків (тобто для прогнозування) доцільно говорити навіть не про виникнення деформацій якоїсь визначеної величини в певному перерізі колії, а про ймовірність такої події на ділянці. Рішення стосовно доцільності усунення окремих порушень (поточне утримання колії) або виконання проміжних ремонтів, або повної заміни верхньої будови колії повинно прийматися саме із врахуванням швидкості накопичення (розвитку) відхилень. Таким чином, визначення граничного стану залізничної колії є не тільки технічною, а й економічною задачею.

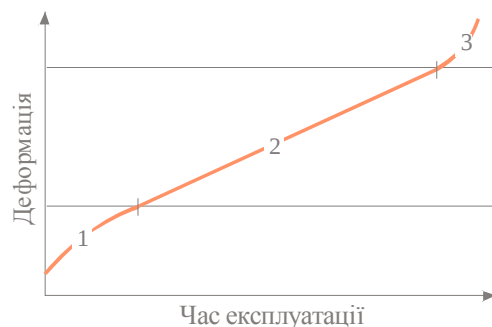


Рис. 1. Залежність деформації тіла від часу експлуатації:

- 1 – швидкість деформації зменшується;
- 2 – швидкість деформації приблизно постійна;
- 3 – швидкість деформації збільшується

Fig. 1. Dependence of body deformation from the operational time:

- 1 – rate of deformation decreases;
- 2 – approximately constant rate of deformation;
- 3 – rate of deformation increases

Якщо оперувати вірогідністю появи певних відхилень, то зручно стан системи (ступінь її старіння) характеризувати кількістю умовних розривів внутрішніх зв'язків для питомої про-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

тяжності. Однаковому стану системи можуть відповідати різні комбінації розривів. Зрозуміло, що чим більше кількість розривів, тим більше існує варіантів змін структури системи, що відповідають її однаковому стану. Опису наведеної характеристики відповідає такий числовий показник як ентропія. В загальному вигляді ентропія системи визначається за формулою

$$S = k \ln W, \quad (1)$$

де k – постійна Больцмана; W – кількість можливих мікроскопічних станів у наявному макроскопічному стані.

Спочатку ентропія застосовувалась в термодинаміці, але виявилось, що запропоновані наукові підходи є доволі універсальними. На сьогодні поняття ентропії використовується в хімії, біології, інформатиці і багатьох напрямках фізики. Як правило, ентропія адекватно описує розвиток (старіння) більшості систем, для яких цей процес можна подати як поступовий перехід від упорядкованого стану до хаотичного. Як приклади застосування ентропії для опису термінів експлуатації твердих тіл та їх систем можна вказати такі роботи: [1, 4, 9, 12, 13, 18–20].

Так в роботі [19] наведено модель накопичення пошкоджень у плямі з'єднання твердих пластичних тіл при відсутності детальної мікроструктурної інформації на основі принципу максимуму ентропії. В роботі [18] описується практичний метод для визначення топологічних фаз стану матеріалу в довільних моделях за рахунок точного розрахунку ентропії за допомогою матриці щільності. В роботі [20] обґрунтовано підпорядкованість розвитку системи ентропії, як аналогу законів термодинаміки, які є універсальними і розповсюджуються на інші напрямки фізики. Коновалов А. А. в роботі [4] показує можливість застосування принципів ентропії у різних галузях, в тому числі демонструє зв'язок ентропії з механічними деформаціями матеріалів, висловлює міркування щодо залежності граничних значень ентропії відносно співвідношення швидкостей розповсюдження в речовині поздовжніх та поперечних хвиль. Гіляров В. Л. в роботі [1] розкриває кінетичну концепцію міцності матеріалів як хід еволюції, що зумовлена ентропією. В роботі [12] наведено математичну побудову методики розрахунку довговічності роботи речовин на основі ентро-

пійного критерію з числовими прикладами. В роботі [13] розглянуто довговічність твердих тіл під навантаженням, обґрунтовано визначення термінів їх руйнування, виходячи з показників ентропії, в тому числі для пояснення положень кінетичної теорії міцності. Куриленко Г. А. в роботі [9] посилається на поняття ентропії для розробки методу прогнозування циклічної довговічності деталей з наявністю тріщин. Деякі положення, наведені в зазначених публікаціях, було використано для виконання досліджень в рамках цієї роботи.

Під час старіння системи її ентропія постійно збільшується. В первинній постановці задачі зміна ентропії визначається як відношення кількості теплоти (δQ), отриманої або втраченої системою, до величини абсолютної температури (T):

$$\Delta S = \delta Q / T. \quad (2)$$

Показник теплоти, яка оброблена системою, не обов'язково є наслідком безпосередньо її нагріву (охолодження). Всі механічні процеси, у тому числі деформації, супроводжуються виділенням тепла, перш за все як результат роботи сил тертя, включаючи й внутрішнє тертя. Окрім миттєвого руйнування твердих тіл, що є наслідком виникнення напружень за межами міцності, поступове руйнування (накопичення деформацій) відбувається при загальних навантаженнях значно менших за межі міцності. За рахунок гетерогенності будови реальних тіл і інших факторів (для залізничної колії до таких факторів перш за все треба віднести наявність відступів в утриманні, навіть в межах допусків) зовнішнє навантаження розподіляється нерівномірно, що призводить до виникнення локальних перенапружень. Саме в таких місцях будуть відбуватися процеси розриву напружених зв'язків температурними флуктуаціями, що призведе до формування зон розвитку деформацій [13].

Безпосередні дослідження руйнування твердих тіл на рівні структури речовини та перетворень пружних і пластичних деформацій до теплової і інших видів енергії не передбачені в межах цієї роботи. Для вирішення поставленої задачі достатньо визначитись щодо зміни внутрішньої енергії системи за загальновідомим рівнянням:

$$dU = \delta Q - \delta A + \mu dN, \quad (3)$$

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

де δA – робота системи проти дії зовнішніх сил; μdN – зовнішнє додавання речовини у кількості N з потенціалом μ .

Якщо говорити про систему «залізнична колія», то природно розглядати проходження по перерізу колії однієї колісної пари як один такт зміни енергії. Тоді весь життєвий цикл буде складатися з кількості таких тактів.

Слід звернути увагу, що у формулі (3) dU – це зміна енергії (повний диференціал), а δQ і δA – це елементарні (найменші) порції відповідних величин. Тому не зовсім вірно значення останніх ототожнювати з одним тактом. Доцільно переписати рівняння (3) у диференційному вигляді

$$\dot{U} = \dot{Q} - \dot{A}, \quad (4)$$

де точка позначає першу похідну по часу; прийнято, що $\mu dN = \text{const}$.

Тоді, враховуючи формули (2) і (4), збільшення ентропії системи за час проходження однієї колісної пари можна визначити за формулою

$$\Delta S = \frac{1}{T} \int_0^t (\dot{U} + \dot{A}) dt. \quad (5)$$

Це дає змогу навести кількісний показник розриву зв'язків у системі (її старіння) як наслідок виконання механічної роботи

$$W = e^{\frac{S_0}{k} + \frac{n}{kT} \int_0^t (\dot{U} + \dot{A}) dt}, \quad (6)$$

де S_0 – початкова ентропія системи (наявна до початку експлуатації); n – кількість пропущених колісних пар (тактів).

Методика розрахунку інтегралу у формулі (6), перш за все, залежить від інструментів щодо визначення роботи системи. В загальному вигляді робота є скалярним добутком сили на вектор переміщення тіла або системи від дії цієї сили

$$A = \int \vec{F} d\vec{s}. \quad (7)$$

У системі залізничної колії сила, що діє від колеса на рейку, призводить до вигину рейки і стискання шарів підрейкової основи, які мають різні фізичні властивості. Поява напружень і деформацій відбувається не тільки по осі прикладання сили, а має трьохвимірний характер із складними законами розподілу в просторі, що

залежать від багатьох факторів. Навіть для дослідження певного перерізу колії слід враховувати, що прогин в ньому починається ще під час знаходження колеса на деякій відстані. Як правило (за виключенням високих швидкостей руху), колесо завжди знаходиться у зоні вже майже реалізованих деформацій [8].

Визначення роботи сил, спрямованих на деформацію залізничної колії, є складною задачею, детального розв'язання якої, напевно, можна досягнути тільки з застосуванням сучасних математичних моделей. З іншого боку, для вирішення задач порівняння між собою варіантів з різними конструкціями верхньої будови колії або з різними експлуатаційними параметрами, достатньо дотримуватись одноманітності підходу та мати залежність результату саме від того параметра, який відрізняє варіанти.

Тому надалі пропонується під роботою залізничної колії мати на увазі роботу сил, що діють від рейки на опору, і призводить до вертикальної деформації підрейкової основи в перерізі колісної пари.

Розглянемо декілька варіантів. Для переходу від теоретичних передумов до практичної методики розрахунків будемо намагатися замінювати показники, що наразі не порівнюються, числовими значеннями, приймаючи їх відповідно до типових умов експлуатації.

Перший варіант. Роботу від проходження колісної пари можна розрахувати як добуток сили, що діє від рейки на підрейкову основу (Q), на прогин від дії цієї сили (z)

$$A = 2Qz. \quad (8)$$

Прогин рейки як балки, що лежить на рівнопружній основі, визначається за формулою

$$z = Pk/2U, \quad (9)$$

де P – сила, що діє на рейку з урахуванням динамічних добавок; U – модуль пружності підрейкової основи; k – коефіцієнт відносної жорсткості.

Сила, що діє від рейки на опору:

$$Q = \frac{kl}{2} P, \quad (10)$$

де l – відстань між осями підрейкових опор (шпал).

У першому наближенні сила дії від колеса на рейку може бути виражена через масу коліс-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

ної пари. Тоді для практичного розрахунку роботи

$$A = 3,6 \cdot 10^{-4} q^2, \quad (11)$$

де q – навантаження на вісь, т. Значення коефіцієнта, крім іншого, враховує, що результат роботи буде отримано в кН·м.

Навіть такий спрощений підхід вже дає змогу порівняти дію на колію різних потоків поїздів.

Другий варіант. Як розрахункову залишаємо формулу (8). Сила і прогин, які входять до неї, більш точно можуть бути визначені за розрахунками колії на міцність [2, 3]. Це дає змогу врахувати швидкості руху поїздів і деякі характеристики конструкції та стану ділянки колії.

Схожий підхід було використано в роботі [6] для вирішення задачі визначення впливу стану залізничної ділянки і структури поїздопотоків на життєвий цикл колії.

Третій варіант. Робота сил системи може бути визначена як сума робіт її складових частин

$$A = \sum A_i. \quad (12)$$

Розрахунки колії на міцність [2, 3] дають змогу визначати тиск на окремі шари залізничної колії. Тоді для обчислення роботи треба визначати об'ємні розширення шарів від тиску на них. Це потребує виконання досить складних розрахунків з залученням низки додаткових вихідних даних щодо фізичних і геометричних характеристик. Такий підхід суттєво виходить за рамки інженерного розрахунку колії на міцність. Тому пропонується обмежитись визначенням вертикальної деформації шару будови колії, наприклад, за формулою Шлейхера-Бусінеску

$$z = w\sigma\sqrt{\Omega}(1-\mu^2)/E, \quad (13)$$

де σ – напруження на поверхні шару площиною Ω ; E – модуль пружності шару; μ – коефіцієнт Пуассона; w – поправочний коефіцієнт.

Спираючись на формулу (13), під час виконання практичних розрахунків для більшості випадків отримано наступну залежність роботи від напружень

$$A = (0,67\sigma_{ш} + 4,96\sigma_6 + 45,7\sigma_{зп})Q \cdot 10^{-3}, \quad (14)$$

де $\sigma_{ш}$, σ_6 , $\sigma_{зп}$ – напруження на поверхні шпали під підкладкою, на поверхні баласту під шпалою, на основній площадці земляного полотна відповідно в МПа за умови отримання роботи у кН·м.

Такий підхід порівняно з попередніми додає можливість враховувати конструкцію колії. Це дає змогу вирішувати не тільки задачі порівняння різних потоків поїздів, а й враховувати варіанти конструкції залізничної колії.

Четвертий варіант. Усі розглянуті методики визначення роботи сил системи базуються на статичній залежності деформації від сили. В основу розрахунків колії на міцність [3] також покладено припущення миттєвості виникнення в залізничній колії напружень і деформацій, що урівноважують дію прикладеної сили. Для таких випадків інтеграл у формулі (6) вироджується. Для звичайних швидкостей руху такого підходу достатньо. Виключення складас рух поїздів з високими швидкостями, при яких виникає необхідність враховувати динаміку прогину підрейкової основи [8]. Тоді робота буде визначатися через тензор напружень і деформацій

$$\dot{A} = \sum \sigma_{ij} \dot{\epsilon}_{ij}. \quad (15)$$

Для таких розрахунків потрібно залучення відповідних фізико-математичних моделей залізничної колії. Наприклад, модель напружено-деформованого стану залізничної колії на основі хвильової теорії розповсюдження напружень [7, 8].

Виконання числових розрахунків безпосередньо за формулою (6) майже унеможливується збігом великого значення кількості колісних пар – у еквівалентні 800 млн т пропущеного тоннажу n залежно від навантаження на вісь дорівнює декільком мільйонам, та маленького значення постійної Больцмана – $k \approx 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К, що відповідає розриву зв'язку на рівні атомів. Така деталізація зайва. Пропонується оцінювати старіння системи у відсотках, прийнявши, що 100 % відповідають такому стану залізничної колії, коли потрібно виконувати заміну верхньої будови колії (модернізацію або капітальний ремонт [11]).

Тоді, з урахуванням переходу до зручних одиниць виміру, формула (6) набуває вигляду

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

$$\tilde{W} = 100 \left(e^{bn \int_0^t (U_0 + \dot{A}) dt} - 1 \right), \quad (16)$$

де n – кількість мільйонів пропущених колісних пар; b , U_0 – параметри, значення яких було визначено емпірично за опрацюванням складу поїздопотоків на магістральних напрямках України. Враховуючи те, що потік поїздів на ділянці буде складатися з різних категорій, формула (16) набуває вигляду

$$\tilde{W} = 100 \left(e^{0,066 \sum n_k (0,116 + A_k)} - 1 \right), \quad (17)$$

де n_k – кількість мільйонів пропущених колісних пар для k -ї категорії поїздів; A_k – робота,

яку виконує залізнична колія при проходженні колісної пари k -ї категорії поїзда.

Кількість колісних пар можна визначити за формулою

$$n_k = \frac{365 \cdot 10^{-6} N_k Q_k T_p}{q_k}, \quad (18)$$

де N_k , q_k , Q_k – кількість за добу, навантаження на вісь і маса відповідно у тоннах поїздів k -ї категорії; T_p – час експлуатації ділянки в роках.

Результати

Для можливості практичного застосування запропоновані вище формули з прийнятими числовими коефіцієнтами зведено до табл. 1.

Таблиця 1

Розрахункові формули оцінки строків накопичення деформацій залізничної колії

Table 1

The calculation formulas of estimating the accumulation of deformations of railroad tracks

Варіант	Розрахункові формули		Фактори, що враховано	Примітка
	Робота колії від проходження колісної пари A , кН·м	Вичерпання ресурсу залізничної колії $\tilde{W}$, %		
A	$A = 3,6 \cdot 10^{-4} q^2$	$\tilde{W} = 100 \left(e^{0,066 \sum n_k (0,116 + A_k)} - 1 \right),$	Осьове навантаження	Потрібно виконання розрахунків колії на міцність
B	$A = 2Qz$	$n_k = \frac{365 \cdot 10^{-6} N_k Q_k T_p}{q_k}$	Структура (маса, кількість та швидкість) потоку поїздів	
C	$A = (0,67\sigma_{ш} + 4,96\sigma_6 + 45,7\sigma_{3л}) \times Q \cdot 10^{-3}$		Структура потоку поїздів, конструкційний склад колії	Потрібно використання моделі залізничної колії, що враховує динаміку прогину підрейкової основи
D	$\dot{A} = \sum \sigma_{ij} \dot{\epsilon}_{ij}$	$\tilde{W} = 100 \left(e^{0,066 \sum n_k \int_0^t (0,116 + \dot{A}_k) dt} - 1 \right)$	Детальне врахування конструкції колії, високі швидкості руху	

Результатом наведених розрахунків буде вичерпання ресурсу залізничної колії на розрахунковий час, виражене у відсотках. При переході до формули з визначеними числовими параметрами (ф. (17)) за 100 % прийнято строк,

який відповідає пропуску 800 млн т бруто на ділянці, яка за вантажонапруженістю відноситься до I-ї категорії [11]. Прийнято, що весь час експлуатації стан колії відповідає встановленим нормам [14], у тому числі не потребує

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

обмежень швидкості руху, що досягається своєчасним виконанням робіт з поточного утримання та проміжних ремонтів. Тому порівнюючи варіанти, які в однаковий строк експлуатації, встановлений за пропущеним тоннажем, мають за наведеною методикою різну оцінку, перш за все можна робити висновок щодо різниці у витратах, які вони будуть потребувати на поточне утримання.

Для детального врахування впливу на життєвий цикл залізничної колії витрат на роботи в міжремонтний термін запропонована методика може бути розширена відмовленням від припущення, що $\mu dN = \text{const}$, яке було прийнято для формули (3). Тоді через цей вираз буде враховано відновлення системи через залучення зовнішньої дії (виправлення геометрії) або введення до неї нових частин речовини (часткова заміна елементів верхньої будови колії, що вийшли з ладу).

Розглянемо числовий приклад. Прийнемо такий потік поїздів за добу: 30 пасажирських масою 1000 т з навантаженням 15 т/вісь, 40 вантажних масою 4000 т з навантаженням 21,5 т/вісь. Така ділянка буде відноситись до І-ї категорії [11] – вантажонапруженість складе приблизно 70 млн т км бруто на км за рік. Відповідно до положення про виконання планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт [11] строк експлуатації ділянки (між модернізаціями) буде призначено після пропуску 800 млн т бруто, що, відповідно до вантажонапруженості, відбудеться через 11,5 років.

Розрахунки щодо оцінки строків експлуатації залізничної ділянки виконано для декількох варіантів вихідних даних, які наведено у табл. 2.

Результати розрахунків у вигляді залежності вичерпання ресурсу від часу експлуатації, який може бути виражений через роки або пропущений тоннаж, зображено на рис. 2.

Виходячи з аналізу результатів, наведених на рис. 2, можна порівняти вплив на процес накопичення деформацій характеристик поїздопоток (показано на прикладі різних швидкостей руху – варіанти розрахунків «2» і «3») та параметрів конструкції колії (показано на прикладі різної товщини баластного шару – варіанти розрахунків «4» і «5»). Ще раз підкреслимо, що різницю у строках отримано за умови однакового міжремонтного утримання ділянки

у всіх розглянутих випадках. Тому для практичного використання доцільно говорити про тотожний висновок – зміну у витратах на міжремонтне утримання при призначенні модернізації у однаковий термін за пропущеним тоннажем.

Таблиця 2

Варіанти розрахунків

Table 2

Variants of calculations

Номер розрахунку	Варіант розрахункових формул	Змінні параметри
1	А	
2	В	$V_{\text{пас}} = 120$ км/год; $V_{\text{вант}} = 40$ км/год
3		$V_{\text{пас}} = 160$ км/год; $V_{\text{вант}} = 80$ км/год
4	С	$V_{\text{пас}} = 160$ км/год; $V_{\text{вант}} = 80$ км/год; $h_{\text{б}} = 60$ см
5		$V_{\text{пас}} = 160$ км/год; $V_{\text{вант}} = 80$ км/год; $h_{\text{б}} = 40$ см

Примітка. $V_{\text{пас}}$, $V_{\text{вант}}$ – швидкості руху пасажирських і вантажних поїздів відповідно; $h_{\text{б}}$ – товщина баластного шару.

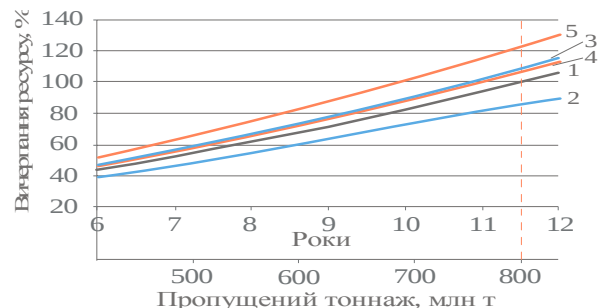


Рис. 2. Вичерпання ресурсу залежно від часу експлуатації: 1–5 – номери розрахунків за табл. 2.

Fig. 2. Exhaustion of resources based on operational time: 1–5 – numbers of settlements on the table 2.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Наукова новизна та практична значимість

Вперше для моделювання накопичення деформацій залізничної колії використано такий показник, як ентропія системи. Це дало змогу розробити методику оцінки строків життєвого циклу експлуатації залізничної колії з урахуванням таких факторів, як структура поїздопотоків, конструкція верхньої будови колії, рух поїздів з високими швидкостями.

Висновки

Виконано теоретичні дослідження та отримано аналітичну методику для моделювання процесу накопичення деформацій залізничної колії на основі ентропії системи. Використання ентропії дало змогу навести старіння залізничної колії в міжремонтний період як випадковий процес накопичення деформацій в результаті реакції на зовнішнє навантаження, виражене через показники механічної роботи.

Термін служби залізничної колії залежить не тільки безпосередньо від пропущеного вантажу, а й від динамічного характеру навантаження та пружно-жорсткісних показників залізничної колії. Врахування таких показників дає змогу порівнювати варіанти з різними параметрами поїздопотоків, різними встановленими швидкостями руху, характеристиками конструкції колії тощо.

Розгорнуті аналітичні залежності доведено до практичної методики, що дає змогу виконувати порівняння варіантів, обмежуючи розрахунки до залежностей, необхідних для врахування параметрів, за якими вони відрізняються.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гиляров, В. Л. Кинетическая концепция прочности и самоорганизованная критичность в процессе разрушения материалов / В. Л. Гиляров // Физика твердого тела. – 2005. – Т. 47. – Вып. 5. – С. 808–811.
2. Даніленко, Е. І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом : підруч. для вищ. навч. закл. : у 2 т. / Е. І. Даніленко. – Київ : Інпрес, 2010. – Т. 2. – 456 с.
3. Даніленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість : ЦП-0117 / Е. І. Даніленко, В. В. Рибкін. – Київ : Транспорт України, 2004. – 64 с.
4. Коновалов, А. А. Энтропия, деформация, теплоемкость и жизненный цикл [Электронный ресурс] / А. А. Коновалов. – Режим доступа: <http://trinitas.ru/rus/doc/0016/001c/1840-kon.pdf>. – 2012. – Назва з екрана. – Перевірено : 12.06.2015.
5. Курган, Д. М. Визначення раціонального розподілу поїздопотоків на мережі залізниць / Д. М. Курган, М. А. Заяц // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 34. – С. 88–93.
6. Курган, Д. М. Вплив стану залізничної ділянки і структури поїздопотоків на життєвий цикл колії / Д. М. Курган, І. О. Бондаренко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 19. – С. 67–77.
7. Курган, Д. Н. Модель напряженно-деформированного состояния железнодорожного пути на основе волновой теории распространения напряжений / Д. Н. Курган, И. О. Бондаренко // Problemy Kolejnictwa. – 2013. – Вип. 159. – С. 99–111.
8. Курган, Д. М. Особливості сприйняття навантаження елементами залізничної колії при високих швидкостях руху / Д. М. Курган // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2015. – № 2 (56). – С. 136–145. doi: 10.15802/stp2015/42172.
9. Куриленко, Г. А. Прогнозирование циклического ресурса деталей с макротрещинами термографическим методом / Г. А. Куриленко // Изв. Томск. техн. ун-та. – 2012. – Т. 321, № 2. – С. 36–39.
10. 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. 2–29.
11. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України : ЦП-0287 / А. Бабенко, Г. Линник, К. Мойсєєнко [та ін.]. – Київ, 2015. – 45 с.
12. Расчёт долговечности упруго-наследственных сред при длительном циклическом нагружении / В. И. Дырда, С. П. Сокол, Е. В. Калганков [и др.] // Геотехнічна механіка. – 2013. – № 108. – С. 111–122.
13. Регель, В. Р. Кинетическая природа прочности твердых тел / В. Р. Регель, А. И. Слуцкер, Э. Е. Томашевский // Успехи физ. наук. – 1972. – Т. 106. – Вип. 2. – С. 193–228.
14. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

- при відступах від норм утримання рейкової колії : ЦП-0267 / О. М. Патласов, В. В. Рибкін, Ю. В. Палейчук [та ін.]. – Київ, 2012. – 25 с.
15. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Електронний ресурс] : затв. розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 жовт. 2010 р. № 2174-р. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80>. – Назва з екрана. – Перевірено : 12.06.2015.
 16. Fischer, S. Superstructure Stabilization of Ballast Bedded Railway Tracks with Geogrids / S. Fischer, F. Horvát // *Hungarian J. of Industry and Chemistry*. – 2011. – Vol. 39, № 1. – P. 101–106.
 17. 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, S. Fischer, Z. Major // *Acta Technica Jaurinensis*. – 2013. – Vol. 6, № 2. – P. 21–44.
 18. Jiang, H. C. Identifying topological order by entanglement entropy / H. C. Jiang, Z. Wang, L. Balents // *Nature Physics*. – 2012. – Vol. 8. – Iss. 12. – P. 902–905. doi: 10.1038/nphys2465.
 19. Maximum entropy fracture model and its use for predicting cyclic hysteresis in Sn3. 8Ag0. 7Cu and Sn3. 0Ag0. 5 solder alloys / J. P. Tucker, D. K. Chan, G. Subbarayan, C. A. Handwerker // *Microelectronics Reliability*. – 2014. – Vol. 54 (11). – P. 2513–2522. doi: 10.1016/j.microrel.2014.04.012.
 20. Thermodynamical property of entanglement entropy for excited states. / J. Bhattacharya, M. Nozaki, T. Takayanagi, T. Ugajin // *Physical review letters*. – 2013. – Vol. 110. – Iss. 9. – P. 091602. doi: 10.1103/PhysRevLett.110.091602.

Д. Н. КУРГАН^{1*}

^{1*}Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс. +38 (056) 373 15 42, эл. почта kurgan@brailsys.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ НА ОСНОВЕ ЭНТРОПИИ СИСТЕМЫ

Цель. В работе предусмотрено проведение теоретических исследований возможности использования методов, которые определяют срок эксплуатации железнодорожного пути не только по показателям общего объема нагрузок, а и учитывают его структуру и динамические характеристики. Цель таких исследований – создание модели накопления деформаций для оценки сроков эксплуатации железнодорожного пути с учетом указанных особенностей. **Методика.** Для моделирования процесса постепенного изменения состояния за время эксплуатации (накопление деформаций) железнодорожный путь представлен как система, которая состоит из множества частиц разных материалов, собранных в цельную конструкцию. Уместно говорить не о появлении деформаций какого-то определенного размера в определенном сечении пути, а о вероятности такого события на участке. Если оперировать вероятностью появления отклонений, состояние системы удобно характеризовать количеством разрывов условных внутренних связей. Одинаковому состоянию системы могут соответствовать разные комбинации разрывов. Чем больше количество разрывов, тем больше количество вариантов изменения структуры системы, которые соответствуют ее текущему состоянию. Такой процесс можно представить как постепенный переход от упорядоченного состояния до хаотичного. Для описания приведенной характеристики системы используется такой численный показатель, как энтропия. **Результаты.** При старении системы ее энтропия постоянно увеличивается. Рост энтропии выражается изменениями внутренней энергии системы, определяемыми с использованием механической работы сил, действие которых приводит к деформациям. Это дает возможность определить количественный показатель разрыва связей в системе как последствие выполнения механической работы. По результатам теоретических исследований разработана методика оценки сроков жизненного цикла эксплуатации железнодорожного пути с учетом таких факторов, как: структура поездопотока, конструкция верхнего строения пути, движение поездов с высокими скоростями. **Научная новизна.** Впервые для моделирования накопления деформаций железнодорожного пути применен такой показатель как энтропия системы. **Практическая значимость.** Развернутые аналитические зависимости доведены до практической методики, что дает возможность анализировать участки пути с разными конструкциями или с разными условиями эксплуатации по срокам накопления деформаций.

Ключевые слова: энтропия; верхнее строение пути; остаточные деформации; расчет пути на прочность; напряжения в пути; срок службы пути

D. M. KURHAN^{1*}

^{1*}Dep. «Railway and Railways 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

ACCUMULATED DEFORMATION MODELING OF PERMANENT WAY BASED ON ENTROPY SYSTEM

Purpose. The work provides a theoretical research about the possibility of using methods that determine the life-time of a railway track not only in terms of total stresses, and accounting its structure and dynamic characteristics. The aim of these studies is creation the model of deformations accumulation for assessment of service life of a railway track taking into account these features. **Methodology.** To simulate a gradual change state during the operation (accumulation of deformations) the railway track is presented as a system that consists of many particles of different materials collected in a coherent design. It is appropriate to speak not about the appearance of deformations of a certain size in a certain section of the track, and the probability of such event on the site. If to operate the probability of occurrence of deviations, comfortable state of the system is characterized by the number of breaks of the conditional internal connections. The same state of the system may correspond to different combinations of breaks. The more breaks, the more the number of options changes in the structure of the system appropriate to its current state. Such a process can be represented as a gradual transition from an ordered state to a chaotic one. To describe the characteristics of the system used the numerical value of the entropy. **Findings.** Its entropy is constantly increasing at system aging. The growth of entropy is expressed by changes in the internal energy of the system, which can be determined using mechanical work forces, which leads to deformation. This gives the opportunity to show quantitative indication of breaking the bonds in the system as a consequence of performing mechanical work. According to the results of theoretical research methods for estimation of the timing of life cycles of railway operation considering such factors as the structure of the flow of trains, construction of the permanent way, the movement of trains at high speeds was developed. **Originality.** For the first time to simulate the accumulation of deformations of railway tracks this figure as the entropy of the system was used. **Practical value.** Analytic dependences have been brought to practical techniques that make it possible to analyze the track sections with different designs or with different operating conditions in terms of deformation accumulation.

Keywords: entropy; permanent way; residual deformations; railways calculation for strength; tension in a railway; working life of permanent way

REFERENCES

1. Gilyarov V.L. Kineticheskaya kontseptsiya prochnosti i samoorganizovannaya kritichnost v protsesse razrusheniya materialov [Kinetic concept of strength and self-organized criticality in the process of destruction of materials]. *Fizika tverdogo tela – Physics of Solids*, 2005, vol. 47, issue 5, pp. 808-811.
2. Danilenko E.I. *Zaliznychna koliia. Ulashtuvannia, proektuvannia i rozrakhunky, vzaïmodiia z rukhomym skladom* [Railroad. Arrangement and design calculations, interaction with rolling stock]. Kyiv, Inpres Publ., 2010, vol. 2, 456 p.
3. Danilenko E.I., Rybkin V.V. *Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist i stiikist. TsP-0117* [The terms of payment of railway track for strength and stability. TsP-0117]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2004. 64 p.
4. Kononov A.A. *Entropiya, deformatsiya, teploemkost i zhiznennyi tsikl* [Entropy, deformation, heat capacity and life cycle]. Available at: <http://trinitas.ru/rus/doc/0016/001c/1840-kon.pdf>, 2012 (Accessed 12 June 2015).
5. Kurhan D.M., Zaiats M.A. Vyznachennia ratsionalnoho rozpodilu poizdopotokiv na merezhi zaliznyts [The definition of rational allocation of train-flows on the rail network]. *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. 88-93.
6. Kurhan D.M., Bondarenko I.O. Vplyv stanu zaliznychnoi dilianky i struktury poizdopotoku na zhyttievyy tsykl kolii [The influence of the railway plot state and structure of the train flow in the life cycle of a track] *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 19, pp. 67-77.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

7. Kurhan D.M., Bondarenko I.O. Model napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zheleznodorozhnogo puti na osnove volnovoy teorii rasprostraneniya napryazheniy [Model the stress-strain state of railway track based on the wave propagation theory stresses]. *Problemy Kolejnictwa*, 2013, issue 159, pp. 99-111.
8. Kurhan D.M. Osoblyvosti spryiniattia navantazhennia elementamy zaliznychnoi kolii pry vysokykh shvydkostiakh rukhu [Features of perception of loading elements of the railway track at high speeds of the movement]. *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. 13-145. doi: 10.15802/stp2015/42172.
9. Kurilenko G.A. Prognozirovaniye tsiklicheskogo resursa detaley s makrotreshchinami termograficheskim metodom [Prediction of cyclic life of parts with cracks thermographic method]. *Izvestiya Tomskogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk Technical University], 2012, vol. 321, no. 2, pp. 36-39.
10. Zheleznov M.M., Pevzner V.O., Solovov V.P., Nadezhin S.S. Nauchnye osnovy modelirovaniya vzaimod-eystviya puti i podvizhnogo sostava v sovremennykh usloviyakh ekspluatatsii [The scientific basis of modeling the interaction of the track and rolling stock in modern conditions]. *Bulleten Obedinennogo uchenogo soveta OAO «RZhD»* [Bulletin of the United Scientific Council of JSC «Russian Railways»], 2014, no. 4, pp. 2-29.
11. Babenko A., Lynnyk H., Moiseienko K., Patlasov O., Yakovlev V. *Polozhennia pro provedennia planovo-zapobiznykh remontno-koliinykh robot na zaliznytsiakh Ukrainy. TsP-0287* [Statutes of scheduled preventive maintenance repair and track work on the Railways of Ukraine. TsP-0287]. Kyiv, 2015. 45 p.
12. Dyrda V.I., Sokol S.P., Kalgankov Ye.V., Kolbasin V.A., Tolstenko A.V. Raschet dolgovechnosti uprugonasledstvennykh sred pri dlitelnom tsiklicheskom nagruzhennii [The service life of elastic-hereditary environments with long-term cyclic loading]. *Heotekhnichna mekhanika – Geotechnical mechanics*, 2013, no. 108, pp. 111-122.
13. Regel V.R., Slutsker A.I., Tomashevskiy E.Ye. Kineticheskaya priroda prochnosti tverdykh tel [The kinetic nature of strength solids]. *Uspekhi fizicheskikh nauk – Advances in Physical Sciences*, 1972, vol. 106, issue 2, pp. 193-228.
14. Patlasov O.M., Rybkin V.V., Paleichuk Yu.V., Solomakha S.O., Panchenko P.V. *Tekhnichni vkazivky shchodo otsinky stanu reikovoï kolii za pokaznykamy koliievymiriuvalnykh vahoniv ta zabezpechennia bezpeky rukhu poizdiv pry vidstupakh vid norm utrymannia reikovoï kolii. TsP-0267* [Technical guidance on the assessment of the condition of a rail track on track indicators of measuring cares and ensure the safe movement of trains with departures from the norms of the track. TsP-0267]. Kyiv, 2012. 25 p.
15. *Transportna stratehiia Ukrainy na period do 2020 roku* [The transport strategy of Ukraine for the period till 2020]. Available at: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80> (Accessed 12 June 2015).
16. Fischer S., Horvát F. Superstructure Stabilization of Ballast Bedded Railway Tracks with Geogrids. *Hungarian Journal of Industry and Chemistry*, 2011, vol. 39, no. 1, pp. 101-106.
17. Horvát F., Fischer S., 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, vol. 6, no. 2, pp. 21-44.
18. Jiang H.C., Wang Z., Balents L. Identifying topological order by entanglement entropy. *Nature Physics*, 2012, vol. 8, pp. 902-905.
19. Tucker J.P., Chan D.K., Subbarayan G., Handwerker C.A. Maximum entropy fracture model and its use for predicting cyclic hysteresis in Sn3. 8Ag0. 7Cu and Sn3. 0Ag0. 5 solder alloys. *Microelectronics Reliability*, 2014, vol. 54 (11), pp. 2513-2522. doi: 10.1016/j.microrel.2014.04.012.
20. Bhattacharya J., Nozaki M., Takayanagi T., Ugajin T. Thermodynamical property of entanglement entropy for excited states. *Physical review letters*, 2013, vol. 110 (9), pp. 091602. doi: 10.1103/PhysRevLett.110.091602.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Україна); д.т.н., проф. Д. В. Лаухінім (Україна)

Надійшла до редколегії 13.05.2015

Прийнята до друку 01.07.2015

УДК 625.143.543

М. П. НАСТЕЧИК¹, Р. В. МАРКУЛЬ^{2*}, В. В. САВИЦЬКИЙ³¹Каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, ел. пошта nastechik_mp@mail.ru, ORCID 0000-0002-4178-6092^{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 31, ел. пошта guaranga_mr@mail.ru, ORCID 0000-0002-7630-8963³Каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, ел. пошта savitskyi@mai.ru, ORCID 0000-0002-9460-3915**ВПЛИВ ПРУЖНИХ ДЕФОРМАЦІЙ В ЕЛЕМЕНТАХ СКРІПЛЕННЯ
ТИПУ КПП-5 НА ВЕЛИЧИНУ СИЛИ ПРИТИСКАННЯ РЕЙКИ
ДО ПІДРЕЙКОВОЇ ОСНОВИ**

Мета. Залізничний транспорт є одним із найважливіших ланок економіки України та основою її транспортної системи. Враховуючи те, що більшість вантажних перевезень вугільної та металургійної промисловості виконується залізничним транспортом, ефективне його використання є необхідною умовою стабілізації і розвитку економіки України. Однією з стратегічних робіт, пов'язаних із впровадженням швидкісного руху поїздів в Україні, являється забезпечення надійної роботи вузла проміжного рейкового кріплення під час експлуатації. Саме на колійні роботи з утримання й ремонту скріплень припадає значна доля трудових витрат під час експлуатації колії. Одним із вітчизняних проміжних скріплень, яке після довготривалих експлуатаційних спостережень впровадилось у постійну експлуатацію, є скріплення типу КПП-5. Дане скріплення – це прототип польського рейкового скріплення типу SB-3. Після тривалої експлуатації в скріпленні типу КПП-5 виявлено ряд недоліків, пов'язаних із передчасною відмовою його елементів, що в основному стосується інтенсивного зменшення величини сили притискання рейки до підрейкової основи. Метою дослідження є розробка методики та практичних засобів контролю за станом роботи вузла рейкового скріплення типу КПП-5 під час експлуатації. **Методика.** В основі методики проведення досліджень лежить оцінка впливу різних факторів на величину сили притискання рейки до підрейкової основи у вузлі рейкового скріплення типу КПП-5 під час експлуатації. **Результати.** За допомогою розробленої методики та практичних засобів контролю було встановлено, що загальне передбачуване зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи протягом $T = 0 - 800$ млн. т. бр. із врахуванням впливу різних факторів може досягати $P_T = 4,93$ кН. **Наукова новизна.** Авторами за результатами досліджень вперше був описаний та виражений емпіричною залежністю процес зміни сили притискання рейки до підрейкової основи у скріпленні типу КПП-5 від пропущеного тоннажу T , млн. т. бр. **Практична значимість.** Розроблена конструкція пристрою для контролю пружних властивостей та числової оцінки зниження сили притискання клеми до рейки в залежності від пропущеного тоннажу.

Ключові слова: проміжне скріплення типу КПП-5; пружна клема; жорсткість; сила притискання

Вступ

Як відомо, опір поздовжньому переміщенню рейки, в основному залежить від стабільного забезпечення сили притискання рейки до підрейкової основи клемою КПП-5 протягом всього міжремонтного терміну, а також від матеріалу і якості підрейкових амортизуючих прокладок. Згідно з полігонними випробуваннями на експериментальному кільці ВНИИЖТа [4] було

доведено, що недоліком всіх безболтових безпідкладочних скріплень є невисока їх надійність на сприйняття бокових сил від рейки, особливо в кривих ділянках колії радіусом менше 600 м. Результатом цього є інтенсивне зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи. Одночасно з цим підрейкова прокладка не достатньо чинить опір поперечному і поздовжньому зміщенню рейки, що призводить до появи угону колії [4, 5, 13]. Збільшу-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

ється бокова жорсткість вузла скріплення, що призводить до пошкодження полімерного вкладиша типу ВІП, відбувається знос анкерів шпал та пошкоджується тіло залізобетонної шпал в місці примикання з шапкою монолітного анкера.

На сьогодні елементи скріплення типу КПП-5 згідно з [11] ремонту не підлягають і замінюються на нові. Отже, існує проблема, що пов'язана з відсутністю методики та засобів контролю за роботою вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, а саме контроль за роботою окремих елементів, оскільки вони визначають надійність роботи вузла скріплення в цілому.

З урахуванням вище вказаних недоліків у роботі рейкового скріплення типу КПП-5 кафедрою «Колія та колійне господарство» ДНУ-ЗТу у 2014 році розроблена конструкція колійного пристрою, призначеного для визначення пружних властивостей клеми КПП-5 та її сили притискання до рейки під час експлуатації в колії.

Мета

Метою статті є розробка методики та практичних засобів контролю за станом роботи вузла рейкового скріплення типу КПП-5 під час експлуатації.

Методика

З метою підвищення працездатності конструкції проміжних рейкових скріплень типу КПП-5 у 2014 році виконані дослідження роботи пружних клем, що супроводжувались встановленням залежності між робочим ходом клеми при різних приростах навантаження (P , кН).

Для встановлення залежності між пружним ходом клеми при різних зусиллях притискання рейки під час експерименту було досліджено клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 із найбільш імовірними діаметрами прутка – 16 мм, 16,5 мм та 17 мм, що було отримано під час замірів. Для того, щоб забезпечити точність результатів, пов'язаних із примусовими вертикальними деформаціями клеми під час її монтажу, клема вмонтовувалась в пази нерухомої основи без сформованих елементів у вузлі скріплення, що зображено на рис. 1.

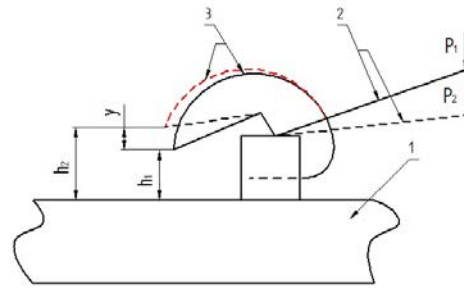


Рис. 1. Експериментальна схема для встановлення залежності між пружним ходом клеми та силою притискання:
1 – нерухома основа (опора); 2 – пристрій;
3 – пружна клема

Fig. 1. Experimental chart for establishment of dependence between resilient motion of terminal and by pressing force:
1 – fixed basis (support); 2 – the device;
3 – an elastic terminal

Експеримент виконувався при різних приростах навантаження (2,5; 3,75; 4,0; 5,0; 6,25; 7,5; 8,0; 8,75; 10,0) в кН, що прикладались до пристрою, який призначається для контролю сили притискання клеми до рейки. Після прикладання кожного зусилля до конструкції пристрою (2) одночасно замірялись зазори h_1 та h_2 , мм між крайньою консоллю клеми (3) та тілом нерухомої основи (1). Якісна оцінка зміни пружного ходу клеми (y , мм), що виникає при різних приростах навантаження, наведена на рис. 2.

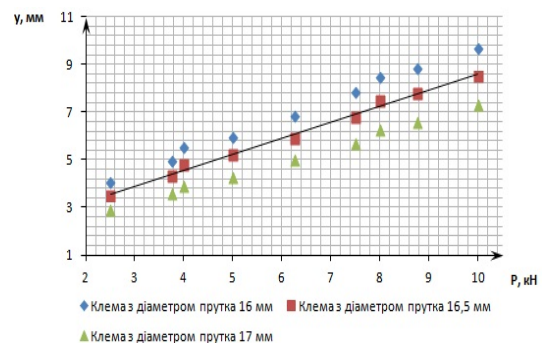


Рис. 2. Апроксимація результатів величини пружного ходу клеми (y , мм) залежно від приросту навантаження (P , кН)

Fig. 2. Results approximation of the elastic stroke of terminals (y , mm) depending on load growth (P , kN)

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Результати спостережень залежності пружного ходу клеми (y , мм) від приросту навантаження, які зображені як пара координат – « x » та « y » (рис. 2) було апроксимовано з метою знаходження математичного рівняння, яке б описувало ті ж самі значення « x » відносно « y ».

Із рис. 2 можна побачити, що характер зміни пружного ходу клеми (y , мм) залежно від приросту навантаження носить лінійний характер та може описуватись функцією:

$$y = ax + b, \quad (1)$$

де « a » та « b » – постійні параметри.

Параметри апроксимуючої функції (1) за методом найменших квадратів [7] можна описати такою системою рівнянь:

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i y_i; \\ a \sum_{i=1}^n x_i + nb = \sum_{i=1}^n y_i, \end{cases} \quad (2)$$

де n – кількість виміряних точок; x_i та y_i – виміряні координати i -ої точки.

Розв'язавши систему рівнянь (2), отримаємо значення параметрів « a » та « b ». Таким чином, рівняння прямої, яка апроксимує отримані експериментальні дані, є:

$$y = 0,672x + 1,8706. \quad (3)$$

За результатами апроксимування на рис. 2 можна побачити, що залежність між навантаженням та пружним ходом носика клеми – лінійна. Отже підтверджується, що згідно з [3, 8, 10, 12] пружна клема працює в пружній стадії.

Для залізниць в країнах СНД пружні клеми повинні забезпечувати нормативне монтажне притискання клеми до підшви рейки в діапазоні 8–12,5 кН згідно з [8]. В свою чергу, нормативна сила притискання клеми до підшви рейки в основному залежить від її жорсткісної характеристики, що може бути визначена з виразу:

$$J_K = \frac{P_K}{y}, \quad (4)$$

де P_K – монтажна сила притискання, кН; y – деформація (пружний хід) клеми, мм.

Відповідно до [8] для подальших розрахунків за основу в дослідженнях було взято середнє значення нормативного монтажного притискання клеми до підшви рейки, що складає – 10 кН. Згідно з цим по експериментальних дослідженнях, що зображені на рис. 2, було визначено значення вертикальної жорсткості J_K досліджуваних клем із діаметром прутка 16, 16,5 та 17 мм відповідно. Результати досліджень наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Значення вертикальної жорсткості нових клем рейкового скріплення типу КПП-5

Vertical stiffness value of a new terminal in the rail fastening, type КПП-5

Table 1

№ з/п клеми	Тип скр.	Діаметр прутка клеми (d), мм	Пружний хід клеми (y), мм	Жорсткість клеми (J_K), кН/мм
1	КПП-5	16,0	9,7	1,031
2		16,5	8,5	1,176
3		17,0	7,3	1,370

Згідно з табл. 1 встановлено, що середнє значення жорсткості та пружного ходу нової клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 до експлуатації становить відповідно $J_K = 1,192$ кН/мм, та $y = 8,5$ мм, що входить в діапазон допусків згідно з дослідженнями [8, 9].

Дослідження впливу різних факторів на величину розмикання силового ланцюжка – «рейка-клема-прокладка». Значення пружного ходу клеми рейкового скріплення типу КПП-5 носить випадковий характер [10], що також залежить від відстані розташування осі отвору анкера відносно підрейкової площадки залізобетонної шпали після замонолічення його в шпалу. Схема замірів центрування осей отвору монолітного анкера відносно підрейкової основи шпали типу СБЗ-0, зображена на рис. 3.

Проаналізувавши отримані дані, було встановлено, що вірогідна оцінка очікуваного значення величини ходу клеми під час її монтажу в робоче положення коливається в межах $\delta = 11$ –15 мм, середнє значення якого становить

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

$\delta_{сер} = 13$ мм. При цьому вірогідна оцінка очікуваного значення величини сили притискання відповідно до діапазону значень δ , мм, становитиме $P_r = 13,58–19,57$ кН. Середнє значення монтажної сили притискання клеюю рейки до підрейкової основи становитиме $P_T^{сер} = 16,56$ кН.

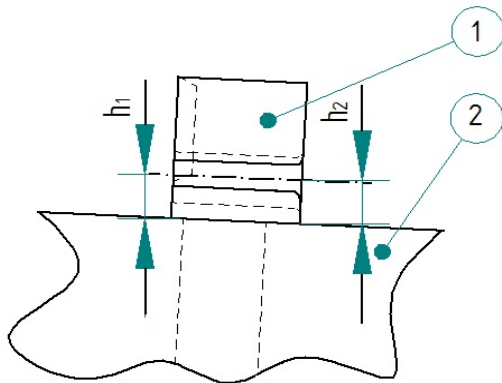


Рис. 3. Схема промірів центрування осі отвору анкера відносно підрейкової площадки залізобетонної шпали:
1 – анкер; 2 – залізобетонна шпала типу СБЗ-0

Fig. 3. Measurements scheme of a centre line in a anchor hole in relation to the rail seat of concrete sleepers:

1 – anchor; 2 – concrete sleeper, type СБЗ-0

Для більш детальної оцінки стабільності роботи силового ланцюжка «рейка–клема–прокладка», у 2014 році кафедрою «Колія та колійне господарство» ДНУЗТу були виконані експериментальні полігонні дослідження по визначенню сили притискання клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 до рейки під час експлуатації. Дослідження виконувались на ділянках з пропущеним тоннажем: 147, 160, 173, 185, 277,9 та 447,3 млн т бр. Методика даних досліджень ґрунтувалась у досліджуванні пружних деформацій клем рейкового скріплення типу КПП-5 під час експлуатації.

Експериментально отримані номінальні середні значення величини пружної деформації, жорсткості клеми та її сили притискання до рейки при одночасно зношених прокладках на ділянках колії із різним пропущеним тоннажем зображені на рис. 4–6 відповідно.

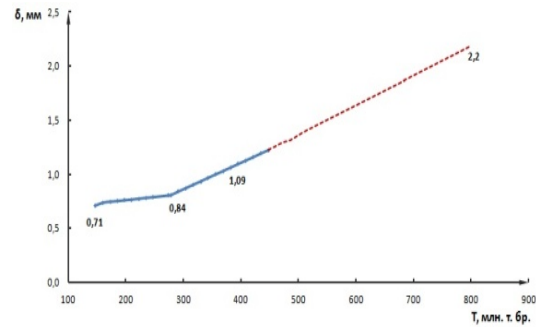


Рис. 4. Залежність пружної деформації клеми (δ , мм) при експлуатації відносно пропущеного тоннажу (T , млн т бр.)

Fig. 4. The dependence of the elastic deformation of the terminal (δ , mm) at exploitation in relation to the skipped tonnage (T , mill. tons gross)

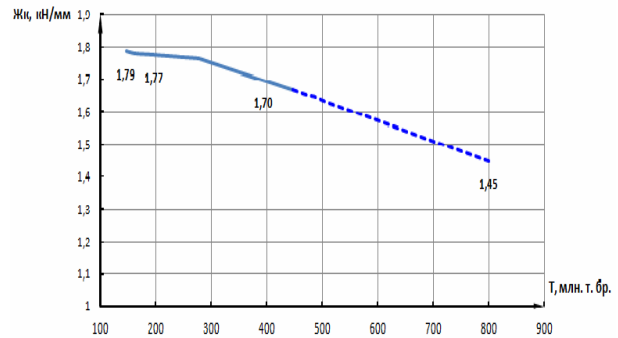


Рис. 5. Зміна жорсткості клеми при експлуатації відносно пропущеного тоннажу (T , млн т бр.)

Fig. 5. Inflexibility change of the terminal at exploitation in relation to the skipped tonnage (T , mill. tons gross)

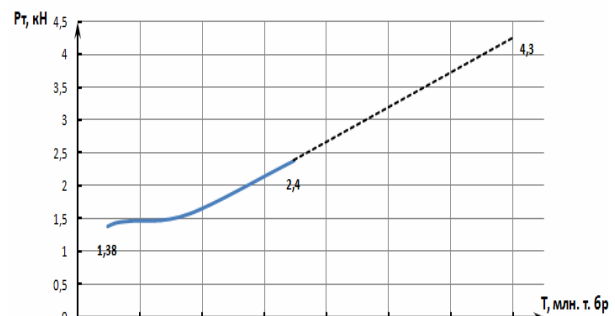


Рис. 6. Зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи залежно від релаксації клеми

Fig. 6. Decrease the pressing force of the rail to the rail base depending on terminal relaxation

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Емпірично було встановлено, що зменшення сили притискання клеми до рейки залежно від пропущеного тоннажу можна описати за такою залежністю:

$$P_T = P_0 - \beta T, \quad (5)$$

де P_T – сила притискання клеми до рейки після пропуску T , млн т бр.; P_0 – монтажна сила притискання клеми до рейки в початковий момент експлуатації; β – середня інтенсивність зниження сили притискання клеми.

Скориставшись виразом (5) та знаючи значення монтажної сили притискання клеми до рейки (P_0 , кН) та сили (P_T , кН) після певного пропущеного тоннажу згідно із рис. 5, можна визначити середню інтенсивність зменшення сили притискання клеми (β) на 1 млн т бр., що зображено на рис. 7.

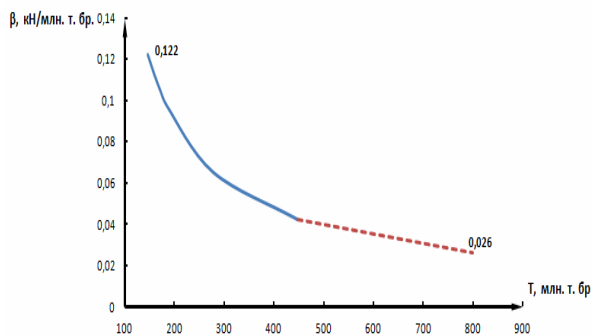


Рис. 7. Інтенсивність зменшення сили притискання клеми залежно від пропущеного тоннажу

Fig. 7. Intensity of decrease the pressing force of the terminal depending on the skipped tonnage

Для більш детальної оцінки силової роботи пружних клем були виконані дослідження по визначенню пружної деформації клеми в залежності від технологічного процесу – «монтаж-демонтаж».

Експериментально отримані середні значення зміни пружної деформації крайньої консолі (носіка) клеми залежно від багато-циклового виконання – «монтаж-демонтаж» зображені графічно на рис. 8.

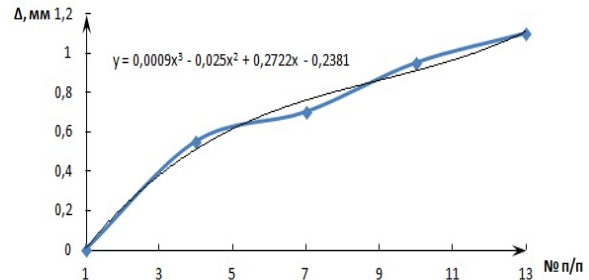


Рис. 8. Зміна пружної деформації клеми від виконання процесу – «монтаж-демонтаж»

Fig. 8. Elastic deformation change of the terminal from execution process – «assembly-disassembly»

Результати спостережень залежності величини пружної деформації від виконання – «монтаж-демонтаж» було апроксимовано (рис. 8). Характер зміни величини пружної деформації крайньої консолі (носіка) клеми носить нелінійний характер, що описується виразом:

$$y = 0,0009x^3 - 0,025x^2 + 0,2722x - 0,2381. \quad (6)$$

Підставивши значення першого виконання – «монтаж-демонтаж» у функцію «у», встановлено, що величина пружної залишкової деформації клеми становитиме $y=0,01$ мм.

З метою дослідження впливу роботи підрейкових прокладок на величину сили притискання, були виконані заміри їх пружних залишкових деформацій під час експлуатації у вузлі рейкового скріплення типу КПП-5.

Отримані експериментальні дані наочно зображено на рис. 9.

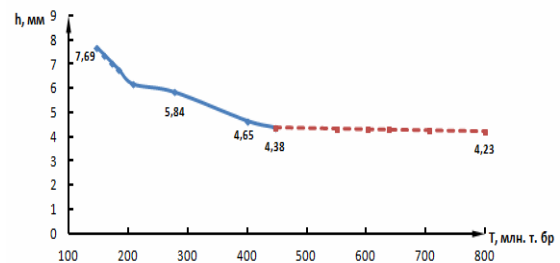


Рис. 9. Залежність пружної залишкової деформації підрейкової прокладки від пропущеного тоннажу

Fig. 9. The dependence of the residual elastic deformation of a rail pad on the skipped tonnage

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Із рис. 9, згідно з теоретично виконаними дослідженнями, можна передбачити, що товщина підрейкової прокладки під час експлуатації при пропущеному тоннажі від $T=400$ млн т бр. до $T=800$ млн т бр. практично не змінюється, що становить 9 %. Виникає зношення (стирання) рифлів (випуклостей) на поверхні прокладки, що призводить до зменшення сили притискання рейки до підрейкових опор.

Доцільним може бути припущення, що поліуретанові прокладки типу ПРП-2.1 мають високу жорсткість, при якій не виконується пружна передача динамічної дії коліс рухомого складу на колію, що може призвести до появи дефектів та прискореного процесу пошкодження елементів верхньої будови колії [1, 2, 6, 12, 15].

Проаналізувавши та дослідивши як теоретичним, так і експериментальним шляхом особливості роботи вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, було встановлено, що на величину розмикання силового ланцюжка – «рейка-клема-прокладка» впливає велика кількість факторів. Основними з яких є: конструкція, матеріал, товщина та жорсткість підрейкової прокладки; розташування осей отворів анкера відносно підрейкової площадки після замоноличення його в залізобетонну шпалу; релаксація напружень в металі клеми, конструкція, розміри прутка клеми; технологічний процес виконання – «монтаж-демонтаж» клеми. Цей вплив схематично зображено на рис. 10.

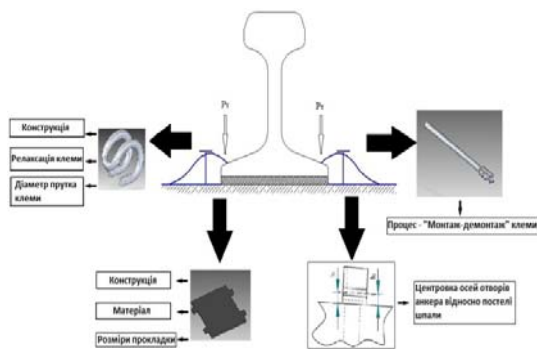


Рис. 10. Конструктивна схема силового ланцюжка – «рейка-клема-прокладка»

Fig. 10. Construction scheme of the power chain – «rail-terminal-pad»

Враховуючи залежність значення величини сили притискання рейки до підрейкової основи у вузлі проміжного рейкового скріплення типу

КПП-5 від різних факторів, що розглядались та досліджувались вище, було встановлено їх вплив у процентному співвідношенні. Значення процентного впливу різних факторів зображено на рис. 11.

Беручи до уваги вплив кожного із факторів на силову взаємодію ланцюжка – «рейка-клема-прокладка» у проміжному рейковому скріпленні типу КПП-5, встановлено загальне передбачуване зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи протягом $T=0-800$ млн т бр., з врахуванням впливу різних факторів зображено на рис. 12.

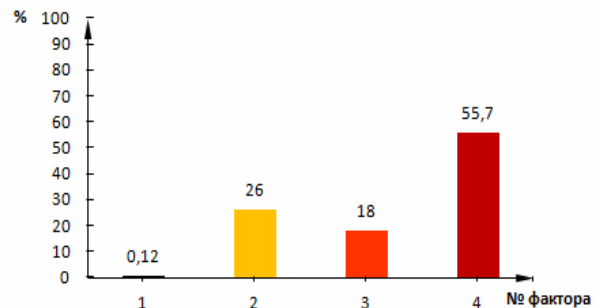


Рис. 11. Вплив факторів на силу притискання рейки до підрейкової основи в рейковому скріпленні типу КПП-5:
1 – «монтаж-демонтаж клеми»; 2 – релаксація клеми; 3 – розташування осей анкера; 4 – знос прокладки

Fig. 11. Influence of factors on pressing force of the rail to rail base in rail fastening, type КПП-5:
1 – «assembly-disassembly of the terminal»; 2 – relaxations of the terminal; 3 – axes of anchor locations; 4 – wears of a pad

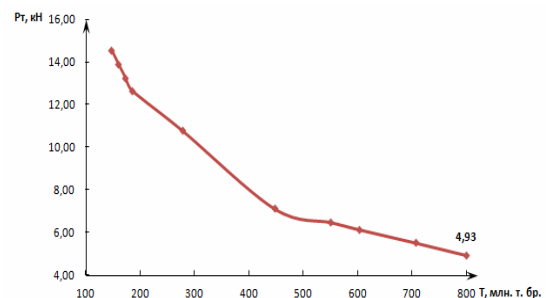


Рис. 12. Графік загального зменшення сили притискання із врахуванням всіх факторів

Fig. 12. A chart of general reduction of pressing force taking into account all factors

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Із рис. 12 встановлено, що залежно від пропущеного тоннажу величина зміни сили притискання рейки до підрейкової основи в основному змінюється за лінійним законом. Скачкоподібне загальне значення зменшення сили притискання, починаючи з $T=147$ млн т бр. до $T=400$ млн т бр. спричинене нерівномірним зношенням (стиранням) підрейкової прокладки. Із досліджень, зображених на рис. 9 можна припустити, що товщина підрейкової, починаючи від $T=400$ млн т бр. до $T=800$ млн т бр., практично не змінюється.

Результати

Аналізуючи попередньо отримані дані, встановлено, що на процес зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи у скріпленні типу КПП-5 в основному впливають такі фактори, як: зношення підрейкових прокладок – 55,7 %; центрування осей отворів анкерів – 18 %; релаксація клеми – 26 %; виконання технологічного процесу «монтаж-демонтаж» – 0,12 %.

Загальне передбачуване зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи протягом $T=0-800$ млн т бр. з врахуванням впливу вищенаведених факторів може досягати $P_T = 4,93$ кН.

Наукова новизна та практична значимість

Обґрунтована та розроблена методика виконання досліджень за роботою вузла рейкового скріплення типу КПП-5. З допомогою розробленої методики встановлено вплив пружних деформацій елементів вузла скріплення типу КПП-5 на величину сили притискання рейки до підрейкової основи.

Для встановлення числової оцінки зниження сили притискання клеми до рейки, залежно від пропущеного тоннажу, принцип роботи колійного пристрою по вимірюванню сили притискання клеми до рейки у скріпленні типу КПП-5 було описано та виражено емпіричною залежністю.

Висновки

Розроблено конструкцію пристрою, що дає можливість визначити пружні властивості та силу притискання клеми до рейки у скріпленні типу КПП-5. Конструкція пристрою проста в експлуатації та недорога під час виготовлення. З допомогою розробленої конструкції пристрою встановлено, що зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи за рахунок релаксації клеми на кінець міжремонтного терміну складає $P_T = 25,97$ % згідно з [11] не менше – 10 кН.

Головним факторами, які впливають на зменшення величини сили притискання рейки до підрейкової основи при проміжному рейковому скріпленні типу КПП-5 є процес зношення підрейкової прокладки, що на кінець міжремонтного терміну може скласти $P_T = 55,7$ %. Центрування осей отворів анкерів відносно підрейкової основи залізобетонної шпали типу СБ-3 становить $P_T = 18$ %. Тому на основі виконаних досліджень за роботою вузла рейкового скріплення типу КПП-5 – виникає необхідність розглянути конструкцію підрейкової прокладки з метою її удосконалення як на стадії проектування, так і під час її виготовлення. Під час виготовлення залізобетонних шпал типу СБ-3, необхідно чітко встановити контроль та точність технології замонолічення анкера в тіло шпали з метою уникнення розбіжностей у центруванні осей отворів анкера відносно підрейкової основи шпали.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Акт обстеження ділянки колії зі скріпленням типу КПП-5 на Львівській залізниці по Мукачівській дистанції колії. Ст. Воловець / Ю. О. Макаров., В. П. Третяков., Д. О. Дроздов., В. В. Грубов. – Дніпропетровськ, 2011. – 5 с.
2. Говоруха, В. В. Создание и внедрение упругих элементов промежуточного скрепления рельсового пути. / В. В. Говоруха // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – Вип. 2. – С. 162–171.
3. Інструкція з укладання та утримання рейкової колії з рейками типу Р65, UIC60 і пружним проміжним скріпленням типу КПП-5 та високоміцними ізолюючими стиками : ЦП-0104 /

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

- С. М. Демченко, В. Л. Піскунов, О. В. Саєнко, В. О. Сестринський. – Київ : Транспорт України, 2003. – 46 с.
4. Класифікація і каталог дефектів і пошкоджень рейок на залізницях України : ЦП0285 / В. В. Рибкін, А. М. Орловський, М. І. Уманов [та ін.]. – Київ : Транспорт України, 2013. – 194 с.
5. Купцов, В. В. Современные конструкции и параметры промежуточных рельсовых скреплений для железобетонных шпал / В. В. Купцов // Повышение надежности работы верхнего строения пути : сб. тр. ВНИИЖТа. – Москва, 2000. – Вып. 570. – С. 100–129.
6. Нехорошев, Ю. П. Результаты испытаний скрепления СБ-3 / Ю. П. Нехорошев, В. И. Матвеев // Путь и путевое хоз-во. – Москва, 2005. – Вып. 6. – С. 26–27.
7. Оцінка параметрів пружної клеми марки КП-5.2 / М. Д. Костюк., В. В. Рибкін., І. О. Бондаренко., Н. М. Івченко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – Вип. 2. – С. 11–17.
8. Перегляд «Класифікації і каталогу дефектів і пошкоджень рейок на залізницях України» : звіт НДР / кер. Рибкін В. В. ; викон. : Орловський А. М., Уманов М. І., Маркуль Р. В., Панченко П. В. – Дніпропетровськ, 2012. – 61 с. – Бібліогр. : 5–61. – ГР 0107U010385. – Інв. № 485.
9. Рибкін, В. В. Надійність залізничної колії : навч. посібник / В. В. Рибкін, І. О. Бондаренко, Д. М. Курган. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2013. – 154 с.
10. Солдатов, А. А. Влияние конструкции жестких клемм промежуточных скреплений на работу рельсового пути / А. А. Солдатов // Весн. ВНИИЖТа. – 1985. – Вып. 237. – С. 46–49.
11. ТУ У 32. 30268559.039-2001. Клема пружна типу КП-5 проміжного скріплення КПП-5 : на дослідну партію : техн. вимоги. – Введ. 2001. – Дніпропетровськ : Вид-во стандартів, 2001. – 18 с.
12. Kaewunruen, S. Dynamic flexural influence on a railway concrete sleeper in track system due to a single wheel impact / S. Kaewunruen A. M. Remennikov // Engineering Failure Analysis. – 2009. – Vol. 16. – Iss. 3. – P. 705–712. doi: 10.1016/j.engfailanal.2008.06.002.
13. Rezaie, F. Experimental and numerical studies of longitudinal crack control for pre – stressed concrete sleepers / F. Rezaie M. R. Shiri S. M. Farman // Engineering Failure Analysis. – 2012. – Vol. 26. – P. 21–30. doi: 10.1016/j.engfailanal.2012.07.001.
14. Rybkin, V. V. Stability issues of the continuous welded rail track on the concrete sleepers on the curves with radius $R \leq 300$ m. / V. V. Rybkin, N. P. Nastechik, R. V. Marcul // Sciences in Cold and Arid Region. – 2013. – Vol. 5. – P. 654 – 658.
15. Visualization and modelling to understand rail rolling contact fatigue cracks in three dimensions / J. E. Garnham, D. I. Fletcher, C. L. Davis, F. J. Franklin // Proc. of the Institution of Mechanical Engineering, Part F: J. of Rail Rapid Transit. – 2011. – Vol. 225. – Iss. 2. – 165–178. doi: 10.1177/2041301710jrrt414.

М. П. НАСТЕЧИК¹, Р. В. МАРКУЛЬ^{2*}, В. В. САВИЦКИЙ³

¹Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, эл. почта nastechik_mr@mail.ru, ORCID 0000-0002-4178-6092

^{2*}Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, эл. почта guaranga_mr@mail.ru, ORCID 0000-0002-7630-8963

³Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, эл. почта savitskyi@mai.ru, ORCID 0000-0002-9460-3915

ВЛИЯНИЕ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ СКРЕПЛЕНИЯ ТИПА КПП- 5 НА ВЕЛИЧИНУ СИЛЫ ПРИЖАТИЯ РЕЛЬСА К ПОДРЕЛЬСОВОМУ ОСНОВАНИЮ

Цель. Железнодорожный транспорт является одним из важнейших звеньев экономики Украины и основой ее транспортной системы. Учитывая то, что большинство грузовых перевозок угольной и металлургической промышленности проводится железнодорожным транспортом, эффективное его использование является

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

ся необходимым условием стабилизации и развития экономики Украины. Одной из стратегических работ, связанных с внедрением скоростного движения поездов в Украине, является обеспечение надежной работы узла промежуточного рельсового крепления во время эксплуатации. Именно на путевые работы по содержанию и ремонту скреплений приходится значительная доля трудовых затрат во время эксплуатации пути. Одним из отечественных промежуточных скреплений, которое после длительных эксплуатационных наблюдений внедрилось в постоянную эксплуатацию, является скрепление типа КПП-5. Данное скрепление – это прототип польского рельсового скрепления типа SB-3. После длительной эксплуатации в скреплении типа КПП-5 выявлен ряд недостатков, связанных с преждевременным отказом его элементов, что, в основном, связано с интенсивным уменьшением величины силы прижатия рельса к подрельсовому основанию. Поэтому целью исследования является разработка методики и практических средств контроля за состоянием работы узла рельсового скрепления типа КПП-5 во время эксплуатации. **Методика.** В основе методики проведения исследований лежит оценка влияния различных факторов на величину силы прижатия рельса к подрельсовому основанию в узле рельсового скрепления типа КПП-5 во время эксплуатации. **Результаты.** С помощью разработанной методики и практических средств контроля было установлено, что общее предполагаемое уменьшение силы прижатия рельса к подрельсовому основанию в течении $T = 0 - 800$ млн. т. бр. с учетом влияния различных факторов, может составлять $P_T = 4,93$ кН. **Научная новизна.** По результатам исследования авторами впервые был описан и выражен эмпирической зависимостью процесс изменения силы прижатия рельса к подрельсовому основанию в скреплении типа КПП-5 после пропуска T , млн. т. бр. **Практическая значимость.** Разработана конструкция устройства для контроля упругих свойств и численной оценки снижения силы прижатия клеммы к рельсу в зависимости от пропущенного тоннажа.

Ключевые слова: промежуточное скрепление типа КПП-5; упругая клемма; жесткость; сила прижатия

M. P. NASTECHIK¹, R. V. MARCUL^{2*}, V. V. SAVYTSKYI³

¹Dep. « Track and Track Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 31, e-mail nastechik_mp@mail.ru, ORCID 0000-0002-4178-6092

^{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 31, e-mail guaranga_mr@mail.ru, ORCID 0000-0002-7630-8963

³Dep. « Track and Track Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 31, e-mail savitskyi@mai.ru, ORCID 0000-0002-9460-3915

ELASTIC DEFORMATIONS IMPACT IN ELEMENTS OF THE RAIL FASTENING, TYPE КПП-5 ON A SIZE OF PRESSING FORCE OF THE RAIL TO THE SUBRAIL BASIS

Purpose. The railway transport is one of the most important links in economy of Ukraine, and it is a basis of its transport system. As the majority of freight transportation of coal and metallurgical industry is conducted by railway transport, its effective use is a necessary condition of stabilization and development in economy of Ukraine. One of the strategic works connected with implementation of high-speed train service in Ukraine is the reliable work ensuring of connection of intermediate rail fastening during operation. For engineering works, according to the contents and repair of fastenings the considerable share of labor expenses during operation of a way is necessary. One of domestic intermediate fastenings which after long operational supervision has implemented into continuous operation is the fastening, type КПП-5. This fastening is a prototype of the Polish rail fastening type SB-3. After the long operation in fastenings, type КПП-5, a number of the shortcomings connected with premature refusal of its elements was revealed. This in generally is connected with intensive reduction of size of pressing force of a rail to the subrail basis. Therefore the purpose is the development of a technique and practical control devices concerning a condition of work of a rail fastening knot, type КПП-5 at operation. **Methodology.** The assessment of various factors impact at a size of pressing force of a rail to the subrail basis in the knot of a rail fastening, type КПП-5 at operation is the foundation of the research method. **Findings.** By means of the developed technique and practical control devices it was established: the general reduction of pressing force of a rail to the subrail basis during one $T = 0 - 800$ mill.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

tons gross., taking into account influence of various factors, may constitute $P_T = 4,93 \text{ kN}$. **Originality.** Accordingly to the obtained results the author firstly described and expressed by empirical dependence the process of change of pressing force of a rail to a subrail basis in a fastening, type КІІІ-5 after the admission of T, one mill. tons gross. **Practical value.** The device design is developed for control of elastic properties and a numerical assessment of pressing force decrease of the terminal to a rail depending on the passed tonnage.

Keywords: intermediate fastening type КІІІ-5; elastic terminal; stiffness; pressing force

REFERENCES

1. Makarov Yu.O., Tretiakov V.P., Drozdov D.O., Hrubov V.V. Akt obstezhennia dilianky kolii zi skriplenniam typu KPP-5 na Lvivskii zaliznytsi po Mukachivskii dystantsii kolii. St. Volovets [Certificate of inspection of the road sections with pinning type КІІІ-5 on the Lvov railroad in Mukachevo track. Volovets Station]. Dnipropetrovsk, 2011. 5 p.
2. Govorukha V.V. Stzodaniye i vnedreniye uprugikh elementov promezhutochnogo skrepleniya relsovogo puti [Creation and implementation of the elastic elements of the intermediate rail track fastening]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2003, issue 2, pp. 162-171.
3. Demchenko S.M., Piskunov V.L., Saienko O.V., Sestrynskyi V.O. Instruktsiia z ukladannia ta utrymannia reikovo kolii z reikamy typu R65, UIC60 i pruzhnyym promizhnyym skriplenniam typu KPP-5 ta vysokomitsnymy izoliuiuchymy stykamy : TsP-0104 [Instructions for laying and maintenance of track with rails type R65, UIC60 and elastic intermediate bond, type КІІІ-5 and high strength and insulating joints: TsP0104]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2003. 46 p.
4. Rybkin V.V., Orlovskiy A.M., Umanov M.I. Klasyfikatsiia i kataloh defektiv i poshkodzhen reiok na zaliznytsiakh Ukrainy: TsP0285 [Classification and catalogue of defects and damages of rails on the Railways of Ukraine: TsP0285]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2013. 194 p.
5. Kuptsov V.V. Sovremennyye konstruktsii i parametry promezhutochnykh relsovykh skreplenyi dlya zhelezobetonnykh shpal [Modern design and parameters of the intermediate rail fasteners for concrete sleepers]. *Sbornik trudov Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta. Povysheniye nadezhnosti raboty verkhnego stroeniya puti* [Proc. of All-Russian Research Institute of Railway Transport. Increase of Reliability of Work of the Permanent Way]. Moscow, 2000, issue 570, pp. 100-129.
6. Nekhoroshev Yu.P., Matvetsov V.I. Rezultaty ispytaniy skrepleniya SB-3 [The test results of the bonding SB-3]. Put i putevoye khozyaystvo – Track and Track Facilities, 2005, issue 6, pp. 26-27.
7. Kostyuk M.D., Rybkin V.V., Bondarenko I.O., Ivchenko N.M. Otsinka parametriv pruzhnoi klemy marky KP-5.2 [Evaluation of elastic parameters of the brand KP-5.2]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], Dnipropetrovsk, 2003, issue 2, pp. 11-17.
8. Rybkin V.V., Orlovskiy A.M., Umanov M.I., Markul R.V., Panchenko P.V. Perehliad klasyfikatsii i katalohu defektiv i poshkodzhen reiok na zaliznytsiakh Ukrainy [Review of Classification and catalogue of defects and damages of rails on the Railways of Ukraine]. Dnipropetrovsk, 2012. 61 p. GR 0107U010385. № 485.
9. Rybkin V.V., Bondarenko I.O., Kurhan D.M. Nadiinist zaliznychnoi kolii [Reliability of railway track]. Dnipropetrovsk, DNUZT Publ., 2013. 154 p.
10. Soldatov A.A. Vliyaniye konstruktsii zhestkikh klemm promezhutochnykh skreplenyi na rabotu relsovogo puti [Impact of design hard terminals of intermediate fasteners for rail track work]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta. Povysheniye nadezhnosti raboty verkhnego stroeniya puti* [Bulletin of All-Russian Research Institute of Railway Transport. Increase of Reliability of Work of the Permanent Way], 1985, issue 237, pp. 46-49.
11. TU U 32. 30268559.039-2001. Klema pruzhna typu KP-5 promizhnoho skriplennia KPP-5. Na doslidnu partiui. Tekhnichni vymohy [TU 32. 30268559.039-2001. The elastic terminal type КІІ-5 intermediate bond КІІІ-5. On an experimental batch. Technical requirements]. Dnipropetrovsk, Standartinform Publ., 2001. 18 p.
12. Kaewunruen S., Remennikov A.M. Dynamic flexural influence on a railway concrete sleeper in track system due to a single wheel impact. *Engineering Failure Analysis*, 2009, vol. 16, issue 3, pp. 705-712. doi: 10.1016/j.engfailanal.2008.06.002.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

13. Rezaie F., Shiri M.R., Farman S.M. Experimental and numerical studies of longitudinal crack control for pre – stressed concrete sleepers. *Engineering Failure Analysis*, 2012, vol. 26, pp. 21-30. doi: 10.1016/j.engfailanal.2012.07.001.
14. Rybkin V.V., Nastechik N.P., Marcul R.V. Stability issues of the continuous welded rail track on the concrete sleepers on the curves with radius $R \leq 300$ m. *Sciences in Cold and Arid Region*, 2013, vol. 5, pp. 654-658.
15. Garnham J.E., Fletcher D.I., Davis C.L., Franklin F.J. Visualization and modelling to understand rail rolling contact fatigue cracks in three dimensions. *Proc. of the Institution of Mechanical Engineering, Part F: Journal of Rail Rapid Transit*, 2011, vol. 225, issue 2, pp. 165-178. doi: 10.1177/2041301710jrrt414.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренком (Україна); д.т.н., проф. Е. І. Даниленком (Україна)

Надійшла до редакції: 28.05.2015

Прийнята до друку: 13.08.2015

UDC 625.173.2

O. M. PATLASOV¹, S. O. TOKARIEV^{2*}¹Dep. «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 am_patlasov@ukr.net, ORCID 0000-0003-2081-5648^{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 tokarevsergeyaleks@yandex.ua, ORCID 0000-0002-2607-3123THE MEASUREMENT METHODOLOGY IMPROVEMENT
OF THE HORIZONTAL IRREGULARITIES IN PLAN

Purpose. Across the track superstructure (TSS) there are structures where standard approach to the decision on the future of their operation is not entirely correct or acceptable. In particular, it concerns the track sections which are sufficiently quickly change their geometric parameters: the radius of curvature, angle of rotation, and the like. As an example, such portions of TSS may include crossovers where their component is within the so-called connecting part, which at a sufficiently short length, substantially changes curvature. The estimation of the position in terms of a design on the basis of the existing technique (by the difference in the adjacent arrows bending) is virtually impossible. Therefore it is proposed to complement and improve the methodology for assessing the situation of the curve in plan upon difference in the adjacent versine. **Methodology.** The possible options for measuring horizontal curves in the plan were analyzed. The most adequate method, which does not contradict existing on the criterion of the possibility of using established standards was determined. The ease of measurement and calculation was took into account. **Findings.** Qualitative and quantitative verification of the proposed and existing methods showed very good agreement of the measurement results. This gives grounds to assert that this methodology can be recommended to the workers of track facilities in the assessment of horizontal irregularities in plan not only curves, but also within the connecting part of switch congresses. **Originality.** The existing method of valuation of the geometric position of the curves in the plan was improved. It does not create new regulations, and all results are evaluated by existing norms. **Practical value.** The proposed technique makes it possible, without creating a new regulatory framework, to be attached to existing one, and expanding the boundaries of its application. This method can be used not only for ordinary curves, but for very short sections, the curvature of which changes abruptly to its opposite value.

Keywords: methodology; irregularity; measurement; plan of a railway track; curve assessment in plan

Introduction

On the Ukrainian railway network for the past several decades has been a tendency to increase the speed of motion [9], which obviously leads to the revision of existing and the creation of new regulatory documents. This applies to rail transport as a whole and of its individual farms. In particular, the track facilities directly involved in the maintenance and repair of road infrastructure.

Quite a significant impact on the performance of traffic safety, smooth running and ride comfort passengers in the general case affects not only the plan and profile of the railway track, but also the presence of geometric and strength irregularities. Existing regulations govern not only work to prevent occurrence of malfunctions during operation, but also the necessary course of action

to eliminate them. For the track state establishment in accordance with the maintenance norms the instrumental methods was used to evaluate its status.

In practice, the geometric position of the curve in plan is checked by means of traditional methods. These include: versine method [8], Hoffer's method [4] and the method of Honikberg [6]. The first two methods, can be usually use in the operation portion of the curve, the latter is the design of the reconstruction and repairs of the road.

The above mentioned versine method based on the measurement of deflections f_i (Fig. 1) when fixed value of the chord length through a specific length [8].

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

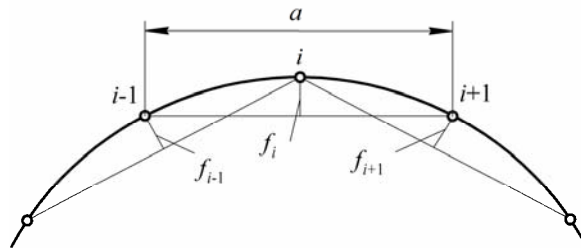


Fig.1. The bend versine measurement scheme

Method of Hoffer, which was forgotten over the last few decades, has been modified (Fig. 2) and found further application in practice [3].

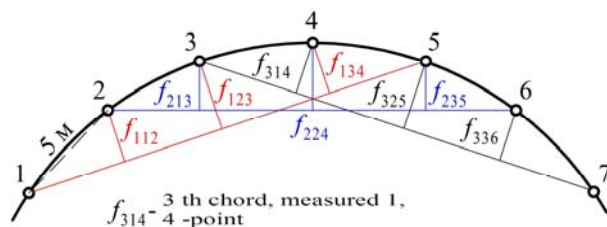


Fig.2. The Hoffer modified method

For the design of the second track and reconstruction of the existing railway survey curves can also be performed using the method of Honikberg (Fig.3).

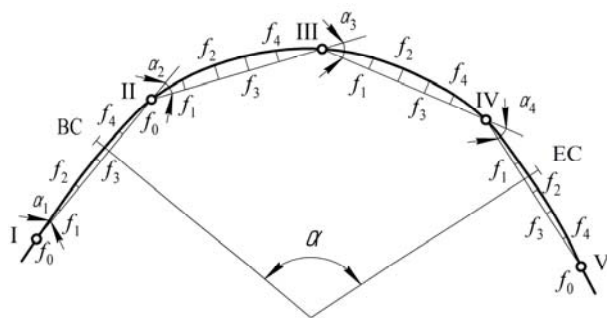


Fig.3. Curve measurement scheme by the Honikberh method:

BC – beginning of curve; EC – end of curve

All above-mentioned methods linked with geometric point of view can be listed in one another.

On foreign railways, the assessment of the position of curves in the plan is treated similarly to that in the domestic railways using the versine method [12, 10].

The modern methods of valuation of railway track plan include [5, 7]:

- survey using modern total stations;
- the use of track measuring cars;

- survey using the benchmark system;
- plan survey with track measuring cars;
- use of track measuring trolleys.

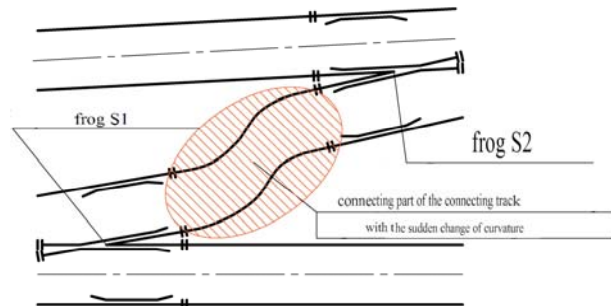


Fig.4. The crossover general scheme:
S1 – first switch; S2 – second switch

Therefore it is necessary to create a methodology that would give the opportunity to get versine to any position on the track section in the plan and to assess its state according to the difference obtained in related deflections.

Purpose

It is important quickly, efficiently and timely to perform routine maintenance and repairs for workers of track facilities. Based on this principle, it is necessary to develop a methodology for assessing the phase position of the road in such a way as to reduce the time spent on measurement and processing of the results. Thus as much as possible to use the existing regulatory framework relating to the issue of determining the position of the curve in the plan.

Methodology

– First, it is necessary to analyze the possible methods of assessing the position of the curve in the plan and to identify their main advantages and disadvantages. The following methods are taken into account:

- the position of the joints of rails using diagonals;
- method of linear serifs (polar method);
- position of connecting track ordinates of the basic line, that is broken outside of the track;
- measurement of horizontal angles in the plan;
- the position of the curve with the ordinate from the baseline, that is located between the rail thread.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

As a primary or reference, the most extensively used on the railways of Ukraine is the versine method. All other proposed methods will be theoretically checked and compared with the versine method.

Method of assessment of the joints using diagonals is to measure the distances d_1 , d_2 , d_3 , d_4 (Fig. 5).

The measured diagonals in pairs should be compared (d_1 i d_4 , d_2 i d_3).

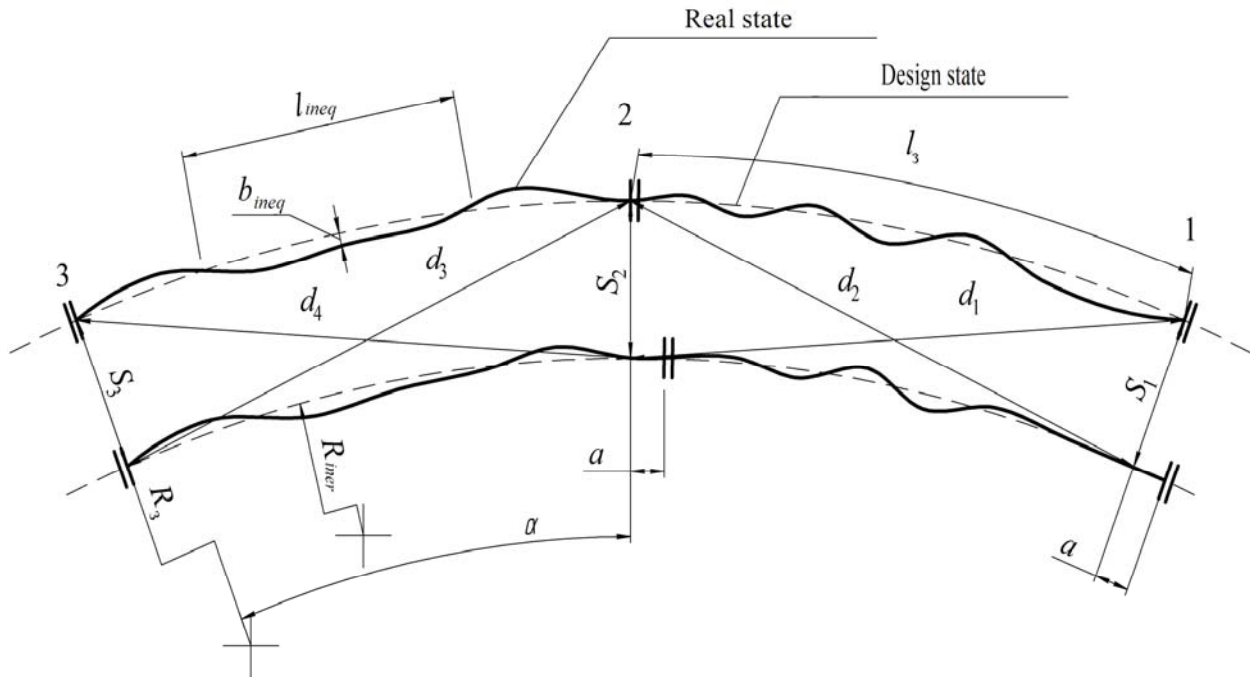


Fig. 5. The joints measuring position scheme

The diagonals must have the following value:

$$\begin{cases} d_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2}, \\ d_{i+1} = \sqrt{A_{i+1}^2 + B_{i+1}^2}. \end{cases} \quad (1)$$

In turn:

$$\begin{cases} A_i = R_o - (R_o - S_i) \cos \alpha, \\ A_{i+1} = R_o - (R_o - S_{i+1}) \cos \alpha, \\ B_i = (R_o - S_{i+1}) \sin \alpha, \\ B_{i+1} = (R_o - S_i) \sin \alpha, \end{cases} \quad i = 1, 3, 5, \dots, 2n + 1. \quad (2)$$

where R_o – the radius of the outer rails; S_i – track width, measured in the appropriate section; α – the angle formed the normals to the curve at the measurement points:

$$\alpha = \frac{l_o}{R_o}, \quad (3)$$

where l_o – the length of the outer rails between the measurement points.

If the pair of the measured diagonals are not equal, there are horizontal irregularities. The difference of pairwise diagonals characterizes irregularities in plan or disagreements rail joints.

But to evaluate geometric inequalities, their length l_{ineq} and amplitude b_{ineq} placed between the joints or between the cross-sections are almost not possible. Therefore, the assessment method application of the joints using diagonals makes it impossible to get the versine at intermediate points in the future. In this case it is necessary to identify the additional points on the irregularities. If the joints are not on squares (overlapping joints on the value of a), the task on the assessment of horizontal irregularities is complicated. Moreover, as the source the radius and length of the outer and inner rail filaments between the points of measurement should be known. This method is appropriate to use in areas where the rails have the same length, i.e. in a straight line.

When using the method of linear serifs (the so-called polar method) the base with the length S should be set outside of the track. The checkpoints

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

divided the track into segments of any length (Fig. 6). From the first base station the distance a_i is measured to control points. From the second base station the distance b_i is measured to the same checkpoint.

The angles α_i, β_i can be found with the formula:

$$\begin{cases} \alpha_i = \arccos \left(\frac{S^2 + a_i^2 - b_i^2}{2a_i S} \right), \\ \beta_i = \arccos \left(\frac{S^2 - a_i^2 + b_i^2}{2b_i S} \right). \end{cases} \quad (4)$$

The coordinates X_i and Y_i for each point of measurement can be set from the expression:

$$\begin{cases} X_i = S \frac{\operatorname{tg} \beta_i}{\operatorname{tg} \alpha_i + \operatorname{tg} \beta_i}, \\ Y_i = S \frac{\operatorname{tg} \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \beta_i}{\operatorname{tg} \alpha_i + \operatorname{tg} \beta_i}. \end{cases} \quad (5)$$

The test measured coordinates for each point can be done on the other side of the curve, with the set on the new basic line and following the same procedure.

The measurement error increases with increasing distances a_i and b_i , therefore, the basis S should be placed as close as possible to the track. The main disadvantage is the fact that when determining the curvature of the track in adjacent points, it may suddenly change due to the measurement errors.

Next on the list for comparison is a method of ordinate measuring from the baseline, set outside of the track. For this purpose it is necessary to fix a baseline, if it is possible, within the subgrade. For further measurement of ordinates a baseline should be divided into a control point for measurement, the distance between which $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ they are not necessarily identical (Fig. 7).

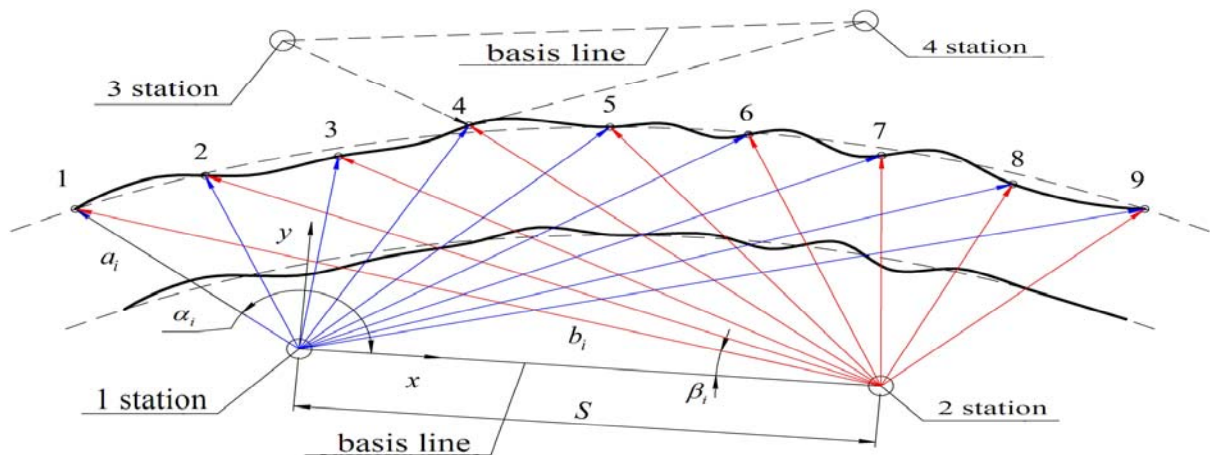


Fig. 6. The linear serif method

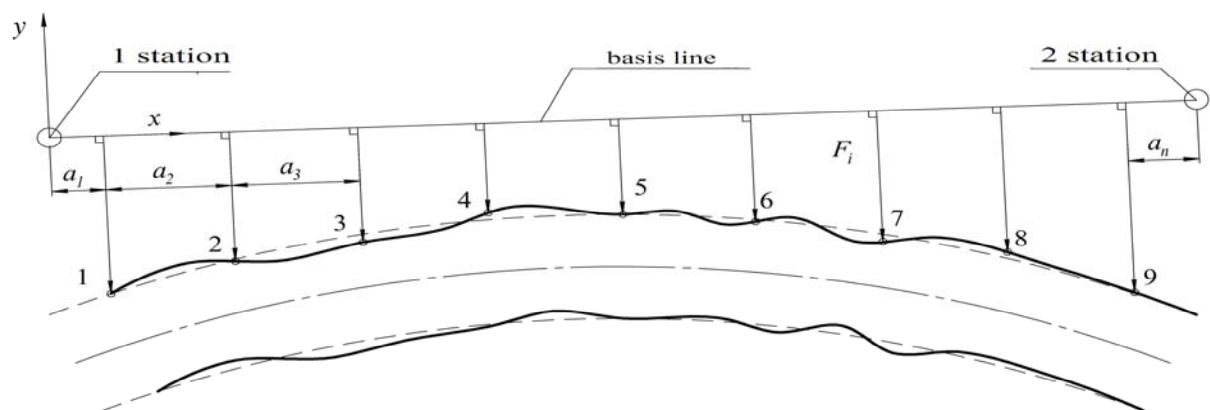
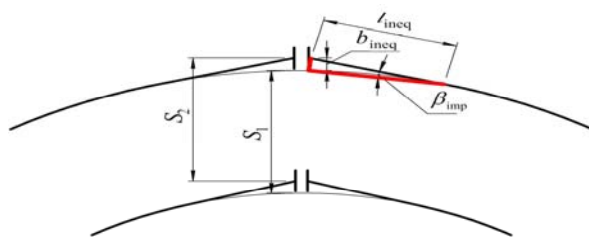


Fig. 7. The ordinate measurement scheme from the basic line is broken on the sidelines

The problems of measurement of this method is that the values of ordinates are set according to the outside edge of the rail. And therefore, it is also necessary to determine the wear of the rail head at each point. And also the fact that the stations for baselines need to fix reliably it cannot be ignored, because during the crossing of trains on a site is not only by their displacement. This all leads to significant thief of working time.

The angular displacement of the rails during operation may occur due to insufficient lateral stability of a rail-sleeper grid, due to the stiffness of the rails, which are trying to recover the initial shape to the bending, the reducing the regulatory pressing force of the terminals, hijacking ways and the presence of temperature forces in the rails in the summer, that can lead to a zero gaps and incorrect location of the sleepers in the curve.



The question how to measure the value of the angle of impact arises immediately. To date, the only value that characterizes the so-called angle of impact, is the rate of loss of kinetic energy at impact in switch rail [1]:

where V – speed.

where β_n – initial arrow angle; δ – the gap between the crest of the wheel and rail; R_0 – the initial radius of switch rail.

where j_0 – fast (pulsed) centrifugal acceleration.

The latest from considered methods is the position of the curve with the ordinate from baselines rail that is located between the filaments (Fig. 9). The ordinate dimension from the rails to the base line, broken on the outside of the track or between the track is taken as bases (see Fig. 7).

The authors propose to estimate the position of the horizontal curve on the ordinate, the value of which is mathematically given by the deflections, comparing which can get the status of the curve.

Fig. 10 shows the calculated scheme of the transition from the axis, measured along the perpendicular to the baseline, omitted at the points A, F, B , to the versine FE , measured from the center of the chord length a .

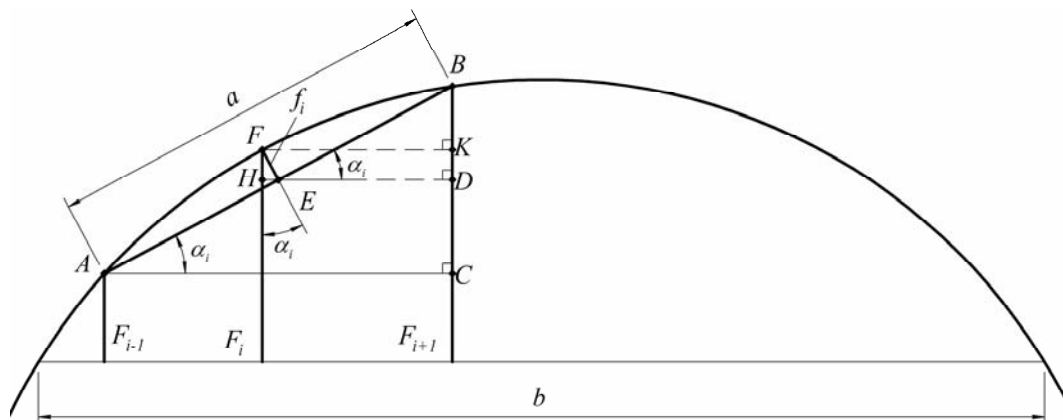
Given the fact that in real conditions, the angle α has a value close to zero, so $\cos \alpha \approx 1$, then we can write:

where F_i , F_{i-1} , F_{i+1} – ordinates, measured from basis line, mm.

practice, to fix the base for the measurements (see Fig. 9) between the rails is difficult. It is proposed to consolidate and remove ordinates track template (Fig. 11). Obtained values of the ordinates must be transformed into the versine at the value of the chord a . Actually, the question arises about the chord length when this method will provide accurate information.

According to [2] the curves are estimated by the difference in adjacent deflections only when the chord length is $a=20$ m. Show that for short irregularities in plan, the length of which is less than the length of the chord, it makes no difference how long the chord to assess the condition of the curve is. The allegations are originate from the following calculations.

Consider the case depicted in Fig. 12. Let there exist a curve, which in the i point has a horizontal inequalities with amplitude b_{ineq} and length $l_{ineq} \leq a$.



© O. M. Patlasov, S. O. Tokariev, 2015

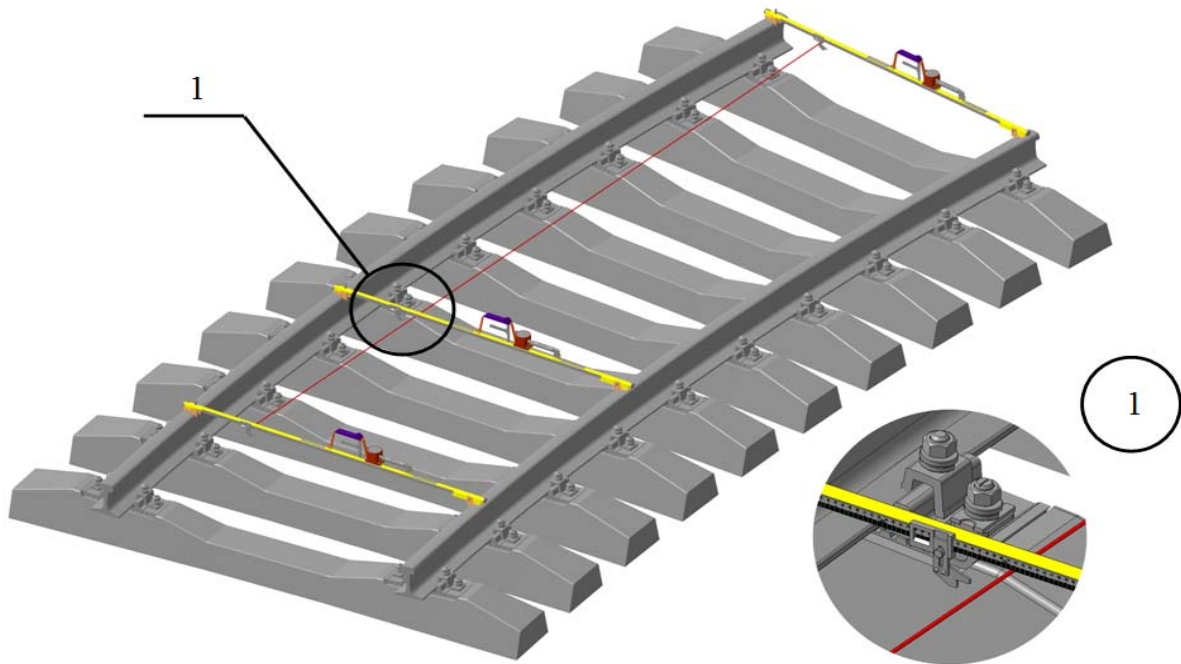
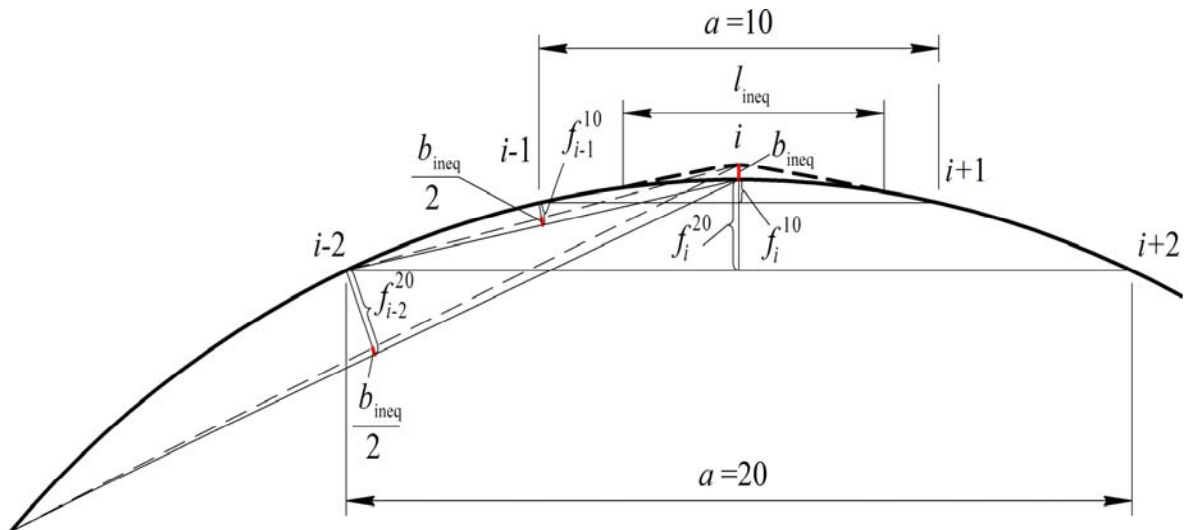


Fig. 11. Measuring with the track pattern ЦУП-2Д

Fig. 12. The determine correlation scheme between
versine differences at different chord length

For an ideal (theoretical) curve $f_{ti-2}^{20} = f_{ti}^{20}$ and $f_{ti-1}^{10} = f_{ti}^{10}$. In case of occurrence of irregularities and offsets of the i -th point on the value b_{ineq} the following relations are fair:

$$\begin{cases} f_i^{20} \approx f_{ti}^{20} + b_{ineq}; \\ f_{i-2}^{20} \approx f_{ti-2}^{20} - \frac{b_{ineq}}{2}; \end{cases} \begin{cases} f_i^{10} \approx f_{ti}^{10} + b_{ineq}; \\ f_{i-1}^{10} \approx f_{ti-1}^{10} - \frac{b_{ineq}}{2}. \end{cases} \quad (10)$$

Then, the difference of the deflections at 20 meter chord would be:

$$\Delta f^{20} = f_i^{20} - f_{i-2}^{20} = \frac{3}{2} b_{ineq}. \quad (11)$$

For the 10 meters chord the result is similar:

$$\Delta f^{10} = f_i^{10} - f_{i-1}^{10} = \frac{3}{2} b_{ineq}. \quad (12)$$

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Therefore, the difference in adjacent versine at 20-and 10-meter chord are the same, that gives grounds to assert the requirement of assessing the state of the curve only on the statutory regulations of the chord length. Accordingly, the phrase in paragraph 2.1.2 [2] «...the difference of adjacent versine, measured from the midpoint of the chord length of 10 m shall be no greater than 5 mm» is incorrect and inappropriate.

The section was divided in 1 m and the dimensions of the versine was carried out at 10-meter chord (the curve radius $R \approx 300$ m).

Table 1

The measurement results of the curve
position in plan

№ of point	F_i , mm	$f_{i\text{ mes}}$, mm	$f_{i\text{ calc}}$, mm	Absolute error, mm
1	302			
2	326			
3	344			
4	362			
5	374			
6	388	37	35	2
7	401	38	39	1
8	405	37	38	1
9	402	34	31	3
10	401	33	31	2
11	405	34	35	1
12	398	29	30	1
13	390	28	30	2
14	381	27	28	1
15	366	27	28	1
16	352	21	20	1
17	336	19	18	1
18	315			
19	304			
20	275			
21	260			
22	239			

Table 1 shows the actual F_i ordinate measured versine f_i^{meas} and calculation versine f_i^{cal} , obtained by the ordinate transformation using the proposed method.

Findings

A comparison of the calculated with the proposed method and measured versine showed a small absolute error, which is well within the measurement error. Thus, it can be assume that the technique can be used to assess the status of the curve track section with an abrupt change of curvature.

Originality and Practical value

The proposed improved method of estimating the position of the curve in plan, quickly changes its curvature and has bumps that are shorter than the chord length.

The results showed that this method is quite simple and convenient to use to perform natural measurements using the least amount measuring means. And also thanks to the simplified method for data processing and the lack of controversy regarding the existing regulatory framework the speed limit on a given stretch of road can be set at once.

Conclusions

1. The existing methods of estimating the geometric position of the normal curves in plan in the operation and design of repairs to the track are analyzed.

2. A comparative analysis was realised and the main advantages and disadvantages, limits of the application of existing methods were determined. The most suitable option for detailed analysis was determined.

3. The mathematical combination of the existing and proposed methods was developed.

4. The qualitative and quantitative verification were conducted. The results showed the adequacy of the proposed methodology and the absence of contradictions.

5. The suggestions regarding the editing of paragraph 2.1.2 Instructions on the device and maintenance of the tracks of the Ukrainian Railways [2] were provided.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Даниленко, Э. И. Стрелочные переводы железных дорог Украины. Технология производства. Эксплуатация в пути. Расчеты и проектирование / Э. И. Даниленко, А. П. Кутах, С. Д. Тараненко. – Киев : Киев. ин-т ж.-д. трансп., 2001. – 296 с.
2. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України : ЦП-0269 / Е. І. Даніленко, А. М. Орловський, М. Б. Курган [та ін.]. – Київ : Поліграфсервіс, 2012. – 465 с.
3. Корженевич, И. П. Комбинированный способ съемки плана железнодорожной линии / И. П. Корженевич // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 14. – С. 81–85.
4. Корженевич, И. П. Новые способы съемки железнодорожных кривых / И. П. Корженевич // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 12 – С. 53–56.
5. Корженевич, И. П. Обеспечение точности съемки кривых при возрастании скоростей движения поездов / И. П. Корженевич, Н. Г. Ренгач // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – Вип. 2. – С. 174–177.
6. Курган, М. Б. Визначення раціональних параметрів залізничних кривих для заданого рівня максимальної швидкості / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // Транспортні системи і технології : зб. наук. пр. / Держ. екон.-технол. ун-т трансп. – Київ, 2013. – Вип. 21. – С. 57–63.
7. Пикалов, А. С. Повышение эффективности реконструкции железнодорожного пути за счет применения современных технологий : автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / Пикалов Александр Сергеевич ; Сиб. гос. ун-т путей сообщения. – Новосибирск, 2013. – 24 с.
8. Правила і технологія виконання робіт при поточному утриманні залізничної колії : ЦП-0084 / Е. І. Даніленко, М. І. Карпов, В. Ф. Сушков [та ін.]. – Київ : Транспорт України, 2002. – 156 с.
9. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Electronic resource] : затв. розпорядженням Каб. Міністрів України від 20 жовт. 2010 р. № 2174-р. – Available at : <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80>. – Title from the screen. – Accessed : 26.06.2015.
10. Jodlbauer, G. Digitales Aufzeichnungssystem für Gleisbaumaschinen / G. Jodlbauer, J. Neubert // EI-Eisenbahningenieur. – 2014. – № 8. – P. 22–26.
11. Kim, S. J. A Study on the Running Safety of F26 Turnout and Vehicle Model / S. J. Kim, B.-G. Eom, H. S. Lee // Intern. J. of Railway. – 2012. – Vol. 5. – Iss. 4. – P. 156–162. doi: 10.7782/ijr.2012.5.4.156.
12. Track Safety Standards Compliance Manual [Electronic resource] // Office of Safety Assurance and Compliance. – 2002. – 423 p. – Available at: URL: hsdl.org/?view&did=15770. – Title from the screen. – Accessed : 26.06.2015.
13. Tunna, J. Regional Fast Rail Project: Turnout Safety Analysis [Electronic resource] / J. Tunna, X. Shu // Transportation Technology Center. – 2006. – 68 p. – Available at: ptv.vic.gov.au/assets/PTV/PTV%20docs/VRIOGS/RFR-Turnout-Safety-Analysis.pdf. – Title from the screen. – Accessed : 26.06.2015.
14. UIC Code 513 R. Guidelines for evaluating passenger comfort in relation to vibration in railway vehicles. – Paris : Int. Union of Railways, 1995. – 81 p.

А. М. ПАТЛАСОВ¹, С. А. ТОКАРЕВ^{2*}

¹Каф. «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 am_patlasov@ukr.net, ORCID 0000-0003-2081-5648

^{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 tokarevsergeyaleks@yandex.ua, ORCID 0000-0002-2607-3123

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НЕРОВНОСТЕЙ В ПЛАНЕ

Цель. В масштабах всего верхнего строения пути (ВСП) существуют такие конструкции, где стандартные подходы к принятию решения о дальнейшей их эксплуатации не совсем корректны или приемлемы. В частности, это касается участков пути, которые достаточно быстро меняют свои геометрические параметры: радиус, кривизну, угол поворота и тому подобное. В качестве примера, к таким участкам ВСП

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

можно отнести те стрелочные съезды, в пределах которых находится составляющая, так называемая соединительная часть, на достаточно короткой длине существенно меняющая кривизну. Оценить положение в плане такой конструкции на основе существующей методики (по разнице в смежных стрелах изгиба) практически невозможно. Поэтому в исследовании предлагается дополнить и усовершенствовать методику оценки положения кривой в плане по разнице в смежных стрелах изгиба. **Методика.** Проанализированы возможные варианты измерения горизонтального положения кривых в плане. Определена наиболее адекватная методика, которая не противоречит существующей по критерию возможности использования установленных нормативов. Во внимание также принималась простота измерений и расчета. **Результаты.** Качественная и количественная верификация предложенной и существующей методик показала очень хорошее совпадение результатов измерений. Это дает основания утверждать, что данную методику можно рекомендовать работникам путевого хозяйства в оценке горизонтальных неровностей в плане не только в кривых, но и в пределах соединительной части стрелочных съездов. **Научная новизна.** Усовершенствована существующая методика оценки геометрического положения кривых в плане. При этом не создаются новые нормативы, а все полученные результаты оцениваются по существующим нормам. **Практическая значимость.** Предлагаемая методика дает возможность, не создавая новую нормативную базу, привязываться к существующей, и расширяет границы ее применения. Данную методику можно применять не только для обычных кривых, но и для очень коротких участков, кривизна которых резко меняет свое значение на противоположное.

Ключевые слова: методика; неровность; измерения; план пути; оценка состояния кривых в плане

О. М. ПАТЛАСОВ¹, С. О. ТОКАРЕВ^{2*}

¹Каф. «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 am_patlasov@ukr.net, ORCID 0000-0003-2081-5648

^{2*}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 tokarevsergeyaleks@yandex.ua, ORCID 0000-0002-2607-3123

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ НЕРІВНОСТЕЙ У ПЛАНІ

Мета. В масштабах всієї верхньої будови колії (ВБК) існують такі конструкції, де стандартні підходи до прийняття рішення щодо подальшої їх експлуатації не зовсім коректні або прийнятні. Зокрема, це стосується ділянок колії, які досить швидко змінюють свої геометричні параметри: радіус, кривизну, кут повороту тощо. Як приклад, до таких ділянок ВБК можна віднести ті стрілочні з'їзди, в межах яких є складова, так звана з'єднувальна частина, котра на досить короткій довжині суттєво змінює кривизну цієї частини. Оцінити положення у плані такої конструкції за існуючою методикою (за різницею в суміжних стрілах вигину) практично неможливо. Тому в дослідженні пропонується доповнити та удосконалити методику оцінки положення кривої у плані за різницями в суміжних стрілах вигину. **Методика.** Проаналізовано можливі варіанти вимірювання горизонтального положення кривих у плані. Визначено найбільш адекватну методику, яка не суперечить існуючій за критерієм можливості використання встановлених нормативів. До уваги також приймалась простота вимірювань та розрахунку. **Результати.** Якісна й кількісна верифікація приведеної методики показала дуже добрий збіг результатів вимірювань запропонованої та існуючої методик. Це дає підстави стверджувати, що дану методику можна рекомендувати працівникам колійного господарства щодо оцінки горизонтальних нерівностей у плані не лише в кривих, а й у межах з'єднувальної частини стрілочних з'їздів. **Наукова новизна.** Вдосконалено існуючу методику оцінки геометричного положення кривих у плані. При цьому не створюються нові нормативи, а все базується на існуючих. **Практична значимість.** Запропонована методика дає можливість, не створюючи нову нормативну базу, прив'язуватись до існуючої, та розширює межі її застосування. Дану методику можна застосовувати не тільки для звичайних кривих, а й для дуже коротких ділянок, кривизна яких різко змінює своє значення на протилежне.

Ключові слова: методика; нерівність; вимірювання; план колії; оцінка стану кривих у плані

REFERENCES

1. Danilenko E.I., Kutakh A.P., Taranenko S.D. *Strelochnyye perevody zheleznykh dorog Ukrainy. Tekhnologiya proizvodstva. Eksploatatsiya v puti. Raschety i proyektirovaniye* [Turnouts of Ukrainian Railways. The production technology. Exploitation in the way. Calculations and Design]. Kiev, Kievskiy institut zheleznodorozhnogo transporta Publ., 2001. 296 p.
2. Danilenko E.I., Orlovskiy A.M., Kurhan M.B. *Instruktsiya z ulashtuvannia ta utrymannia kolii zaliznyts Ukrainy : TsP-0269* [Manual for installation and maintenance of the tracks of the Railways of Ukraine: TsP-0269]. Kyiv, Polihrafservis Publ., 2012. 465 p.
3. Korzhenevich I.P. Kombinirovannyi sposob semki plana zheleznodorozhnoy linii [Combined survey of the plan of the railway line]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 14, pp. 81-85.
4. Korzhenevich I.P. Novyye sposoby semki zheleznodorozhnykh krivyykh [New ways of survey of rail curves]. *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. 53-56.
5. Korzhenevich I.P., Rengach N.G. Obespecheniye tochnosti semki krivyykh pri vozrastanii skorostey dvizheniya poyezdov [Ensuring the accuracy of survey of curves with increasing speeds of trains]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2003, issue 2, pp. 174-177.
6. Kurhan M.B., Baidak S.Yu., Khmelevska N.P. Vyznachennia ratsionalnykh parametriv zaliznychnykh kryvykh dlia zadanoho rivnia maksimalnoi shvydkosti [Determination of rational parameters of railway curves for a given level of maximum speed]. *Transportni systemy i tekhnolohii: zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho ekonomiko-tekhnolohichnoho universytetu transportu* [Transport Systems and Technologies : Proc. of the State Economic and Technological University of Transport], 2013, issue 21, pp. 57-63.
7. Pikalov A.S. *Povysheniye effektivnosti rekonstruktsii zheleznodorozhnogo puti za schet primeneniya sovremennykh tekhnologiy*. Avtoreferat Diss. [Improving the efficiency of the reconstruction of the railway track through the use of modern technologies. Author's abstract.]. Novosibirsk, 2013. 24 p.
8. Danilenko E.I., Karpov M.I., Sushkov V.F. *Pravyla i tekhnolohiia vykonannia robit pry potochnomu utrymanni zaliznychnoi kolii: TsP-0084* [The rules and technology of performance of works with the current maintenance of the railway: TsP-0084]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2002. 156 p.
9. *Transportna stratehiia Ukrainy na period do 2020 roku* [The transport strategy of Ukraine for the period till 2020]. Available at: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80> (Accessed 26 June 2015).
10. Jodlbauer G., Neubert J. Digitales Aufzeichnungs system für Gleisbaumaschinen. *EI-Eisenbahningenieur*, 2014, no. 8, pp. 22-26.
11. Kim S.J., Eom B.-G., Lee H.S. A Study on the Running Safety of F26 Turnout and Vehicle Model. *Intern. Journal of Railway*, 2012, vol. 5, issue 4, pp. 156-162. doi: 10.7782/ijr.2012.5.4.156.
12. Track Safety Standards Compliance Manual. *Office of Safety Assurance and Compliance*, 2002, 423 p. Available at: hsdl.org/?view&did=15770 (Accessed 26 June 2015).
13. Tunna J., Shu X. Regional Fast Rail Project: Turnout Safety Analysis. Transportation Technology Center, 2006. 68 p. Available at: ptv.vic.gov.au/assets/PTV/PTV%20docs/VRIOGS/RFR-Turnout-Safety-Analysis.pdf (Accessed 26 June 2015).
14. UIC Code 513 R. Guidelines for evaluating passenger comfort in relation to vibration in railway vehicles. Paris, Int. Union of Railways Publ., 1995. 81 p.

Prof. V. D. Petrenko, D. Sc. (Tech.) (Ukraine); S. V. Ivanchak, (Ukraine), Chief engineer of the Track service of Prydniprovsk Railway recommended this article to be published

Received: June 15, 2015

Accepted: Aug. 14, 2015

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 620.17:62 – 229.312

Ю. П. ГУЛЬ¹, А. В. ИВЧЕНКО^{2*}, П. В. КОНДРАТЕНКО^{3*}, Г. И. ПЕРЧУН^{4*}

¹Каф. «Термическая обработка металлов», Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, Днепропетровск, Украина, 49600, тел. +38 (0562) 46 24 53, эл. почта kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua, ORCID 0000-0003-3754-7731

^{2*}Каф. «Термическая обработка металлов», Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, Днепропетровск, Украина, 49600, тел. +38 (0562) 46 24 53, эл. почта armst_2000@mail.ru, ORCID 0000-0002-4518-1744

^{3*}Каф. «Термическая обработка металлов», Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, Днепропетровск, Украина, 49600, тел. +38 (0562) 46 24 53, эл. почта Achriman@yandex.ua, ORCID 0000-0003-2242-3496

^{4*}Каф. «Термическая обработка металлов», Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, Днепропетровск, Украина, 49600, тел. +38 (0562) 46 24 53, эл. почта kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua, ORCID 0000-0001-9013-4659

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПЛЕКСА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ГОТОВЫХ БОЛТОВ И ОБТОЧЕННЫХ ОБРАЗЦОВ

Цель. Работа направлена на анализ экспериментальных результатов при испытаниях на растяжение готовых болтов и обточенных образцов с использованием принципов геометрически-структурного упрочнения (ГСУ) металлоизделий. **Методика.** Испытания на одноосное растяжение проводились на полноразмерных болтах и обточенных образцах до диаметров 10 и 8 мм на испытательной машине FP – 100/1 с записью полной диаграммы деформации и разрушения. **Результаты.** Установлено, что уровень прочности качественно и количественно оказывает различное влияние на соотношение характеристик сопротивления пластической деформации, характеристик пластичности и сопротивления вязкому разрушению, определяемых на болтах и обточенных образцах. Проведенный анализ полученных результатов показал, что комплекс механических свойств, определяемый при испытаниях готовых болтов, более адекватен их механическому поведению при эксплуатации, чем исследования на обточенных образцах. Приведенные объяснения особенно важны для сдаточных испытаний болтов класса прочности 8.8 и выше. **Научная новизна.** Впервые экспериментально показано, что система функциональных надрезов на конкретных металлоизделиях может оказывать как упрочняющее, так и разупрочняющее влияние на характеристики сопротивления пластической деформации. Дано объяснение наблюдаемого феномена на основе изменения соотношения показателя концентрации напряжений и степени жесткости напряженного состояния в области надрезов. **Практическая значимость.** Ограничение механических испытаний только готовыми болтами, кроме получения большего соответствия определяемых свойств болтов их конструктивной прочности при эксплуатации, способствует уменьшению общей длительности и трудоемкости испытаний в целом.

Ключевые слова: высокопрочные болты; готовые болты; обточенные образцы; испытания на растяжение; механические свойства; надрез

Введение

Известно, что болтовые соединения узлов машин и конструкций являются одним из ос-

новных типов соединений, в том числе и для оборудования железнодорожного транспорта [1, 5, 7, 9, 13]. Указанный тип соединений успешно конкурирует со сварными соединения-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

ми, особливо при високому рівні упрочнення матеріала соединяемых узлов. При этом реализуемая эксплуатационная прочность болтов как основной части болтового соединения существенно влияет на конструктивную прочность (КП) всего агрегата. Поэтому для болтов, как впрочем и для любого другого изделия, важна степень корректности методики сдаточных испытаний с учетом условий нагружения при эксплуатации.

Действующими стандартами предусмотрено, как одно из основных, испытание на одноосное растяжение объектов двух типов: готовых болтов и обточенных (с удалением резьбы) гладких образцов. Как ни странно с позиций основных положений КП, но результаты именно последних испытаний предписывается использовать при расчетах болтовых соединений, что не учитывает фактическое влияние на комплекс механических свойств готовых болтов функциональных надрезов (резьбы). Указанное влияние определяет действие надреза, как концентратора напряжений в прилегающих объемах объекта, что широко известно, так и фактора, изменяющего степень жесткости напряженного состояния в тех же объемах, что известно в меньшей степени. Поэтому наличие надреза (надрезов) может приводить как к эффекту дополнительного упрочнения в терминах нормальных напряжений, так и к эффекту разупрочнения, по сравнению с результатами, полученными на гладких образцах [2, 12]. Однако, влияние уровня упрочнения на получение эффектов упрочнения или разупрочнения при наличии надрезов не исследовано.

Исследованиям в этом направлении по болтам посвящены немногочисленные работы [3, 6, 10], причем в работах [3, 10] влияние резьбы на свойства установлено, а авторы работы [6] такое влияние отрицают, хотя приведенные в этой же работе данные свидетельствуют о противоположном. В целом можно заключить, что систематические исследования по доступной информации в обсуждаемом направлении отсутствуют.

Цель

Целью работы является анализ экспериментальных результатов при испытаниях на растяжение готовых болтов и обточенных образцов,

с использованием принципов геометрически-структурного упрочнения (ГСУ) металлоизделий [2].

Методика

В качестве материала использовали болты размерами М12х1,75х80 мм, М12х1,75х70 мм, М12х1,5х80 мм, М12х1,75х100 мм из низкоуглеродистых и низколегированных сталей, полученные холодной высадкой, термической обработкой по стандартным технологиям метизных предприятий и по опытным режимам для получения механических свойств в интервале 4.8–10.9 классов прочности (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики исследуемых болтов

Table 1

Characteristics of the bolts

Размер, мм	Класс прочности	Марка стали	Обработка
М12х1,75х80	4.8	15кп	холодная объемная штамповка (ХОШ) + отпуск 600 °С
М12х1,75х80	6.8	15кп	холодная объемная штамповка
М12х1,75х80	6.8	Ст3пс	термическое упрочнение + ХОШ
М12х1,75х80	8.8	20Г2	термическое упрочнение + ХОШ + деформационное старение при 300 °С
М12х1,75х80	8.8	10Г2	ХОШ + термическое упрочнение (закалка + отпуск 420 °С)
М12х1,75х70	8.8	Ст5пс	ХОШ + термическое упрочнение

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Окончание табл. 1

End of table 1

Размер, мм	Класс прочности	Марка стали	Обработка
M12x1,75x80	8.8	20Г	ХОШ + термическое упрочнение (закалка + отпуск 420 °С)
M12x1,5x80	10.9	30Г2	ХОШ + термическое упрочнение (закалка + отпуск 420 °С)
M12x1,75x100	10.9	30Г1Р	ХОШ + термическое упрочнение (закалка + отпуск 420 °С)

Испытания на одноосное растяжение проводили как на готовых болтах, так и на обточенных до диаметров 10–8 мм образцах с полным удалением резьбы. Использовали машину типа FP – 100/1, испытываемые образцы размещали в специальных захватах. Испытания проводили при скорости перемещения захватов 1 мм/мин с записью полной диаграммы растяжения. Кроме стандартных характеристик, оценивали равномерное удлинение как характеристику перехода к макролокализации пластической деформации [4]. Условную характеристику скорости падения напряжения на участке локализованной деформации определяли как отношение падения номинального напряжения ($\Delta\sigma_{ном}$) от ее максимального значения до значения соответствующего моменту разрушения к величине удлинения на этом участке диаграммы ($\delta_{лок}$). Тип разрушения при указанных испытаниях определяли по виду диаграмм растяжения и характеру макроповерхности разрушения.

Анализ механических характеристик, полученных на готовых болтах и обточенных образцах, осуществляли для соответствующих уровней упрочнения. Для объяснения различий в прочностных характеристиках использовали теоретическое значение коэффициента концентрации напряжений [8, 15].

Результаты

Свойства, полученные при растяжении готовых болтов и обточенных образцов, приведены в табл. 2 и 3, а зависимости на рис. 1–3 иллюстрируют влияние уровня упрочнения на качественные (знак) и количественные различия механических характеристик готовых болтов и обточенных образцов.

Как следует из зависимостей, представленных на рис. 1, влияние уровня упрочнения на соотношение пределов прочности и текучести готовых болтов и обточенных образцов можно разделить на два интервала.

Таблица 2

Механические свойства готовых болтов

Table 2

Mechanical properties of the finished bolts

Марка стали	Класс прочности	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ² /%	σ_E , Н/мм ² /%
15кп	4.8	310	415
15кп	6.8	523	628
Ст3пс	6.8	613	712
20Г2	8.8	738	835
Ст5пс	8.8	745	904
10Г2	8.8	773	864
20Г	8.8	816	903
30Г1Р	10.9	967	1 082
30Г2	10.9	1 017	1 116

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Окончание табл. 2

End of table 2

Марка стали	$\sigma_p, \%$	$\sigma_{\text{общ}}, \%$	$\frac{\Delta\sigma_{\text{ком}}}{\delta_{\text{лок}}}, \text{ Н/мм}^2/\%$
15кп	11,1	19	14,3
15кп	6,15	10,8	32,3
Ст3пс	5,53	10,7	37,73
20Г2	7,23	11,8	46,4
Ст5пс	6,39	10,5	58,3
10Г2	6	11	59,82
20Г	6,49	10	56,4
30Г1Р	6,62	9,7	95,89
30Г2	6,56	11	94,69

В интервалах значений предела прочности до 800 Н/мм^2 и предела текучести примерно до 700 Н/мм^2 более высокие значения рассматриваемых характеристик фиксируются при испытаниях готовых болтов, а выше указанных границ – для обточенных образцов.

Дополнительно нанесенные на рис. 1 значения, соответствующие данным работы [6], хорошо согласуются с указанными интервалами. Наблюдаемые максимальные различия в характеристиках сопротивления пластической деформации могут достигать $150\text{--}200 \text{ Н/мм}^2$, что значительно превышает ошибку эксперимента. На основании этого может происходить неоправданный перевод испытываемого образца в иной класс прочности.

Таблица 3

Механические свойства обточенных образцов

Table 3

Mechanical properties of the machined samples

Марка стали	Класс прочности	$\sigma_{0,2}, \text{ Н/мм}^2$	$\sigma_E, \text{ Н/мм}^2$
15кп	4.8	275,5	431
15кп	5.8	480	576
Ст3пс	6.8	554,5	633,5
20Г2	6.8	627	738,5
Ст5пс	8.8	742,5	879
10Г2	8.8	840,5	909
20Г	8.8	799,5	910,5
30Г1Р	10.9	1 131,5	1 185
30Г2	10.9	1 140	1 183

Окончание табл. 3

End of table 3

Марка стали	$\sigma_p, \%$	$\sigma_{\text{общ}}, \%$	$\frac{\Delta\sigma_{\text{ком}}}{\delta_{\text{лок}}}, \text{ Н/мм}^2/\%$
15кп	21	33	12,61
15кп	6,1	13,74	20,39
Ст3пс	6,4	15,03	26,16
20Г2	8,8	17,53	32,77
Ст5пс	9,9	15,85	41,51
10Г2	9,4	17,03	47,78
20Г	9,1	16,76	43,14
30Г1Р	9,3	13,12	69,71
30Г2	8,2	14,43	73,6

Согласно полученным экспериментальным данным по испытаниям обточенных образцов, расчет высокопрочных болтов для случая $\sigma_e \geq 800 \text{ Н/мм}^2$ приведет к получению завышенных результатов по сравнению с фактическими для готовых болтов. В результате получим искаженные представления относительно

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

надежности и долговечности их при эксплуатации. С другой стороны, использование данных, полученных на обточенных образцах для классов прочности первого интервала (рис. 1), приводит к противоположному по характеру эффекту – получению заниженных данных. В этом случае при использовании готовых болтов получаем неоправданный перерасход металла.

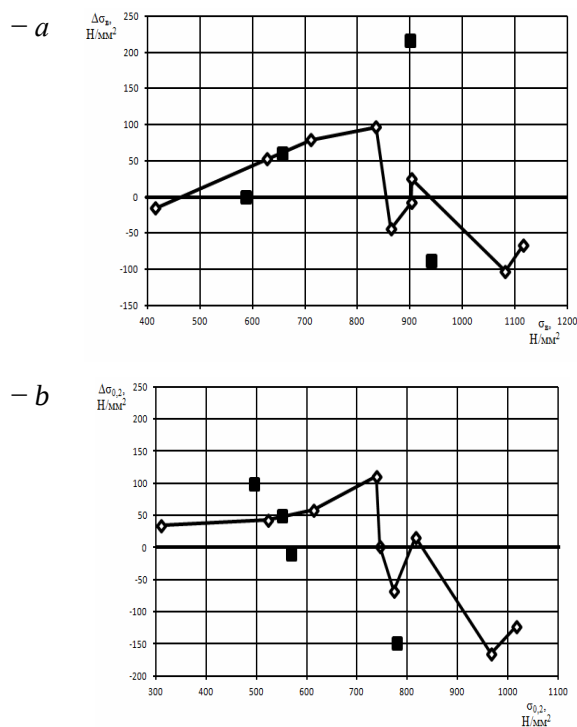


Рис. 1. Зависимость разницы между пределами прочности (а) и пределами текучести (б) для готовых болтов и обточенных образцов от уровня упрочнения по пределу прочности (а) и пределу текучести (б):
■ – точки, полученные обработкой данных работы [6]

Fig. 1. The dependence of the difference between the tensile strengths (a) and yield stress (b) for the finished bolts and weltd samples from the level of the hardening by tensile strength (a) and yield stress (b)
■ – points obtained by processing data of work [6]

Использование принципов геометрически-структурного упрочнения позволило объяснить влияние надреза или системы надрезов на прочностные характеристики металла готовых болтов.

Изменение прочностных характеристик на-пример, предела текучести, при наличии надрезов, по сравнению с их отсутствием, может быть описано в терминах нормальных напряжений ($\Delta\sigma_n$). Указанная зависимость для случая мелких надрезов имеет следующий вид [2]:

$$\Delta\sigma_n = \tau_m \cdot \left(\frac{\beta_n}{K_t} - \beta_0 \right),$$

где τ_m – предел текучести (в терминах касательных напряжений) объекта без надреза; β_n – степень жесткости напряженного состояния металла в области надрезов; K_t – теоретический коэффициент концентрации напряжений в области надрезов, определяемый только геометрией надреза; β_0 – степень жесткости напряженного состояния, определяемая только схемой нагружения объекта, без надрезов.

Из уравнения следует, что в случае $\Delta\sigma_n > 0$ и $\beta_n / K_t > \beta_0$ получаем эффект упрочнения, если же $\Delta\sigma_n < 0$ и $\beta_n / K_t < \beta_0$ – эффект разупрочнения. По действующим стандартам, для болтов с обычной геометрией резьбы, значение теоретического коэффициента концентрации напряжений (K_t) может быть оценено по соотношению:

$$K_t = 1 + a \sqrt{\frac{l_n}{\rho_n}},$$

где l_n и ρ_n – глубина и радиус «дна» надреза соответственно. Для случая исследованных болтов отношение указанных характеристик является постоянной величиной, равной $\sim 4,5$, при $a=1$. С другой стороны, следует учитывать значение эффективного коэффициента концентрации напряжений ($K_t^{\text{эфф}}$), который в действительности должен определять фактическую концентрацию напряжений в болте при его нагружении. Значение $K_t^{\text{эфф}}$ связано с величиной пластической релаксации упругих напряжений, которая приводит к увеличению значений ρ_n и, как следствие этого, к снижению концентрации напряжений [11, 14]. Кроме этого, следует учитывать зависимость релаксации напряжений от структурного состояния металла болта. В случае возрастания уровня упрочнения спо-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

способность металла к релаксации напряжений снижается, а значение $K_t^{\text{эфф}}$ увеличивается. Следовательно, при соблюдении условия $\beta_n/K_t^{\text{эфф}} > \beta_0$ наблюдается первый интервал (рис. 1), а когда постоянный рост $K_t^{\text{эфф}}$ приводит к соблюдению условия $\beta_n/K_t^{\text{эфф}} < \beta_0$, начинается второй интервал соотношения значений σ_e и $\sigma_{0,2}$ для болтов и обточенных образцов. Другими словами, рассматриваемое соотношение σ_e и $\sigma_{0,2}$ для болтов и обточенных образцов в первом интервале определяется упрочняющим, а во втором – разупрочняющим эффектом резьбы.

Различия в значениях характеристик пластичности и сопротивления вязкому разрушению (рис. 2, 3) в общем подтверждают негативное влияние резьбы на указанные характеристики.

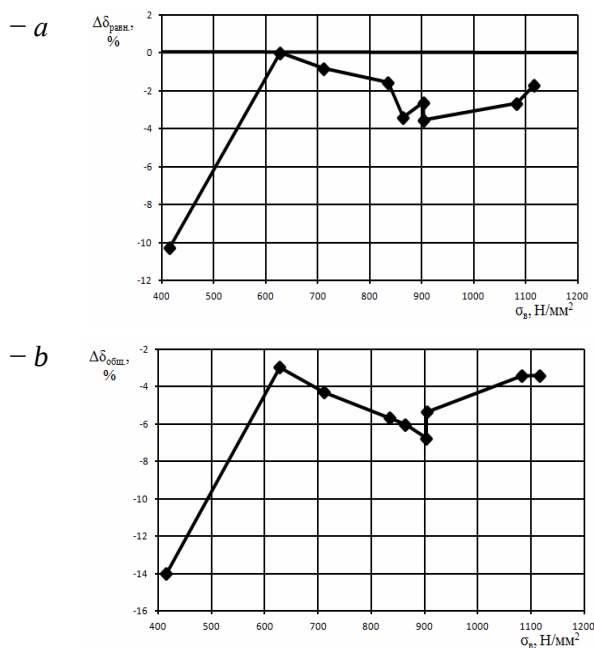


Рис. 2. Зависимость разницы между значениями равномерного (а) и общего (б) удлинения в зависимости от уровня упрочнения по пределу прочности

Fig. 2. The dependence of the difference between the values of the uniform (a) and the total (b) the elongation depending on the hardening by tensile strength

В то же время для структурного состояния металла после рекристаллизационного отжига наблюдаются значительные различия в общем и равномерном удлинении для болтов и обточенных образцов. С ростом уровня упрочнения наблюдаемые различия сначала существенно уменьшаются, а затем возрастают, хотя и не достаточно интенсивно. Гораздо более заметные различия в полученных данных испытаний для болтов и обточенных образцов наблюдаются при оценке по скорости падения номинального напряжения на стадии локализованной деформации и разрушения. Пропорционально уровню прочностных свойств металла возрастают и указанные различия (рис. 3).

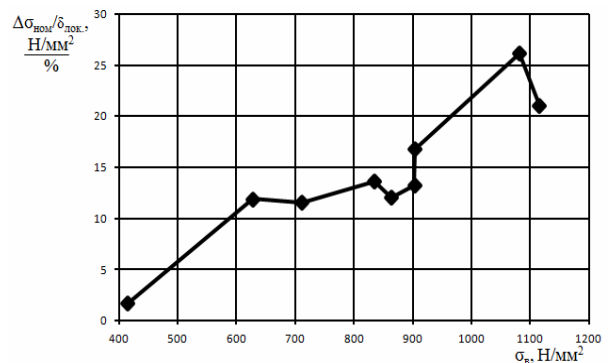


Рис. 3. Зависимость разницы между значениями условной скорости падения номинального напряжения для готовых болтов и обточенных образцов от уровня упрочнения

Fig. 3. The dependence of the difference between the values of the conditional rate of fall of the rated voltage for finished bolts and welded sample from the level of hardening

С учетом неизбежных перегрузок при эксплуатации изделий с высокопрочными болтовыми соединениями необходимо, кроме обточенных образцов, осуществлять испытания болтов в состоянии после завершения их изготовления.

Научная новизна и практическая значимость

Впервые экспериментально показано, что система функциональных надрезов на конкретных металлоизделиях может оказывать как упрочняющее, так и разупрочняющее влияние на характеристики сопротивления пластической

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

деформации. Для различных уровней прочности металла дано объяснение наблюдаемого феномена с использованием соотношения показателя концентрации напряжений и степени жесткости напряженного состояния в области надрезов. Ограничение механических испытаний только готовыми болтами, кроме получения большего соответствия определяемых свойств болтов их конструктивной прочности при эксплуатации, способствует уменьшению общей длительности и трудоемкости испытаний в целом.

Выводы

1. Уровень различий механических свойств, определяемых на готовых болтах и обточенных образцах количественно и качественно зависит от уровня упрочнения, а также от типа определяемых механических характеристик. При этом наиболее существенны различия по пределам текучести и прочности и сопротивлению вязкому разрушению.

2. Показано, что наличие функциональных надрезов (резьбы) на готовых болтах оказывает различное влияние на пределы текучести и прочности в зависимости от уровня упрочнения: увеличивает значение этих характеристик в интервале до 800 МПа и уменьшает их в интервале более 800 МПа. Предложено объяснение наблюдаемым эффектам на основе изменения соотношения показателей концентрации напряжений и степени жесткости напряженного состояния.

3. Из результатов следует, что комплекс механических свойств болтов достаточно определять при натурных испытаниях без изготовления и испытаний обточенных образцов. Это позволит получать характеристики в большей степени соответствующие конструктивной прочности болтов при эксплуатации при одновременном снижении общей длительности и трудоемкости испытаний.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Войнов, К. Н. Решение трибологических проблем транспорта / К. Н. Войнов // Трансп. Российской Федерации. – 2009. – № 2. – С. 60–63.
2. Гуль, Ю. П. Основные принципы и практика геометрически-структурного упрочнения металлосталей / Ю. П. Гуль // Сталь. – 2012. – № 8. – С. 40–45.
3. Гуль, Ю. П. Оценка конструктивной прочности высокопрочных болтов на основе результатов статочных испытаний / Ю. П. Гуль, А. В. Ивченко, М. Ю. Амбражей // Сталь. – 2011. – № 9. – С. 42–46.
4. Ивченко, А. В. Совершенствование стандартов и методов испытания арматурного проката на растяжение / А. В. Ивченко, Ю. П. Гуль // Металлург. и горноруд. пр-ть. – 2014. – № 6. – С. 125–128.
5. Ключник, С. В. Эпоха новых технологий на службе у мостовых конструкций / С. В. Ключник // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 33. – С. 111–113.
6. Матлин, М. М. Исследование влияния концентраторов напряжения на прочность болтовых соединений / М. М. Матлин, Д. С. Манукян // SWorld : сб. науч. тр. – Одесса, 2012. – С. 423–427.
7. Моисеенко, К. В. Влияние длины прямой вставки на допустимые скорости движения поездов смежными стрелочными переводами, уложенными по первой схеме / К. В. Моисеенко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 38. – С. 117–126.
8. Петерсон, Р. Коэффициенты концентрации напряжений / Р. Петерсон. – Москва : Мир, 1977. – 300 с.
9. Петриков, В. Г. Прогрессивные крепежные изделия / В. Г. Петриков, А. П. Власов // – Москва : Машиностроение, 1991. – 256 с.
10. Роговский, А. Г. Механические свойства болтов из легированной стали / А. Г. Роговский, Ф. А. Шепелева // Метизное пр-во. – 1974. – Вип. 4. – С. 100–113.
11. Тарханов, В. И. Статистическая и усталостная прочность резьбовых соединений / В. И. Тарханов, З. М. Садриев // Сб. науч. тр. V Междунар. науч.-техн. конф. (15.10-16.10.2009). – Ульяновск : УлГТУ, 2009. – С. 132–134.
12. Вакуленко, И. А. Морфология структуры и деформационное упрочнение стали / И. А. Вакуленко, В. И. Большаков. – Днепропетровск : Маковецкий, 2008. – 196 с.
13. Bickford, J. H. Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints / J. H. Bickford. – London : Taylor & Francis Group, 2013. – 564 p.
14. Pedersen, N. L. Optimization of Bolt Stress / N. L. Pedersen // 10th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization (19.05–24.05.2013). – 2013. – P. 142–148.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

15. Walter, D. Peterson's stress concentration factors / Inc., 2008. – 555 p.
D. Walter. – New Jersey : John Wiley & Sons,

Ю. П. ГУЛЬ¹, А. В. ІВЧЕНКО^{2*}, П. В. КОНДРАТЕНКО^{3*}, Г. І. ПЕРЧУН^{4*}

¹Каф. «Термічна обробка металів», Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, Дніпропетровськ, Україна, 49600, тел. +38 (0562) 46 24 53, ел. пошта kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua, ORCID 0000-0003-3754-7731

^{2*}Каф. «Термічна обробка металів», Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, Дніпропетровськ, Україна, 49600, тел. +38 (0562) 46 24 53, ел. пошта armst_2000@mail.ru, ORCID 0000-0002-4518-1744

^{3*}Каф. «Термічна обробка металів», Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, Дніпропетровськ, Україна, 49600, тел. +38 (0562) 46 24 53, ел. пошта Achriman@yandex.ua, ORCID 0000-0003-2242-3496

^{4*}Каф. «Термічна обробка металів», Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, Дніпропетровськ, Україна, 49600, тел. +38 (0562) 46 24 53, ел. пошта kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua, ORCID 0000-0001-9013-4659

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОМПЛЕКСУ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ, ОТРИМАНИХ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ ГОТОВИХ БОЛТІВ ТА ОБТОЧЕНИХ ЗРАЗКІВ

Мета. Робота спрямована на опис системного експериментального дослідження впливу рівня зміцнення на співвідношення комплексів механічних властивостей готових болтів і обточених зразків. Аналіз отриманих даних на основі принципів геометрично-структурного зміцнення. **Методика.** Випробування на одноосний розтяг проводилися як на повнорозмірних болтах, так і на обточених зразках до діаметрів 10 і 8 мм на випробувальній машині FP – 100/1 із записом повної діаграми деформації та руйнування. **Результати.** Встановлено, що рівень міцності якісно і кількісно надає різний вплив на співвідношення характеристик опору пластичній деформації, характеристик пластичності та опору в'язкому руйнуванню, які визначаються на готових болтах й обточених зразках. При цьому проведений аналіз дозволяє вважати, що комплекс механічних властивостей, що визначається на готових болтах, найбільш адекватний їх механічній поведінці при експлуатації. Такий висновок особливо важливий для здавальних випробувань болтів класу міцності 8.8 і вище. **Наукова новизна.** Вперше експериментально показано, що система функціональних надрізів на конкретних металовиробах може надавати як зміцнюючий, так і знеміцнюючий вплив на характеристики опору пластичній деформації в термінах нормальних напружень в залежності від рівня зміцнення. Дано тлумачення спостережуваного феномена на основі зміни співвідношення показника концентрації напружень і ступеня жорсткості напруженого стану в області надрізів. **Практична значимість.** Обмеження механічних випробувань тільки готовими болтами, крім отримання більшої відповідності визначальних властивостей болтів їх конструктивній міцності при експлуатації, зменшують загальну тривалість і трудомісткість випробувань.

Ключові слова: високоміцні болти; готові болти; обточені зразки; випробування на розтяг; механічні властивості; надріз

Y. P. GUL¹, A. V. IVCHENKO^{2*}, P. V. KONDRATENKO^{3*}, G. I. PERCHUN^{4*}

¹Dep. «Metal Heat Treatment», National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Av., 4, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600, tel. +38 (0562) 46 24 53, e-mail kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua, ORCID 0000-0003-3754-7731

^{2*}Dep. «Metal Heat Treatment», National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Av., 4, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600, tel. +38 (0562) 46 24 53, e-mail armst_2000@mail.ru, ORCID 0000-0002-4518-1744

^{3*}Dep. «Metal Heat Treatment», National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Av., 4, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600, tel. +38 (0562) 46 24 53, e-mail Achriman@yandex.ua, ORCID 0000-0003-2242-3496

^{4*}Dep. «Metal Heat Treatment», National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Av., 4, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600, tel. +38 (0562) 46 24 53, e-mail kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua, ORCID 0000-0001-9013-4659

COMPARATIVE ANALYSIS OF COMPLEX MECHANICAL PROPERTIES OBTAINED IN TESTS ON FINISHED BOLTS AND TURNED SAMPLES

Purpose. The purpose of the work is provided by the system experimental study of the effect of strengthening the level of the ratio of complex mechanical properties of the finished bolts and peeled samples and analysis of the data on the basis of geometric and structural reinforcement. **Methodology.** A uniaxial tensile test was carried out on full-size bolts and the peeled samples to diameters of 10 mm and 8 mm at a testing machine FP – 100/1 recording full diagram of deformation and fracture. **Findings.** The level of strength of qualitatively and quantitatively has different effects on the characteristics of the ratio of resistance to plastic deformation and ductility characteristics ductile fracture resistance, determined on the finished bolts and peeled samples. At the same time, the analysis suggests that the combination of mechanical properties determined on finished bolts, the most adequate to their mechanical behavior during operation. This conclusion is particularly important for acceptance testing of bolts of strength class 8.8 or higher. **Originality.** For the first time experimentally shown that the system is functional cuts on specific metal products can have both hardening and softening effect on the characteristics of resistance to plastic deformation in terms of normal stress depending on the level of hardening and given an interpretation of the observed phenomena on the basis of changes in the ratio of the concentration of eg-tions and the degree of rigidity of the stress state in the cuts. **Practical value.** Limitation of mechanical tests are only willing bolts, other than greater consistency determines the properties of their structural strength bolts in the operation, reduce the overall time-consuming tests.

Keywords: high-strength bolts; ready to bolt; planed samples; tensile test; mechanical properties; incision

REFERENCES

1. Voynov K.N. Resheniye tribologicheskikh problem transporta [The solution of tribological problems of transport]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of Russian Federation*, 2009, no. 2, pp. 60-63.
2. Gul Yu.P. Osnovnyye printsipy i praktika geometricheski-strukturnogo uprochneniya metalloizdeliy [Basic principles and practice of geometric and structural hardening of metal]. *Stal – Steel*, 2012, no. 8, pp. 40-45.
3. Gul Yu.P., Ivchenko A.V., Ambrazhey M.Yu. Otsenka konstruktivnoy prochnosti vysokoprochnykh boltov na osnove rezultatov sdatochnykh ispytaniy [Evaluation of the structural strength of high-strength bolts based on the results of delivery trials]. *Stal – Steel*, 2011, no. 9, pp. 42-46.
4. Ivchenko A.V., Gul Yu.P. Sovershenstvovaniye standartov i metodov ispytaniya armaturnogo prokata na rastyazheniye [The improvement of standards and test methods for reinforcing bars in tension]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost – Metallurgical and Mining Industry*, 2014, no. 6, pp. 125-128.
5. Klyuchnik S.V. Epokha novykh tekhnologiy na sluzhbe u mostovykh konstruktsiy [Era of new technologies for bridges constructions]. *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 33, pp. 111-113.
6. Matlin M.M., Manukyan D.S. Issledovaniye vliyaniya kontsentratorov napryazheniya na prochnost boltovykh soedineniy [Study of the stress concentrations effect on the strength of bolted connections]. *Sbornik nauchnykh trudov SWorld* [Proc. of SWorld]. Odessa, SWorld Publ., 2012, pp. 423-427.
7. Moyseyenko K.V. Vliyaniye dliny pryamoy vstavki na dopustimyye skorosti dvizheniya poyezdov smezhnymi strelochnymi perevodami, ulozhennymi po pervoy skheme [Fathom influence of straight insertion on allowed speed by allied pointworks which are created by the first scheme]. *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. 117-126.
8. Peterson R. *Koeffitsienty kontsentratsii napryazheniy* [The coefficients of stress concentration]. Moscow, Mir Publ., 1977. 300 p.
9. Petrikov V.G., Vlasov A.P. *Progressivnyye krepzhenyye izdeliya* [Progressive fasteners]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1991. 256 p.
10. Rogovskiy A.G., Shepeleva F.A. Mekhanicheskiye svoystva boltov iz legirovannoy stali [Mechanical properties of alloy steel bolts]. *Metiznoye proizvodstvo – Hardware Production*, 1974, issue 4, pp. 100-113.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

11. Tarkhanov V.I., Sadriev Z.M. Statisticheskaya i ustalostnaya prochnost rezbovykh soyedineniy [Statistical and fatigue strength of threaded connections]. *Sbornik nauchnykh trudov V Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (15.10.–16.10. 2009)* [Proc. of V Intern. Scientific and Technical Conf.]. Ulyanovsk, 2009, pp. 132-134.
12. Vakulenko I.A., Bolshakov V.I. *Morfologiya struktury i deformatsionnoye uprochneniye stali* [The morphology of the structure and work hardening of steel]. Dnepropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2008. 196 p.
13. Bickford J.H. *Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints*. London, Taylor & Francis Group Publ., 2013. 564 p.
14. Pedersen N.L. Optimization of Bolt Stress. 10th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization (19.05.–24.05.2013), 2013, pp. 142-148.
15. Walter D. Peterson's stress concentration factors. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc. Publ., 2008. 555 p.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. С. И. Губенко (Украина); д.т.н., проф. Г. Д. Сухомлином (Украина); д.т.н., проф. И. А. Вакуленко (Украина)

Поступила в редколлегию: 30.04.2015

Принята к печати: 14.08.2015

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

UDC 656.073:519.86

N. V. KHALIPOVA^{1*}

^{1*}Dep. «Transport Systems and Technologies», University of Customs Service and Finance, Dzerzhinsky St., 2/4, , Dnipropetrovsk, Ukraine, 49000, tel. +38 (056) 46 95 98, e-mail khalipov@rambler.ru, ORCID 0000-0001-5605-6781

INTERNATIONAL LOGISTICS SYSTEMS DESIGN AND EFFECTIVENESS EVALUATION

Purpose. In the paper the question of the development of a methodological approach to the determination of logistics systems' performance and grounding of the most effective goods' delivery schemes, based on the theory of functions and sets of multiple objects, vector optimization approaches and discrete maximum principle for multi-stage processes (phase method) is considered. **Methodology.** To achieve the goals of the research, the model of logistic system is represented by the multiple object, it is defined by the structure and content. The object is represented by hybrid superposition, composed of sets, multi-sets, ordered sets (lists) and inhomogeneous sets (sequences, corteges), which at each stage of cargo delivery present sets of technological operations of their processing, choices and decisions algorithms. Multiple structure of objects is constructive three, consisting of the carrier, signatures and axiomatic. To determine the effective scheme of delivery, discrete maximum principle using vector optimization criterion is applied. **Findings.** In this article logistics system of delivery is presented in the form of a multi-stage (phase) of the process. Each stage reviews a plurality of discrete activities sets, which includes the possible technology cycles of operations in goods handling. At each stage of a multi-phase delivery process from the supplier to the consumer, these sets are different. A model example solving the problem of vector optimization options for delivery of goods by the road in the international logistics system for the five-step process is considered. Optimization is performed on the basis of three indicators. **Originality.** In this paper, the choice of the most effective way of delivery goods is produced using the theory of functions and sets of multiple objects, using the discrete maximum principle for multi-stage processes, based on the vector optimization criterion. At each of its stages are formed a plurality of valid solutions as discrete sets of technological cargo handling operations cycles. **Practical value.** The proposed approach to the modeling of logistic delivery goods systems on the basis of the theory of functions and sets of multiple objects, vector optimization approaches and discrete maximum principle for multi-stage processes (phase method) makes it possible to assess the efficiency of delivery in logistic system's modeling. The choice of the most effective delivery option, based on vector optimization criterion becomes more possible.

Keywords: efficiency of logistics systems; discrete maximum principle; multiple objects; vector optimization; efficiency of delivery

Introduction

The current stage of logistics development is characterized by the appearance of fundamental changes in the organization and management of market processes in the global economy [7]. There is an opportunity to

monitor all phases of the product moving through modern communication technologies. There is an actively developing field which provides services in the field of logistics. Conceptual provisions of logistics, its integration role become recognized of the majority of logistic processes participants. It takes holistic set of conductive-material subjects.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

The process of globalization is one of the major trends in the development of macrologistical systems in the world today and is manifested in the interdependence and interpenetration of national economies [8]. The development of macro logistics is under influence of the regional economy characteristics. Regionalization is manifested at the level of individual countries as well as international scope. Formation of numerous integration ties between the regions of the country, as well as with foreign countries necessitates logistics management of interregional numerous material, attendant financial and information flows.

The diversity and complexity of the processes were shown in the modelling of foreign economic activity macrologistical system [10]. Meeting the challenges in macrologistical system is done by simulation of a set of tasks that are qualitatively and quantitatively characterize each of the stages – providing material resources; production, storage, transportation, distribution of material resources, information management; flow control at border crossings and logistics services; targeted use of material resources. In a globalized world economic processes appeared the necessity to include into the model tasks of customs logistics and consideration in conjunction with other areas of international activities.

Logistics system can be considered, dividing it into three levels [4]. The first, spatial one is manifested through connection between the elements of the system and goods flow and belong to the task of logistical chain localization, places to demand creation, communication networks between these units. The second, organizational level covers methods of organization and supply chain management for the purpose of mutual coordination functions of the individual elements of the logistics system in the scope of the operational, financial and marketing management functions. The third, information level, is defined as the flow of funds and information. At each level, there are streams, as well as the relationships between the elements of the corresponding structures. These tightly interconnected elements together form a single conglomerate, which reflects the multidimensional nature of the logistics system. This equally applies to the macro and micro logistics.

Among the fundamental principles of logistics stand out the principle of logistics system total costs optimization, which include operational lo-

gistics costs (costs of transportation, warehousing, materials handling, etc.), Transaction and other administrative costs [6].

Goals of macrologistical systems creating significantly differ from the objectives and criteria of micrologistical systems synthesis. In most cases, the criterion of minimum total logistics costs was used in the synthesis of macrologistical systems. However, the most common criteria for the formation of macrologistical systems are determined by environmental, social, military, political, and other objectives [9].

Successful supply chain management requires cross-functional integration of key business processes within the firm and across the network of firms that comprise the supply chain. It is focused on the management of key relationships and the improvements in performance that can be achieved [14].

The contribution of research [13] lies in the development of a new decision support approach that is flexible and applicable to logistics service providers, in selecting multimodal transportation route under the multi-criteria in term of cost, time, risk and importantly the environmental impact.

Tasks associated with the movement of material flow in logistics can be considered as a multi-stage (phase) process. However, they belong to different functional areas and require a comprehensive review on the basis of many criteria for rational and (or) optimal use of resources throughout the logistics system. Thus, the task of analyzing the international logistics system can be formulated as a problem of vector optimization [3].

Purpose

We represent the logistic system of cargo delivery in the form of several successive stages (phases). At each stage, we consider the multiplicity of discrete activities sets, which includes possible technological cycle of operations in cargo handling. At each stage of multi-phase delivery process from the supplier to the consumer, these sets are different and form a multiplicity of sets (lists) technological operations $W = [W_I, W_{II}, \dots, W_N]$, available to the alternative or joint selection at each stage. Each stage comprises a set of technological operations $W_I = \{\omega_{j(I)}^{k(j)}\}$, $I = \overline{I}, \bar{N}$, where: N – the number of phases, which are determined by the index I . Index $j(I)$ indicates possible sets of ac-

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

tions on stage I . Each of the operations of the selected process cycle is indicated by the index $k(j)$. Process operations are subject to selection, based on algorithms $\Xi_i = \{\theta_{ij}\}, i=1, N$ for each of the stages I . Logistics system Γ consists of many supply chains, which are formed based on lists $\gamma_{ijk} = [[W_I, \Xi_1], [W_{II}, \Xi_2], \dots, [W_N, \Xi_N]]$ and are options of cargo delivery.

The theoretical approach to the definition of logistics systems performance – based on theory of functions set and multiple objects, vector optimization approaches and application of the discrete maximum principle for the processes that contain series of successive phases, proposed in [11].

To determine the most effective option, we formulate a vector criterion, where each of the chains γ from Γ corresponds the time of delivery $T(x_1^N)$, delivery expenses $C(x_2^N)$, which should be as small as possible. Assessment of additional factors (environmental, social, military, political, etc.) that characterize macrologistical system, we present by indicator $P(x_3^N)$, which can be expressed in costs or points according to expert estimates and minimize it. We write a criterion as:

$$\begin{pmatrix} x_1^N(\gamma) \\ x_2^N(\gamma) \\ x_3^N(\gamma) \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad (1)$$

where $\gamma \in \Gamma$.

Methodology

Considered indicators are functions of multiple objects [1, 2, 12, 15, 16]. At each stage of material flows, promotion of multiple objects composition may vary, depending on selected set of operations in the process of storage, transportation, customs clearance, and others. A set of technological operations at each step may depend on the adopted at the previous step solutions and lead to changes in logistics circuit at later stage, which affects the assessment of overall delivery efficiency.

We introduce a topological space $\langle \Gamma, \mathfrak{R}(\Gamma), \mu(\cdot) \rangle$. We introduce the function $\mathfrak{R}(\Gamma)$ on the sets. In the case where these sets contain the one point, they will be $x_1^N(\gamma)$, $x_2^N(\gamma)$ and $x_3^N(\gamma)$.

Mathematically the variation of process steps in the formation of the supply chain at each stage of the movement, expressed by the operation of symmetric difference of two sets, which includes «needle variation» by McShane [15]. Then, to determine the optimal value of the logistic system, considered the task of function set optimization [3].

For the introduced topological space with measure we use the derivative of the function sets as:

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

Vector optimization problems can be formulated in such way. We consider that the chain is « γ_1 better than γ_2 » on the indicators, presented by the vector criterion (1), which refers to the ratio of Pareto if

$$\left. \begin{aligned} T(\gamma_1) &\leq T(\gamma_2) \\ B(\gamma_1) &\leq B(\gamma_2) \\ P(\gamma_1) &\leq P(\gamma_2) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Solution of the problem (1) is a set of incomparable by Pareto chains $\Gamma_* \subseteq \Gamma$.

Two sets γ_1 and $\gamma_2 \in \mathfrak{R}(\Omega_{JC})$ are incomparable, if among the inequalities (2) there is at least one strict reverse inequality.

According to (1) determine the rule of selection (criterion) of «best» sets. This is known as the Pareto ratio [3].

Due to the discreteness of the multiple stages Γ , the task of vector optimization (1) has a solution.

During the formation of the supply chain, the following variation of the set may be possible:

1) variations at certain stages in the sets of technological operations. The purpose of such modifications is to enhance the system's efficiency or to optimize technological cycle. Such changes do not affect the effectiveness of the following steps in the selected supply chain of goods and cargo.

2) variations, which occur in decision making on specific stage, which affect all the subsequent steps and should be considered for evaluating the effectiveness for each of the subsequent stages, as well as the whole chain in general. An example of such a variation is, for example, the choice of

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

transportation mode for delivery or logistical intermediary etc.

Formation of the supply chain is shown in fig. 1, where a comparison of each $W \in \Omega$ of W_{nj} set is a multi-valued mapping. It is firstly shown the formation of all the system's elements based on decision-making Ξ_i (design): selection of the cargo type for transportation, packaging, choice of route, customers, suppliers and intermediaries, the definition of the border crossing checkpoints between states etc. Next shown phases (process steps) W_I which passes the cargo, moving from the supplier to the consumer, displaying cycles of technological operations at each stage, elected on the basis of decision-making Ξ_I .

Circles highlight selected in accordance to the algorithm Ξ_i elements of multi-stage freight

(goods) delivery system without additional technological operations selection. Squares outline elements of the system, the selection of which by the algorithm Ξ_i entails the relevant manufacturing operations execution on selected objects, shown as the lists $W_I = \{\omega_{j(i)}^{k(j)}\}$, $I = \overline{1, N}$.

Fig. 1 line γ_1 , which connects the objects shows one embodiment of the formation of the supply chain in the logistics system Γ in a result of decision-making Ξ'_i . Possible variations in the performance of a specific set of technological cycle indicated by the line γ'_1 . Line γ_2 shows another embodiment of delivery chain which is formed as a result of decision Ξ''_i .

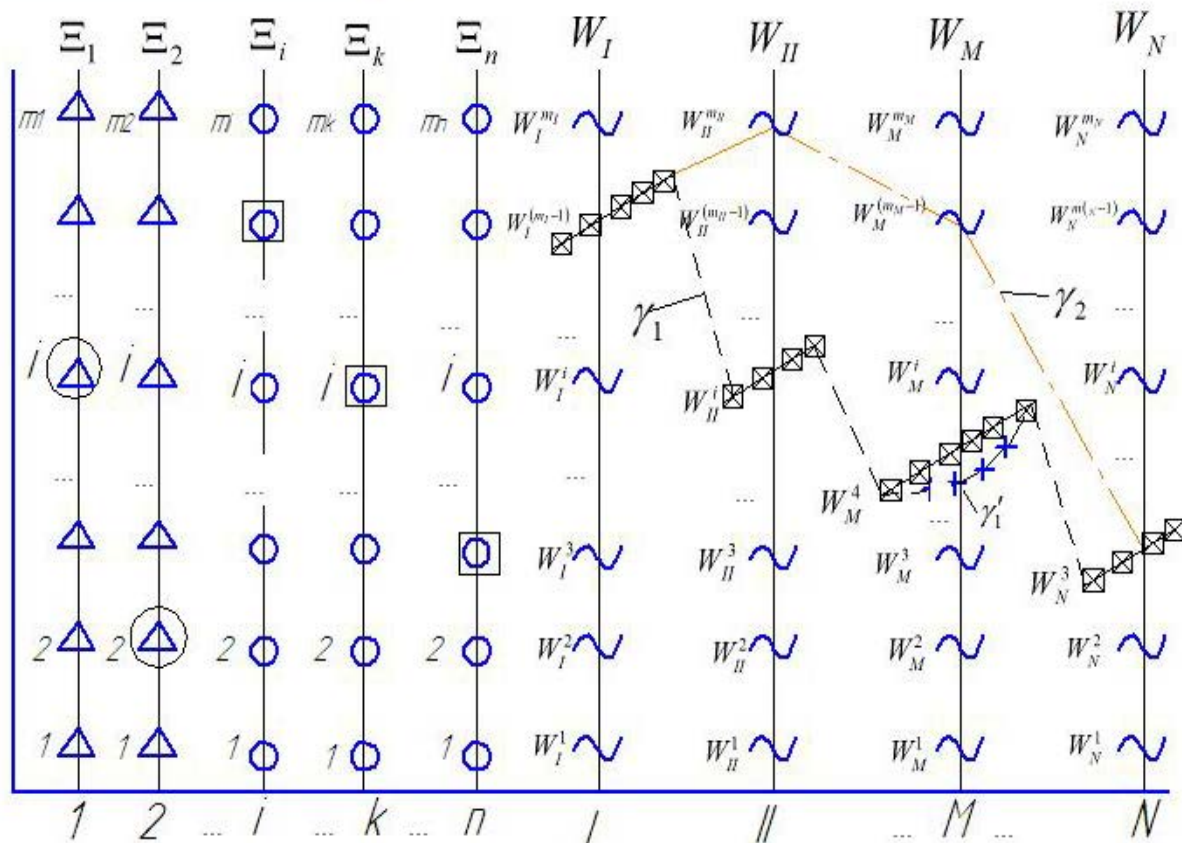


Fig. 1. Geometric representation of a multivalued mapping

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Transformation equation for loads delivery in phases [5]

$$x^n = T^n(x^{n-1}, \theta^n), \quad n = \overline{1, N} \quad (3)$$

where $x^n = (x_1^n, \dots, x_s^n)$ characterizes the state at each stage, and $\theta^n = (\theta_1^n, \dots, \theta_t^n)$ – admissible controls.

Acceptable controls

$$\theta^n \in \Xi, \quad n = \overline{1, N} \quad (4)$$

The initial state $x^0 = x^t$.

It is necessary to find $\theta^n, n = \overline{1, N}$ which satisfy (4) to

$$J = \Phi(x^N) \rightarrow \max \quad (5)$$

We introduce the Hamiltonian function

$$H^n = \sum_{i=1}^s z_i^n T_i^n(x^{n-1}, \theta^n), \quad n = \overline{1, N} \quad (6)$$

and conjugated system

$$z_i^{n-1} = \frac{\partial H^n}{\partial x_i^{n-1}}, \quad i = \overline{1, s}; \quad n = \overline{1, N} \quad (7)$$

with the boundary conditions

$$z_i^N = \frac{\partial \Phi(x^N)}{\partial x_i^N}, \quad i = \overline{1, s} \quad (8)$$

Possible variation of the Hamiltonian function

$$\delta H(\bar{\theta}) = \sum_{i=1}^t \frac{\partial H(\bar{\theta})}{\partial \theta_i} \delta \theta_i \quad (10)$$

where $\bar{\theta}$ and $\bar{\theta} + \delta \theta$ belongs to the domain of admissible controls.

Terms of optimal control and application of the maximum principle for discrete processes are described in [5] and given in [11].

Let the delivery of cargo from point A to point B occurs in N phases. Accept that a multistep process is simple, consists of stages with one input and the output.

Justification of the generalized maximum principle for the case where at each stage of cargo movement $I = \overline{1, N}$ formed its own range of feasible solutions W_I , shown in [11]. The evaluation was conducted based on three indicators.

Transformation equations have the form

$$x_1^n = x_1^{n-1} + t(\omega^n);$$

$$x_2^n = x_2^{n-1} + c(\omega^n);$$

$$x_3^n = x_3^{n-1} + p(\omega^n).$$

where x_1^n – the time for completion of the first phase; x_2^n – the cost of the passage of the first phase; x_3^n – assessment of additional factors (ecological, social, military, political, etc.) during the passage of the first n phases, presented by costs or points according to experts; $t(\omega^n)$ – passage of n -th phase, if the event ω^n is accepted; $c(\omega^n)$ – cost of funds for the n -th phase if the event ω^n is accepted; $p(\omega^n)$ – values for an additional factor in n -th phase, if the event ω^n is accepted; W^n – set of activities in n -th phase.

The initial values $x_1^0 = x_2^0 = x_3^0 = 0$.

The problem of vector optimization

$$\begin{pmatrix} x_1^N \\ x_2^N \\ x_3^N \end{pmatrix} \rightarrow \min. \quad (11)$$

We introduce a measure

$$J = \mu_1 x_1^N + \mu_2 x_2^N + \mu_3 x_3^N.$$

where $\mu_1 = 1, \mu_i \geq 0, i = \overline{2, 3}$.

The Hamiltonian function is follow

$$H^n = z_1^n (x_1^{n-1} + t(\omega^n)) + z_2^n (x_2^{n-1} + c(\omega^n)) + z_3^n (x_3^{n-1} + p(\omega^n)).$$

where the conjugate variables z_1^n, z_2^n and z_3^n determined from the equations

$$z_1^{n-1} = \frac{\partial H^n}{\partial x_1^{n-1}} = z_1^n;$$

$$z_2^{n-1} = \frac{\partial H^n}{\partial x_2^{n-1}} = z_2^n;$$

$$z_3^{n-1} = \frac{\partial H^n}{\partial x_3^{n-1}} = z_3^n.$$

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

With final values

$$z_1^N = \frac{\partial J}{\partial x_1^N} = \mu_1;$$

$$z_2^N = \frac{\partial J}{\partial x_2^N} = \mu_2;$$

$$z_3^N = \frac{\partial J}{\partial x_3^N} = \mu_3.$$

In this way,

$$z_1^n = 1, \quad z_2^n = \mu_2, \quad z_3^n = \mu_3, \quad n = \overline{1, N}.$$

The Hamiltonian in this case takes the form

$$H^n = x_1^{n-1} + \mu_2 x_2^{n-1} + \mu_3 x_3^{n-1} + (t(\omega_i^n) + \\ + \mu_2 c(\omega_i^n) + \mu_3 p(\omega_i^n)).$$

minimal value at decisions which are taken, defined as follows

$$t(\bar{\omega}_i^n) + \mu_2 c(\bar{\omega}_i^n) + \mu_3 p(\bar{\omega}_i^n) = \\ = \min_{\omega_i^n \in W^n} (t(\omega_i^n) + \mu_2 c(\omega_i^n) + \mu_3 p(\omega_i^n)).$$

Thus, brute $\mu_i \geq 0, i = \overline{2, 3}$, we obtain a parametric representation of the vector optimization problem solution, and excluding $\mu_i, i = \overline{2, 3}$, we get the relationship between x_1^n, x_2^n and x_3^n .

Findings

Consider the example of a model for solving the task of vector optimization for case of international container shipping by truck from the supplier *A* to the consumer *B* with one conciliator – international automobile checkpoint (IAC) at the border. Accept that the delivery of the goods is carried out in five phases: service provider; delivery to the border by a car; service at border crossings; delivery to the consumer and the consumer service.

We assume that the number of technological cycles of operations in each phase determined by the vector $M = (3 \ 2 \ 5 \ 1 \ 4)$. Amount of time (quantity of days) for performing each of the technological cycles given in the matrix T . Expenses (thous. \$) to perform the corresponding operations

are given in the matrix C . The matrix P shows expenses (thous. \$) To ensure environmental safety of transport:

$$C := \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 0 & 0 \\ 4 & 7 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 8 & 10 & 20 & 50 \\ 17 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 5 & 9 & 15 & 0 \end{bmatrix}$$

$$T := \begin{bmatrix} 10 & 6 & 5 & 0 & 0 \\ 4 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 5 & 4 & 3 & 2.5 \\ 1.7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 2.5 & 2.1 & 1.5 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P := \begin{bmatrix} 11 & 7 & 5 & 0 & 0 \\ 5 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 5 & 4 & 3 & 2.5 \\ 2.7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 3.5 & 2.1 & 1.5 & 0 \end{bmatrix}$$

Realization of the phase method is implemented in Maple-7 environment. Calculations were carried out by changing parameters μ_2, μ_3 from 0 to 10 in increments of 0.01. Thus were obtained nine different selectors γ_i of cargo delivery from *A* to *B*.

Table 1 shows the selectors $\gamma_i, i = \overline{1, 9}$ that represents the sequence of selected in each of the phases technologies, as well as the costs for shipping C_i , delivery time T_i and environmental costs P_i for each of selectors.

Two of the resulting solutions of vector optimization task shown in fig. 2 (*a, b, c*), 2 (*d, e, f*). On the axes of graphs displayed parameters (run-time of operations, the expenses and environmental costs) for the selectors to ensure the fulfilment of the vector criterion (11). Axis identifiers correspond to the serial number of the selector given in the table 1. Selectors, beginning from the vertical axis directed upwards, are taken in that order (clockwise) that with increasing delivery costs parameters characterizing the time of delivery and the costs of environmental safety, reduces.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

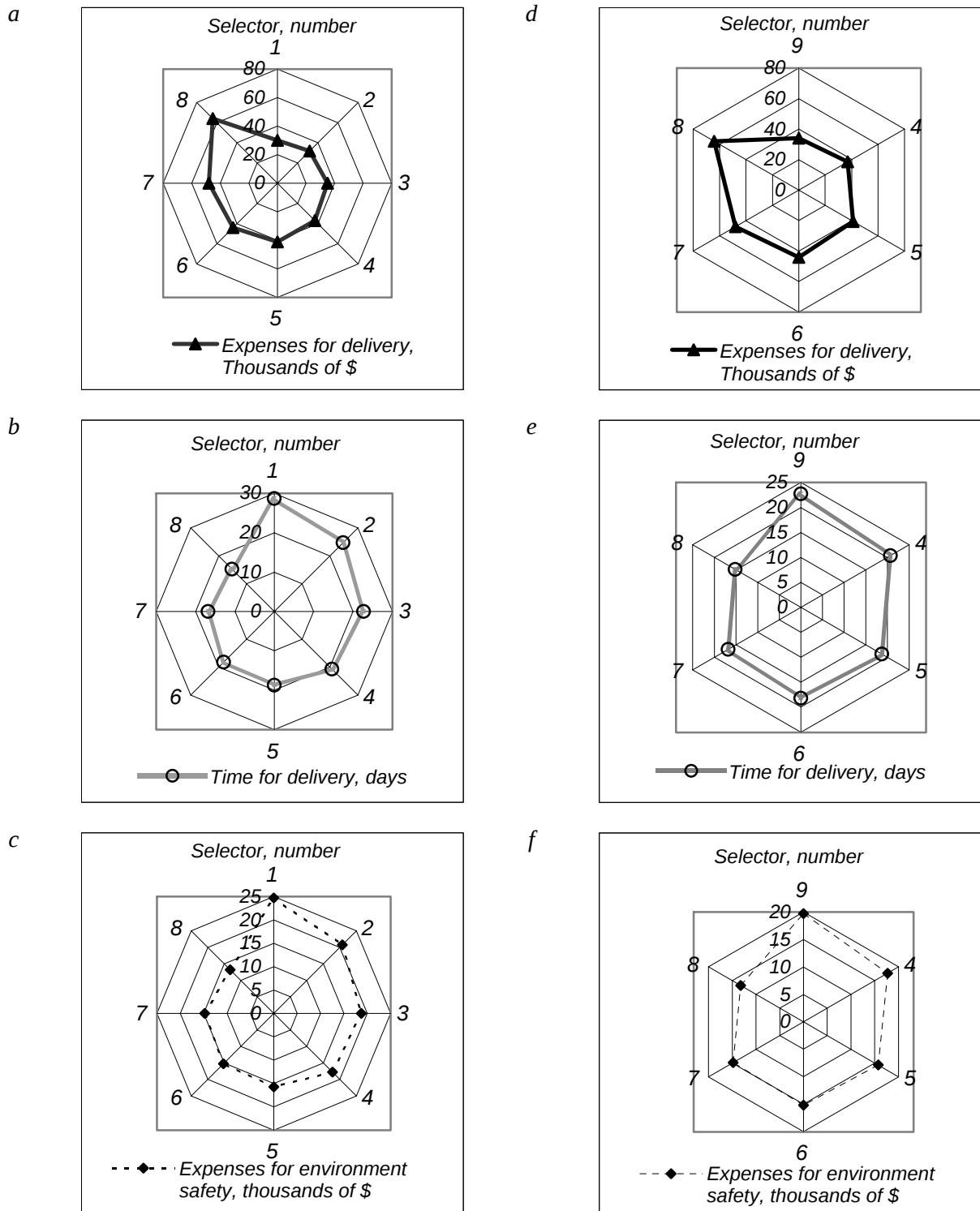


Fig. 2. Solutions to the vector optimization problem: axis identifiers «1» ... «9» indicate the number of selector from tab. 1.

Table 1

Options for delivery from the supplier A to the consumer B

Selector	The set of technological operations in phases					Expenses for delivery C_i , Thousands of \$	Time for delivery T_i , days	Expenses for environment safety P_i , thousands of \$
	I	II	III	IV	V			
γ_1	$W_{I,1}$	$W_{II,1}$	$W_{III,1}$	$W_{IV,1}$	$W_{V,1}$	30	24,7	28,7
γ_2	$W_{I,2}$	$W_{II,1}$	$W_{III,1}$	$W_{IV,1}$	$W_{V,1}$	32	20,7	24,7
γ_3	$W_{I,2}$	$W_{II,2}$	$W_{III,1}$	$W_{IV,1}$	$W_{V,1}$	35	18,7	22,7
γ_4	$W_{I,2}$	$W_{II,2}$	$W_{III,1}$	$W_{IV,1}$	$W_{V,1}$	37	17,7	20,7
γ_5	$W_{I,3}$	$W_{II,2}$	$W_{III,3}$	$W_{IV,1}$	$W_{V,1}$	41	15,7	18,7
γ_6	$W_{I,3}$	$W_{II,2}$	$W_{III,3}$	$W_{IV,1}$	$W_{V,2}$	44	15,2	18,2
γ_7	$W_{I,3}$	$W_{II,2}$	$W_{III,3}$	$W_{IV,1}$	$W_{V,3}$	48	14,8	16,8
γ_8	$W_{I,3}$	$W_{II,2}$	$W_{III,4}$	$W_{IV,1}$	$W_{V,4}$	64	13,2	15,2
γ_9	$W_{I,3}$	$W_{II,1}$	$W_{III,1}$	$W_{IV,1}$	$W_{V,1}$	32	20,7	24,7

The effective solutions area, obtained thus way, considered by the decision maker (DM), to take the necessary option. For example, the axis of the identifier «1» in fig. 2 (a, b, c) corresponds to the selector γ_1 with sequence of technological cycles $W_{I,1}$, $W_{II,1}$, $W_{III,1}$, $W_{IV,1}$, $W_{V,1}$ and the following values of parameters: $C_i = 30$ thousand. \$; $T_i = 24.7$ days; $P_i = 28.7$ thousands. \$. The axes with identifier «2» – selector γ_2 . Thus, we have a sequence of selectors γ_1 , γ_2 , γ_3 , γ_4 , γ_5 , γ_6 , γ_7 , γ_8 , which represent the solution of vector optimization. On separate diagrams represented each of the three indicators: for the first option – in fig. 2 (a, b, c) and to the second – in fig. 2 (d, e, f).

Originality and practical value

In this paper the choice of the most effective way of delivery goods produced using the theory of functions and sets of multiple objects, using the discrete maximum principle for multi-stage processes, based on the vector optimization criterion. At each of its stages are formed a plurality of valid solutions as discrete sets of technological cargo handling operations cycles.

The proposed approach to the modeling of logistic delivery goods systems on the basis of the theory of functions and sets of multiple objects, vector optimization approaches and discrete maximum principle for multi-stage processes (phase method) makes it possible to assess the efficiency of delivery in logistic system's modeling and choose the most effective delivery option, based on vector optimization criterion.

Conclusions

The paper shows the application of the discrete maximum principle for evaluating the effectiveness of the goods delivery in logistical system of delivery modelling in the form of a multi-stage (phase) process, where at each stage of cargo movement $I = \overline{I, N}$, formed its own range of feasible solutions W_I , representing a plurality of discrete sets of activities, which includes possible technological cycle of operations in cargo handling.

The logistic system model presented as multiple object that contains a set of technological operations of cargo handling, as well as the algorithms of choice and decision-making at every stage.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

To select the most efficient delivery options, formulated vector criterion which based on three indicators as well as considered model example of vector optimization task solving.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Босов, А. А. Множественные объекты / А. А. Босов, В. М. Ильман, Н. В. Халипова // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 3 (57). – С. 145–161. doi: 10.15802/stp2015/46075.
2. Босов, А. А. Структурная сложность систем / А. А. Босов, В. М. Ильман // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 40. – С. 173–179.
3. Босов, А. А. Функции множеств и их применение : монография / А. А. Босов. – Днепропетровск : Андрей, 2007. – 182 с.
4. Крикавский, С. В. Логістика. Основы теорії : підручник / С. В. Крикавський. – Львів : ІНТЕЛЕКТ-Захід, 2006. – 456 с.
5. Лянь-Цэнь, Ф. Дискретный принцип максимума. Оптимизация многоступенчатых процессов / Ф. Лянь-Цэнь, В. Чу-Сен ; под ред. А. И. Проппа ; [пер. с англ. В. И. Кузьмина, Х. Л. Мучника]. – Москва : Мир, 1967. – 181 с.
6. Моисеева, Н. К. Экономические основы логистики : учеб. для вузов / Н. К. Моисеева. – Москва : ИНФРА-М, 2014. – 528 с. doi: 10.12737/826.
7. Пономарьова, Ю. В. Логістика : навч. посіб. / Ю. В. Пономарьова. – Київ : ЦНЛ, 2003. – 189 с.
8. Семенов, А. И. Логистика. Основы теории : учеб. для вузов / А. И. Семенов, В. И. Сергеев. – Санкт-Петербург : Союз, 2001. – 544 с.
9. Тридід, О. М. Логістика : навч. посіб. / О. М. Тридід. – Київ : Знання, 2008. – 566 с.
10. Халипова, Н. В. Моделирование логистических систем международных перевозок / Н. В. Халипова // Вісн. Східно-Укр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2013. – № 5 (194), ч. 2. – С. 73–80.
11. Халипова, Н. В. Оценка эффективности функционирования международных логистических систем / Н. В. Халипова // Техн. науки – от теории к практике : сб. ст. по материалам XXXVI междунар. науч.-практ. конф. / СибАК – Новосибирск, 2014. – № 7 (32). – С. 99–115.
12. An Overview of the Applications of Multiset / D. Singh, A. M. Ibrahim, T. Yohanna, J. Singh // Novi Sad J. of Mat. – 2007. – Vol. 37, № 2. – P. 73–92.
13. Kengpol, A. The development of a framework for route selection in multimodal transportation / A. Kengpol, S. Tuammee, M. Tuominen // The Intern. J. of Logistics Management. – 2014. – Vol. 25. – Iss. 3. – P. 581–610. doi: 10.1108/ijlm-05-2013-0064.
14. Lambert, D. M. Supply Chain Management: Processes, Partnerships, Performance / D. M. Lambert. – Ponte Verde Beach, Florida : Supply Chain Management Institute, 2014. – 463 p.
15. McShaine, E. J. On multipliers for Lagrange problems / E. J. McShaine // American J. of Math. – 1939. – Vol. 61. – Iss. 4. – P. 809–819. doi: 10.2307/2371626.
16. Syropoulos, A. Mathematic of Multisets / A. Syropoulos // Multiset Processing. Lecture Notes in Computing Sci. – 2001. – Vol. 2235. – P. 347–358. doi: 10.1007/3-540-45523-x_17.

Н. В. ХАЛИПОВА^{1*}

^{1*}Каф. «Транспортні системи та технології», Університет митної справи та фінансів, вул. Дзержинського, 2/4, Дніпропетровськ, Україна, 49000, тел. +38 (056) 46 95 98, ел. пошта khalipov@rambler.ru, ORCID 0000-0001-5605-6781

ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МІЖНАРОДНИХ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ

Мета. В роботі розглянуто питання формування методологічного підходу до визначення показників ефективності логістичних систем та обґрунтування найбільш ефективних схем доставки вантажів (товарів) на основі теорії функцій множин і множинних об'єктів, підходів векторної оптимізації й дискретного принципу максимуму для багатоетапних процесів (у методі фаз). **Методика.** Для досягнення цілей дослідження модель логістичної системи представлена множинним об'єктом, який визначається структурою й змістом. Об'єкт також представляється гібридною суперпозицією, складеною із множин, мультимножин, упорядкованих множин (списків) та неоднорідних множин (послідовностей, кортежів), які представляють на кожному з етапів доставки вантажів набори технологічних операцій їх обробки, алгоритми вибору й прийняття рішень. Множинна структура об'єктів представляється конструктивною трійкою, що складається з носія, сиг-

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

натури й аксіоматики. Для визначення ефективної схеми доставки вантажів застосований дискретний принцип максимуму з використанням векторного критерію оптимізації. **Результати.** У статті логістична система доставки вантажів представлена у вигляді багатоетапного (фазового) процесу. На кожному етапі розглядається множина дискретних наборів заходів, що включає можливі технологічні цикли операцій при обробці вантажу. На кожному з етапів багатофазного процесу доставки вантажу від постачальника до споживача ці множини різні. Розглянуто модельний приклад рішення задачі векторної оптимізації для варіанта доставки вантажу автомобільним транспортом у міжнародній логістичній системі для п'ятиетапного процесу. Оптимізація здійснюється на основі трьох показників. **Наукова новизна.** У даній роботі вибір найбільш ефективного варіанта доставки вантажів здійснюється з використанням теорії функцій множин та множинних об'єктів, із застосуванням дискретного принципу максимуму для багатоетапних процесів на основі векторного критерію оптимізації. На кожному з етапів відбувається формування своєї множини можливих рішень у вигляді дискретних наборів заходів технологічних циклів операцій по обробці вантажу. **Практична значимість.** Запропонований підхід до моделювання логістичних систем доставки вантажів на основі теорії функцій множин та множинних об'єктів, підходів векторної оптимізації й дискретного принципу максимуму для багатоетапних процесів (у методі фаз) дає можливість оцінювати ефективність доставки вантажів при моделюванні логістичної системи. Можливим також стає вибір найбільш ефективного варіанту доставки на основі векторного критерію оптимізації.

Ключові слова: ефективність логістичних систем; дискретний принцип максимуму; множинні об'єкти; векторна оптимізація; ефективність доставки вантажів

Н. В. ХАЛИПОВА^{1*}

^{1*}Каф. «Транспортные системы и технологии», Университет таможенного дела и финансов, ул. Дзержинского, 2/4, Днепропетровск, Украина, 49000, тел. +38 (0562) 46 95 98, эл. почта khalipov@rambler.ru, ORCID 0000-0001-5605-6781

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕЖДУНАРОДНЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Цель. В работе рассмотрен вопрос формирования методологического подхода к определению показателей эффективности логистических систем и обоснованию наиболее эффективных схем доставки грузов (товаров) на основе теории функций множеств и множественных объектов, подходов векторной оптимизации и дискретного принципа максимума для многоэтапных процессов (в методе фаз). **Методика.** Для достижения целей исследования модель логистической системы представлена множественным объектом, который определяется структурой и содержанием. Объект также представляется гибридной суперпозицией, составленной из множеств, мультимножеств, упорядоченных множеств (списков) и неоднородных множеств (последовательностей, кортежей), которые представляют на каждом из этапов доставки грузов наборы технологических операций их обработки, алгоритмы выбора и принятия решений. Множественная структура объектов представляется конструктивной тройкой, состоящей из носителя, сигнатуры и аксиоматики. Для определения эффективной схемы доставки грузов применен дискретный принцип максимума с использованием векторного критерия оптимизации. **Результаты.** В статье логистическая система доставки грузов представлена в виде многоэтапного (фазового) процесса. На каждом этапе рассматривается множество дискретных наборов мероприятий, которое включает возможные технологические циклы операций при обработке груза. На каждом из этапов многофазного процесса доставки груза от поставщика к потребителю эти множества разные. Рассмотрен модельный пример решения задачи векторной оптимизации для варианта доставки груза автомобильным транспортом в международной логистической системе для пятиэтапного процесса. Оптимизация осуществляется на основе трех показателей. **Научная новизна.** В настоящей работе выбор наиболее эффективного варианта доставки грузов производится с использованием теории функций множеств и множественных объектов, с применением дискретного принципа максимума для многоэтапных процессов на основе векторного критерия оптимизации. На каждом из этапов происходит формирование своего множества допустимых решений в виде дискретных наборов мероприятий технологических циклов операций по обработке груза. **Практическая значимость.** Предложенный подход к моделированию логистических систем доставки грузов на основе теории функций множеств и множественных объектов, подходов векторной оптимизации и дискретного принципа максимума для многоэтапных процессов (в методе фаз) дает возможность оценивать

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

эффективность доставки грузов при моделировании логистической системы. Возможным также становится выбор наиболее эффективного варианта доставки на основе векторного критерия оптимизации.

Ключевые слова: эффективность логистических систем; дискретный принцип максимума; множественные объекты; векторная оптимизация; эффективность доставки грузов

REFERENCES

1. Bosov A.A., Ilman V.M., Khalipova N.V. Mnozhestvennye obekty [Multiple objects]. *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. 145-161. doi: 10.15802/stp2015/46075.
2. Bosov A.A., Ilman V.M. Strukturnaya slozhnost sistem [Structural complexity of systems]. *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. 173-179.
3. Bosov A.A. *Funktsii mnozhestv i ikh primeneniye* [Functions sets and their applications]. Dneprodzerzhinsk, Izdatelskiy dom Andrey Publ., 2007. 182 p.
4. Krykavskiy Ye.V. *Lohistyka. Osnovy teorii* [Logistics. Fundamentals of the theory]. Lviv, Intellect+, Intellect-Zakhid Publ., 2006. 456 p.
5. Lyan-Tsen F., Chu-Sen V., Propoya A.I. *Diskretnyy printsip maksimuma. Optimizatsiya mnogostupenchatykh protsessov* [Discrete maximum principle. Optimization of multistage processes]. Moscow, Mir Publ., 1967. 181 p.
6. Moiseeva N.K. *Ekonomicheskiye osnovy logistiki* [Economic fundamentals of logistics]. Moscow, INFRA–M Publ., 2014. 528 p. doi: 10.12737/826.
7. Ponomarova Yu.V. *Lohistyka* [Logistics]. Kyiv, TsNL Publ., 2003. 189 p.
8. Semenenko A.I., Sergeyev V.I. *Logistika. Osnovy teorii* [Logistics. Fundamentals of the theory]. Saint-Petersburg, Soyuz Publ., 2001. 544 p.
9. Trydid O.M. *Lohistyka* [Logistics]. Kyiv, Znannia Publ., 2008. 566 p.
10. Khalipova N.V. Modelirovaniye logisticheskikh sistem mezhdunarodnykh perevozok [Modeling logistics systems of international shipments]. *Visnyk Skhidno-Ukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia* [Bulletin of East-Ukrainian National University named after V. Dahl], 2013, no. 5 (194), part 2, pp. 73-80.
11. Khalipova N.V. Otsenka effektivnosti funktsionirovaniya mezhdunarodnykh logisticheskikh sistem [Assessment of efficiency of functioning of international logistics systems]. *Sbornik statey po materialam XXXVI mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Tekhnicheskkiye nauki – ot teorii k praktike* [Collection of Scientific Articles on Materials of the XXXVI Intern. Sci. and Practical Conf.: Engineering – from theory to practice]. Novosibirsk, SibAK Publ., 2014, no. 7 (32), pp. 99-115.
12. Singh D., Ibrahim A.M., Yohanna T., Singh J. An Overview of the Applications of Multiset. *Novi Sad Journal of Mat*, 2007, vol. 37, no. 2, pp. 73-92.
13. Kengpol A., Tuamsee S., Tuominen M. The development of a framework for route selection in multimodal transportation. *The Intern. Journal of Logistics Management*, 2014, vol. 25, issues 3, pp. 581-610. doi: 10.1108/ijlm-05-2013-0064.
14. Lambert D.M. *Supply Chain Management: Processes, Partnerships, Performance*. Ponte Vedra Beach, Florida, Supply Chain Management Institute Publ., 2014, 463 p.
15. McShaine E.J. On multipliers for Lagrang problems. *American Journal of Mathematics*, 1939, vol. 61, issue 4, pp. 809-819. doi: 10.2307/2371626.
16. Syropoulos A. Mathematic of Multisets. *Multiset Processing. Lecture Notes in Computing Sci.*, 2001, vol. 2235, pp. 347-358. doi: 10.1007/3-540-45523-x_17.

Prof. A. M. Pasichnyk, D. Sci. (Phys.–Math.), (Ukraine); Prof. A. A. Bosov, D. Sci. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Received: June 01, 2015

Accepted: Aug. 14, 2015

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК [62–567.2/.752.2:621.891]

Л. Н. БОНДАРЕНКО¹, С. А. ЯКОВЛЕВ^{2*}, И. Е. КРАМАР³, А. И. ШАПТАЛА⁴

¹Каф. «Прикладная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 793 19 19, эл. почта kvp@dsst.gov.ua, ORCID 0000-0000-0001-6602-2745

^{2*}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 19, эл. почта sergei_jak@mail.ru, ORCID 0000-0002-6431-4303

³Каф. «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 19, эл. почта kramar06@mail.ru, ORCID 0000-0002-8159-209X

⁴Каф. «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 19, эл. почта shaptala100@mail.ru, ORCID 0000-0003-1675-1450

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГАСИТЕЛЕЙ КОЛЕБАНИЙ ТРЕНИЕМ КАЧЕНИЯ

Цель. В вопросах гашения колебаний существует ряд нерешенных проблем – отсутствие инженерных расчетов для гасителей колебания трением качения, отсутствие доказательств целесообразности их применения. Учитывая данный факт, авторы предполагают доказать, что гасители колебаний, основанные на трении качения, являются близкими по темпу затухания колебаний гидравлическим амортизаторам. В то же время они значительно проще гидравлических по конструкции, а в эксплуатации легко поддаются регулировке, как в автоматическом, так и в ручном режимах. **Методика.** Фиксированная совокупность приемов практической деятельности по определению амплитуд колебаний амортизаторов привела к заранее определенному результату. Это позволило применить эту теорию при расчете других гасителей колебаний. **Результаты.** Анализ полученных формул и графиков позволяет сделать следующие выводы и предложения: 1) характер затухания колебаний при гасителях колебаний трением качения близок к их затуханию при вязком сопротивлении; 2) при проведении необходимых экспериментов амортизаторы качения могут быть рекомендованы как альтернатива гидравлическим. Результаты исследований данной задачи позволят ввести новые направления в расчет уменьшения динамических нагрузок в машинах. **Научная новизна.** С помощью теоретических предпосылок для определения коэффициентов трения качения получены зависимости определения амплитуд колебаний при вертикальном перемещении груза. При этом ранее предложенная аналитическая зависимость для определения коэффициента трения качения содержит только общепринятые механические константы контактируемых тел и их геометрические размеры. **Практическая значимость.** В связи с имеющимися общеизвестными недостатками гидравлических амортизаторов логичным было бы применять технологически удобные в изготовлении и простые в регулировке темпа затухания амортизаторы. Предложенная теория может быть использована при проектировании амортизаторов качения как альтернатива гидравлическим амортизаторам машин.

Ключевые слова: колебания; затухание; стержень; трение; гашение; качение; амортизаторы

Введение

Рассмотрим гашения колебаний сосредоточенных масс стержней с помощью трения качения. В машинах в качестве гасителей колебания чаще всего принимаются гидравлические амортизаторы. Считается, что в машинах они наиболее удачно определяют темп затухания колебаний. Это же относится и к гашению колебаний балок.

Однако, необходимо учесть, что эти амортизаторы имеют, по крайней мере, два существенных недостатка: первый – сложность в изготовлении, требования к высокой культуре производства и высокой квалификации рабочих; второй – сложность регулирования темпа затуханий с изменением, например, характера дорожного покрытия.

Анализ последних исследований и публикаций. В связи с указанными недостатками гидравлических амортизаторов логичным было бы использовать технологически удобные в изготовлении и простые в регулировке темпа затухания гасители колебания амортизаторов трением качения. В данной статье сделана попытка доказать, что гасителей колебаний, основанные на трении качения, является близким по темпу затухания колебаний. В то же время они значительно проще гидравлических по конструкции, а в эксплуатации легко поддающиеся регулировке, как в автоматическом так и ручном режиме, в чем легко будет убедиться на представленных ниже схемах.

Однако примечание гасителей с качением было ограничено, по крайней мере, двумя причинами: 1) ошибочное доказательство Рейнольдса [1] о том, что причиной сопротивления качения является трение скольжения в месте контакта; 2) отсутствие инженерной зависимости для определения сопротивления качению.

Ошибка Рейнольдса была доказана только через 90 лет Мэйем [2], который доказал, что скольжение играет незначительную роль в сопротивлении качения. Такое долгое властвование теории скольжения при качении было связано, прежде всего с тем, что опровергнуть ее не позволял авторитет в научном мире самого Рейнольдса и Англии в целом. Если причина в скольжении, то считалось, что попадание масла в такой амортизатор приведет почти к полному отсутствию сопротивления. Формулы по определению сопротивления качению, полученные многочисленными авторами, как правило, содержат

экспериментальные коэффициенты, определение которых требовало больше средств и времени, чем определение самого сопротивления экспериментально.

Наиболее удачно, на наш взгляд, предложена формула по определению коэффициента трения качения в работе [3]. Однако она содержит коэффициент гистерезисных потерь, несовпадающий с его величиной при растяжении-сжатии и зависящий от значительного количества факторов (нагрузки, модуля упругости, коэффициента Пуассона). Описанный в [4] способ его экспериментального определения требует тонкого физического эксперимента и вызывает чисто субъективное недоверие, поскольку сжатие заменено кручением.

В [5] предложена аналитическая зависимость для определения коэффициента трения качения, которая содержит только общепринятые механические константы контактируемых тел и геометрические размеры.

К нерешенным частям проблемы необходимо отнести: а) отсутствие инженерных расчетов для гасителей колебания трением качения; б) отсутствие доказательства целесообразности их применения.

Цель

Цель статьи – расчет гасителей колебаний амортизаторов и колебания балок, доказать их идентичность гидравлическим.

Методика

Методика определения амплитуд колебаний амортизаторов позволит применить эту теорию при расчете других гасителей колебаний.

Результаты

Рассмотрим несколько задач на влияние сил сопротивления качению при свободных колебаниях тел с сосредоточенными массами. Силы сопротивления качению относятся к неупругим сопротивлениям и их общим свойством является связь со знаком скорости: они всегда направлены против движения, т.е. в любое мгновение времени имеют знак, противоположный знаку скорости. Поэтому положительными будем считать силы, действующие против положительного направления осей.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Силы трения качения относятся к колебаниям при сухом трении [6], поскольку сила сопротивления направлена противоположно скорости.

1. Ввиду большого разнообразия возможных схем амортизаторов, рассмотрим одну из простейших схем, которая позволяет наиболее просто проследить математическую сторону задания (рис. 1).

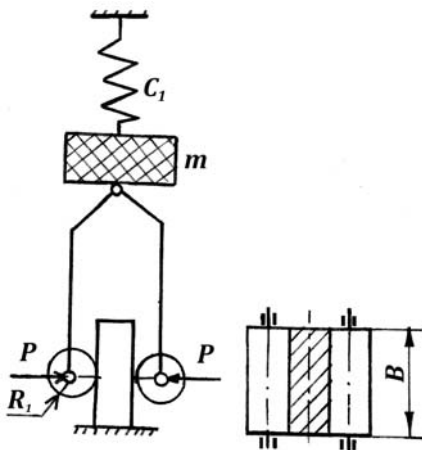


Рис. 1. Простейшая схема амортизатора качения

Fig. 1 The simplest scheme of the rolling shock absorber

Пусть масса m (заштрихована) подвешена на пружину жесткостью C . Часть колебания возникает после какого-либо начального возбуждения. Рассмотрим модель из двух цилиндров длиной B и радиусом R_1 , которые прижаты к направляющей силами P .

Из теории контактных напряжений [8] найдем максимальную величину силы P :

$$P = \frac{BR_1\sigma^2}{0,418^2 E}, \quad (1)$$

где σ – допустимые контактные напряжение при линейном контакте; E – модуль упругости материалов направляющей и роликов (цилиндров); здесь принято, что модули упругости одинаковые, а коэффициенты Пуассона равны 0,3.

При известной величине P полуширина пятна контакта

$$b = \frac{3,65R_1\sigma}{E}.$$

Коэффициент трения качения с учетом гистерезисных потерь (экспонента)

$$k = 0,225b \exp(-1,2R_1),$$

где R_1 – в метрах.

Сопротивление качению $W = kp/R_1$ и с его учетом дифференциальное уравнение свободных колебаний, возникших после начального возмущенного состояния,

$$m\ddot{y} + Cy \pm W = 0. \quad (2)$$

Рассмотрим первый интервал движения, который начинается в момент $t = 0$. Примем, что $y = A_0$, а $\dot{y} = 0$. В этом интервале скорость будет отрицательной, поэтому в (4) должен быть взят знак минус.

Обозначим $p^2 = c/m$; $a = W/C$, тогда

$$\ddot{y} = p^2 y - ap^2 = 0. \quad (3)$$

Решение этого уравнения при принятых начальных условиях имеет вид

$$y = (A_0 - a) \cos(pt) + a. \quad (4)$$

Когда аргумент pt становится равным π , скорость $\dot{y}$ обратится в ноль, и масса m достигнет своего крайнего отклонения вниз. Это отклонение согласно (4) составит

$$A_1 = (A_0 - a) \cos \pi + a = -A_0 + 2a$$

и по абсолютной величине меньше начального на величину $2a$.

Если абсолютная величина $|A_1| > W/C_1$ (или $|A_1| > a$), то сила упругости больше силы трения качения и масса m начинает двигаться в сторону положительных значений y , и уравнение движения запишется в виде

$$\ddot{y} + p^2 y + ap^2 = 0.$$

Если совместить начало отсчета времени так, что i при $t=0$, $y = A$, $\dot{y} = 0$, то решение можно записать в виде

$$y = (A_1 + a) \cos(pt) - a.$$

Рассуждая аналогично выше приведенному, легко получить, что для следующего отклонения

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

$$A_2 = A_0 - 4a,$$

т.е. за один період колибаний амплітуда зменшується на одну і ту ж величину $4a$ і, таким образом, послідовальність образує арифметическую прогресію огигающей кривой, которой будет прямая линия.

Естественно, что колебания будут происходить до тех пор, пока $C_1 |A_1| > W$ или $|A_1| > a$.

Если же отклонение A_1 станет меньше, чем a , то движение массы прекращается, поскольку сила трения качения W превзойдет силу упругости пружины $C_1 y$.

Пример:

$$C_1 = 6 \text{ кН/м}; m = 800 \text{ кг}; E = 2,1 \cdot 10^{-5} \text{ МПа};$$

$$[\sigma] = 300 \dots 1200 \text{ МПа}$$

$$A_0 = 0,15 \text{ м}, B = 50 \text{ мм}, R_1 = 20 \text{ мм}.$$

Зависимости величин, входящих в (1)–(4) от допускаемых контактных напряжений, показаны на рис. 2.

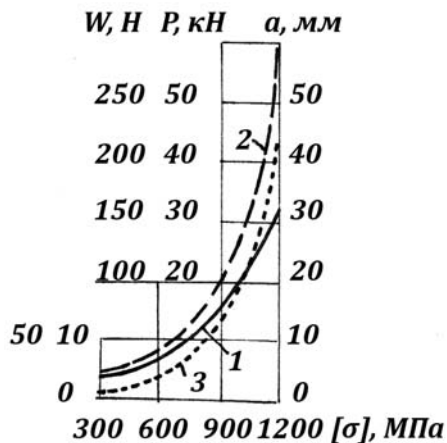


Рис. 2. Зависимость от величины допускаемых контактных напряжений: 1 – допускаемой силы P ; 2 – сопротивления качению двух цилиндров; 3 – полуширины пятна контакта

Fig. 2. Permissible contact stress-rate relationship: 1 – permissible power P ; 2 – rolling resistance of two cylinders; 3 – half-width of the contact patch

На рис. 3 показаны кривые колебаний в зависимости от величины прижатия цилиндров к направляющей. Кривой 2 показан характер

колебаний груза при вязком сопротивлении исходя из уравнения

$$\ddot{y} + 2n\dot{y} + y = 0,$$

где $n = K/2m$; K – коэффициент пропорциональности (при начальных условиях $y = y_0 = 150 \text{ мм}$. $U_0 = 0$).

Из рис. 3 легко убедиться в идентичности.

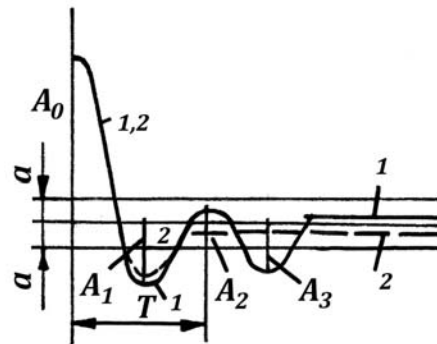


Рис. 3. Виды кривых колебаний: 1 – при $[\sigma] = 1100 \text{ МПа}$ ($[P] = 33 \text{ кН}$); 2 – при вязком сопротивлении кривых колебаний 1 и 2

Fig. 3. Types of curves hesitation: 1 – in $[\sigma] = 1100 \text{ МПа}$ ($[P] = 33 \text{ кН}$); 2 – when the viscous resistance of curves vibrations 1 and 2

Это дает основание говорить о том, что трением качение можно добиться примерно такого же характера затухания колебаний, как и при вязком сопротивлении. Однако отменим, что в случае двух катящихся цилиндров легко поменять сопротивление W , например, за счет уменьшения расстояния между цилиндрами или меняя силы P .

2. Рассмотрим задачу, схематически приведенную на рис. 4. Отличия такого амортизатора от представленного на рис. 1 являются: перенос пружины той же жесткости C_1 к цилиндрам (роликам); изменение положения статического равновесия и величины сопротивления качению за счет, например, винта.

Величину $h/2$ примем за положение статического равновесия, а жесткость пружин примем такую, чтобы груз удерживался в этом положении за счет сопротивления качению роликов по клину. Радиус роликов найдем для нижнего положения $y = -h/2$, когда контактные напряжения будут максимальными.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

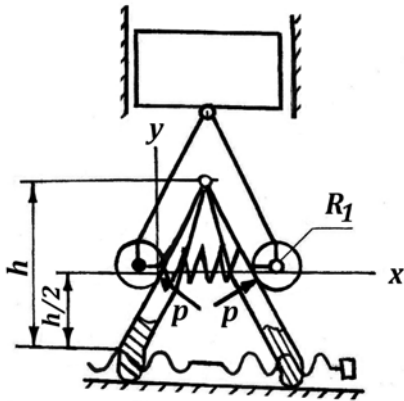


Рис. 4. Расчетная схема клинового амортизатора качения

Fig. 4. Diagram of rolling wedge shock absorber

Вертикальная составляющая сопротивления качению двух роликов по клину

$$W(y) = \frac{0,687 C_1 d^3 (h - 2y)}{R(d^2 + h^2)} \sqrt{\frac{C_1 R_1 (h - 2y)}{B E h \sqrt{d^2 + h^2}}} \quad (5)$$

Величина C_1 здесь определяется из выражения

$$C_1 = \frac{1,28 m g (d^2 + h^2)}{d^2 h} \sqrt{\frac{B E h R_1}{m g \sqrt{d^2 + h^2}}} \quad (6)$$

а максимальная величина радиуса –

$$R_1 = 0,3 \frac{m g E^2}{B h \sigma^3} \sqrt{d^2 + h^2} \quad (7)$$

Нормальное давление ролика на клин

$$P = \frac{C_1 d^2}{h \sqrt{d^2 + h^2}} (h - 2y) \quad (8)$$

Если величины R_1 и C_1 из (7) и (6) подставить в (8), то получим

$$W(y) = \frac{2,8 m g (h/2 - y) \sqrt{h/2 - y}}{h \sqrt{h}} \quad (9)$$

$$-\frac{h}{2} \leq y \leq \frac{h}{2}$$

Напомним, что величина R_1 найдена исходя из величины максимальных контактных напряжений, а C_1 из условия, что положение стати-

ческого равновесия груза определяется ординатой $y=0$.

Теперь уравнение колебаний груза на клине не определяется той же формулой (2) при величине W определенным из (9). Решение полученного уравнения в замкнутом виде, очевидно, осуществить сложно и необходимо применить какой-нибудь приближенный способ.

3. Решим задачу, аналогично рассмотренной в начале, но при условии, что ролики перемещаются при качении по клину (рис. 5).

Радиус роликов в этом случае

$$R_1 = \frac{0,418^2 E (N + C_2 L_2)}{B \sigma^2 \sqrt{1 + L^2 / H^2}} \quad (10)$$

а величина сопротивления качению при $y=0$, $N=0$ [5]

$$W(y) = \frac{1,64 \sigma C_2 L}{E \sqrt{H(L^2 + H^2)}} y^{3/2} \exp(-1,2 R_1) \quad (11)$$

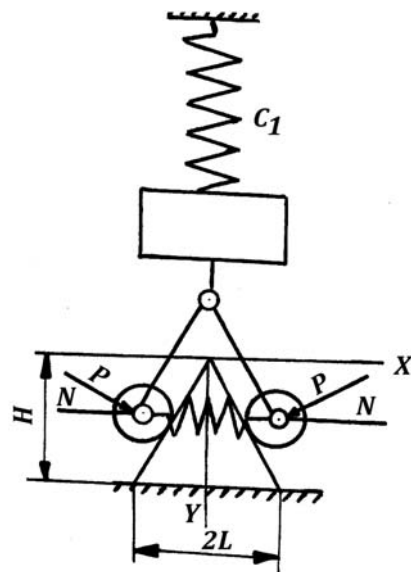


Рис. 5. Динамическая модель амортизатора с двумя пружинами

Fig. 5. The dynamic model of the shock absorber with two springs

4. Пусть поперечные колебания консольной балки гасятся амортизатором типа рассмотренного в начале статьи (рис. 6).

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

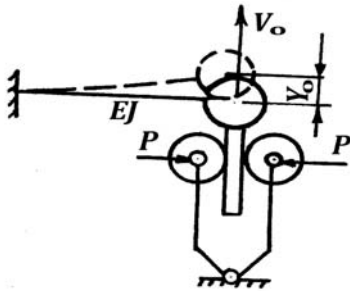


Рис. 6. Схема консольного стержня с амортизатором качения

Fig. 6. Scheme of a cantilever beam with shock absorbers rolling

Уравнение колебаний

$$\ddot{y}(t) + \omega^2 y(t) = \pm \frac{W}{m}, \quad (12)$$

где $\omega = l / \sqrt{me^3 / 3EJ}$.

Общее решение этого уравнения запишем в виде

$$y(t) = Y \sin(\omega t + \varphi_0) \pm 0,547 P \sigma l^3 / (EJ) E, \quad (13)$$

где (EJ) – изгибная жесткость трения, при начальных условиях $y(0) = y_0$, $\dot{y}(0) = 0$

$$y(t) = Y \cos \omega t \pm 1,64 P \sigma l^3 / 3(EJ) E. \quad (14)$$

Когда масса движется вниз, сила трения будет направлена вверх, а колебания будут происходить относительно положения $a = 1,64 P l^3 / 3(EJ) E$ и амплитуда уменьшится на эту же величину и станет равной $y_0 = 2 \cdot 1,64 P l^3 \sigma / 3(EJ) E$.

Таким образом, уравнение верхней огибающей будет

$$y(t)_B = [y_0 - 0,54 P l^3 \sigma / (EJ) E \pi] \sqrt{\frac{3(EJ)}{me^3}} t^2, \quad (15)$$

нижней

$$y(t)_H = [-y_0 + 0,54 P l^3 \sigma / (EJ) E \pi] \sqrt{\frac{3(EJ)}{me^3}} t^2 \quad (16)$$

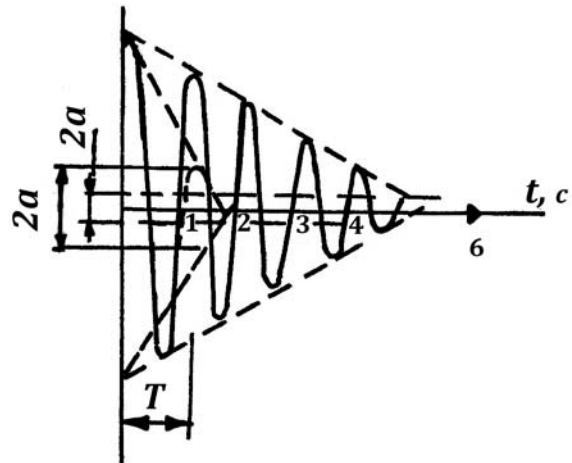
при периоде колебаний

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{3(EJ)}{me^3}}. \quad (17)$$

График движения массы m с учетом амортизатора качения показан на рис. 7. График построен при следующих данных:

 $m = 600$ кг, $l = 3$ м (при этом $T = 1$ с), $\omega = 6,28 \text{ с}^{-1}$, $y_0 = 30$ мм,

$\sigma = 800$ МПа, $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа – величина зоны застоя.

Рис. 7. График движения массы m при силе прижатия катка $P = 10$ кН (сплошная линия) и $P = 30$ кН (пунктирная линия), $a = 2,64$ ммFig. 7. The graph of mass m when pressing force of the rink $P = 10$ kN (solid line) and $P = 30$ kN (dotted line), $a = 2.64$ mm

Если на систему, показанную на рис. 6, кроме сил инерции и сил сопротивления качению действует еще сила $P(t)$, то уравнение (12) для этого случая примет вид

$$\ddot{y}(t) + \omega^2 y(t) \pm \frac{W}{m} = \frac{P(t)}{m}. \quad (18)$$

При силе $P = \text{const}$ выкладки предыдущего примера повторяется, и решение приведем в сокращенном виде.

При движении массы вниз колебания будут происходить относительно положения, определяемого отношением $W l^3 / 3(EJ) - P$ при амплитуде, равной $y_0 = W l^3 / 3(EJ) + P$. В случае движения массы вверх сила трения будет совпадать с силой P и колебания будут проходить относительно положения, указанного выше, а амплитуда уменьшится на $W l^3 / 3(EJ)$ и ста-

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

нет равной $y_0 = 2Wl^3/3(EJ) - P$. Уравнение верхней огибающей $y_0 - [2Wl^3/3(EJ)]$, а нижней $-y_0 + [2Wl^3/3(EJ) + P]$.

В случае внезапного приложения силы P начальными условиями будут $t = 0$, $y(0) = 0$, $\dot{y}(0) = 0$ и уравнение колебаний примет вид

$$y(t) = (P \pm W)(1 - \cos \omega t). \quad (19)$$

В случае, когда $p(t) = P_0 \cos \omega t$ (гармоническая сила) уравнение колебаний

$$\ddot{y}(t) + \omega^2 y(t) = \pm \frac{W}{m} + \frac{P_0 \cos \theta t}{m}, \quad (20)$$

решение которого при начальных условиях (нулевых)

$$y(t) = \frac{P_0 \pm W}{m\sqrt{(\omega^2 - \theta^2)^2}} \cos \theta t. \quad (21)$$

Если $P(t) = P_0 \sin \theta t$, то при этих же условиях

$$y(t) = \frac{P_0 \pm W}{m\sqrt{(\omega^2 - \theta^2)^2}} \sin \theta t. \quad (22)$$

Научная новизна и практическая значимость

С помощью теоретических зависимостей для определения коэффициентов трения качения получены зависимости для определения амплитуд колебаний при вертикальном перемещении груза.

Предложенная теория может быть использована при проектировании амортизаторов качения как альтернатива гидравлическим амортизаторам машин.

Выводы

Анализ полученных формул и графиков позволяет сделать следующие *выводы и предложения*:

- характер затухания колебаний при гасителях колебаний трением качения близок их затуханию при вязком сопротивлении;
- при проведении необходимых экспериментов амортизаторы качения могут быть рекомендованы как альтернатива гидравлическим.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Автомобілі: тягово-швидкісні властивості та паливна економічність / В. П. Сахно, Г. Б. Безбородова, М. М. Маяк, С. М. Шарай. – Київ : КВЦ, 2000. – 174 с.
2. Бондаренко, Л. М. Деформаційні опори в машинах / Л. М. Бондаренко, М. П. Довбня, В. С. Ловейкін. – Дніпропетровськ : ДніпроVAL, 2002. – 200 с.
3. Гашук, П. М. Зумовлені зволоженістю дороги, акустичним випромінюванням та проковзуванням шин складові коефіцієнта опору коченню колеса транспортної машини / М. П. Гашук, С. В. Нікіпчук // Вісн. нац. ун-ту «Львівська політехніка». – Львів, 2012. – № 730 : Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – С. 14–21.
4. Гашук, П. М. Теорія автомобіля: Колесо / П. М. Гашук, Т. Г. Миськів. – Львів : Укр. технології, 2010. – 254 с.
5. Гашук, П. М. Феноменологічне й модельне означення поняття «коефіцієнт опору коченню» колеса транспортної машини / П. М. Гашук, С. В. Нікіпчук // Вісн. нац. ун-ту «Львівська політехніка». – Львів, 2013. – № 759 : Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – С. 16–25.
6. Джонсон, К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – Москва : Мир, 1989. – 510 с.
7. Кузьменко, А. Г. Метод подобия в решении контактных задач для двоякой кривизны / А. Г. Кузьменко // Проблемы трибологии. – 2008. – № 2. – С. 25–55.
8. Кузьменко, А. Г. Пластический контакт тел двоякой кривизны / А. Г. Кузьменко // Проблемы трибологии. – 2009. – № 1. – С. 46–64.
9. Кухарь, В. В. Функциональная связь неравномерности деформации с коэффициентом контактного трения при пластической осадке заготовок / В. В. Кухарь // Проблемы трибологии. – 2009. – № 1. – С. 91–96.
10. Умови кочення без проковзування тіл при різних схемах дотику / Л. М. Бондаренко, С. О. Яковлев, І. Е. Крамар, О. І. Шаптала // Conduct of modern science – 2014 : Materials of X Scientific and Practical Conf. (30.11–7.12.2014). – Sheffield, 2014. – Р. 12–17.
11. Фуфаев, Н. А. Простейшие теории качения колеса / Н. А. Фуфаев. – Горький : ГГУ им. Лобачевского, 1984. – 27 с.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

12. Reynolds, O. On rulling friction / O. Raynolds // Philosophical Transactions of the Royal Society. – 1875. – Vol. 166. – P. 155–174.
13. Mitschke, M. Dynamik der Kraftfahrzeuge / M. Mitschke, H. Wallentowitz. – Berlin : Springer, 2010. – 709 p.
14. Tabor, D. The mechnism of roeling friction: the elastic range / D. Tabor // Proc. of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. – 1955. – Vol. 229. – Iss. 1177. – P. 198–220. doi: 10.1098/rspa.1955.0082.

Л. М. БОНДАРЕНКО¹, С. О. ЯКОВЛЕВ^{2*}, І. Є. КРАМАР³, О. І. ШАПТАЛА⁴

¹Каф. «Прикладна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 19, ел. пошта kvp@dsst.gov.ua, ORCID 0000-0000-0001-6602-2745

^{2*}Каф. «Військова підготовка спеціалістів Державної спеціальної служби транспорту», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 19, ел. пошта sergei_jak@mail.ru, ORCID 0000-0002-6431-4303

³Каф. «Військова підготовка спеціалістів Державної спеціальної служби транспорту», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 19, ел. пошта kramar06@mail.ru, ORCID 0000-0002-8159-209X

⁴Каф. «Військова підготовка спеціалістів Державної спеціальної служби транспорту», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 19, ел. пошта shaptala100@mail.ru, ORCID 0000-0003-1675-1450

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ГАСИТЕЛІВ КОЛИВАНЬ
ТЕРТЯМ КОЧЕННЯ

Мета. У питаннях гасителів коливань існує ряд невирішених проблем – відсутність інженерних розрахунків для гасителів коливання тертям кочення; відсутність доказів доцільності їх застосування. Враховуючи даний факт, автори передбачають довести, що гасителі коливань, засновані на терті кочення, є близькими за темпом загасання коливань гідравлічним амортизаторам. У той же час вони значно простіше гідравлічних за конструкцією, а в експлуатації легко піддаються регулюванню, як в автоматичному, так і в ручному режимах. **Методика.** Фіксована сукупність прийомів практичної діяльності з визначення амплітуд коливань амортизаторів призвела до заздалегідь певного результату і дозволила застосувати цю теорію при розрахунку інших гасителів коливань. **Результати.** Аналіз отриманих формул та графіків дозволяє зробити наступні висновки й пропозиції: 1) характер загасання коливань при гасителях коливань тертям кочення близький до їх загасання при в'язкому опорі; 2) при проведенні необхідних експериментів амортизатори кочення можуть бути рекомендовані як альтернатива гідравлічним. Результати досліджень даної задачі дозволять ввести нові напрямки в розрахунок зменшення динамічних навантажень у машинах. **Наукова новизна.** За допомогою теоретичних передумов для визначення коефіцієнтів тертя кочення отримані залежності для визначення амплітуд коливань при вертикальному переміщенні вантажу. При цьому раніше запропонована аналітична залежність для визначення коефіцієнта тертя кочення містить тільки загальноприйняті механічні константи тіл, які контактують, та їх геометричні розміри. **Практична значимість.** У зв'язку з наявними загальновідомими недоліками гідравлічних амортизаторів логічним було б застосовувати технологічно зручні у виготовленні та прості в регулюванні темпу загасання амортизатори. Запропонована теорія може бути використана при проектуванні амортизаторів кочення як альтернатива гідравлічним амортизаторам машин.

Ключові слова: коливання; загасання; стрижень; тертя; гасіння; кочення; амортизатори

L. M. BONDARENKO¹, S. A. YAKOVLEV^{2*}, I. E. KRAMAR³, A. I. SHAPTALA⁴

¹Dep. «Applied Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793 19 19, e-mail kvp@dsst.gov.ua, ORCID 0000-0000-0001-6602-2745

^{2*}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,

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

tel. +38 (056) 793 19 19, e-mail sergei_jak@mail.ru, ORCID 0000-0002-6431-4303

³Dep. «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 19, e-mail kramar06@mail.ru, ORCID 0000-0002-8159-209X

⁴Dep. «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 19, e-mail shaptala100@mail.ru, ORCID 0000-0003-1675-1450

THE THEORETICAL FOUNDATIONS OF VIBRATION DAMPERS BY ROLLING FRICTION

Purpose. There are some unresolved issues in vibration damping – the lack of engineering calculations for the vibration dampers by rolling friction; the absence of evidence of their application appropriateness. Considering this fact, the authors suggest to prove that the dampers based on rolling friction, are similar in rate of oscillation damping by hydraulic shock absorbers. At the same time, they are easier for the hydraulic design, and easily amenable to manual adjustment, both in automatic and manual mode. **Methodology.** Fixed techniques of practice in order to determine amplitudes of the oscillations of a shock absorber led to a predetermined result and will apply this theory in the calculation of other vibration dampers. **Findings.** Analysis of the formulas and graphs leads to the following conclusions and recommendations: 1) the nature of the oscillation damping at vibration dampers by rolling friction is close to their decay in the viscous resistance; 2) when conducting the necessary experiments the shock absorber rolling can be recommended as alternatives to hydraulic ones. The research results of this task will help implement the new trend in reduction of dynamic loads in vehicles. **Originality.** With the help of theoretical curves to determine the coefficients of rolling friction the dependences for determining the amplitudes of the oscillations in the vertical movement of cargo were obtained. At the same time, the previously proposed analytical dependence for determining the coefficient of rolling friction contains only conventional mechanical constants of the contacting bodies and there geometrical dimensions. **Practical value.** Due to the existing well-known disadvantages of hydraulic shock absorbers it would be logical to apply shock absorbers that are technologically convenient in manufacturing and easy to adjust the damping rate. The proposed theory can be used in the design of shock absorbers rolling as an alternative to the hydraulic shock absorbers of machines.

Keywords: vibrations; damping; rod; friction; suppression; bearings; shock absorbers

REFERENCES

1. Sakhno V.P., Bezborodova H.B., Maiak M.M., Sharai S.M. *Avtomobili: tiahovo-shvidkisni vlastyvoli ta palyvna ekonomichnist* [Cars: traction-speed characteristics and fuel efficiency]. Kyiv, Vydavnytstvo «KVShch», Publ., 2000. 174 p.
2. Bondarenko L.M., Dovbnia M.P., Loveikin V.S. *Deformatsiini opory v mashynakh* [The deformation of the support in cars]. Dnipropetrovsk, Dnipro-VAL Publ., 2002. 200 p.
3. Hashchuk M.P., Nikipchuk S.V. Zumovleni zvolozhenistiu dorohy, akustychnym vyprominiuvanniam ta prokovzuvanniam shyn skladovi koefitsiienta oporu kochenniu kola transportnoi mashyny [Components of rolling resistance coefficient of a wheel in a transport vehicle due to road humidity, acoustic radiation and tire scrubbing]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». Dynamika, mitsnist ta proektuvannia mashyn i pryladiv* [Bulletin of National University «Lviv Polytechnic». Dynamics, strength and design of machines and devices], 2012, no. 730, pp. 14-21.
4. Hashchuk P.M., Myskiv T.H. *Teoriia avtomobilia: Koleso* [The theory of the car: Wheel]. Lviv, Ukrainski tekhnolohii Publ., 2010. 254 p.
5. Hashchuk P.M., Nikinchuk S.V. Fenomenolohichne y modelne oznachennia poniattia «koefitsiient oporu kochenniu» kola transportnoi mashyny [Phenomenological model and the definition of «rolling resistance coefficient» of the vehicle wheel]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». Dynamika, mitsnist ta proektuvannia mashyn i pryladiv* [Bulletin of National University «Lviv Polytechnic». Dynamics, strength and design of machines and devices], 2013, no. 759, pp. 16-25.
6. Dzhonson K. *Mekhanika kontaktynogo vzaimodeystviya* [Mechanics of contact interaction]. Moscow, Mir Publ., 1989. 510 p.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

7. Kuzmenko A.G. Metod podobiya v reshenii kontaktnykh zadach dlya dvoyakoy krivizny [Method of similarity in the solution of contact problems for double curvature]. *Problemy trybolohii – Problems of Tribology*, 2008, no. 2, pp. 25-55.
8. Kuzmenko A.G. Plasticheskiy kontakt tel dvoyakoy krivizny [Plastic contact of double curvature bodies]. *Problemy trybolohii – Problems of Tribology*, 2009, no. 1, pp. 46-64.
9. Kukhar V.V. Funktsionalnaya svyaz neravnomernosti deformatsii s koeffitsientom kontaktnogo treniya pri plasticheskoy osadke zagotovok [The functional relation of non-uniformity deformation with the coefficient of contact friction during plastic upsetting]. *Problemy trybolohii – Problems of Tribology*, 2009, no. 1, pp. 91-96.
10. Bondarenko L.M., Yakovliev S.O., Kramar I.E., Shaptala O.I. *Umovy kochennia bez prokovzuvannia til pry riznykh skhemakh dotyku* [Conditions of rolling without slipping of the bodies under various schemes of touch]. Conduct of modern science 2014. Materials of X Scientific and Practical Conf. (30.11–7.12.2014), Sheffield, 2014, pp. 12-17.
11. Fufayev N.A. *Prosteyskiye teorii kacheniya kolea* [The elementary theory of rolling wheels]. Gorkiy, GGU im. Lobachevskogo Publ., 1984, 27 p.
12. Reynolds O. On rulling friction. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 1875, vol. 166, pp. 155-174.
13. Mitschke M., Wallentowiz H. *Dynamik der Kraftfahrzeuge*. Berlin, Springer Publ., 2010. 709 p.
14. Tabor D. The mechnism of roeling friction: the elastic range. *Proc. of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 1955, vol. 229, issue 1177, pp. 198-220. doi: 10.1098/rspa.1955.0082.

Стаття рекомендована к публікації д.т.н., проф. И. А. Вакуленко (Україна); к.т.н., доц. В. И. Пантелеенко (Україна)

Поступила в редколлегию 07.04.2015

Принята к печати 21.06.2015

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.4.015-047.58

Н. Е. НАУМЕНКО¹, И. Ю. ХИЖА^{2*}

¹Отд. «Динамика многомерных механических систем», Институт технической механики НАН Украины и ГКА Украины, ул. Лешко-Попеля, 15, Днепропетровск, Украина, 49005, тел. +38 (056) 375 68 01, эл. почта penauumenko@gmail.com, ORCID 0000-0002-6913-2568

^{2*}Отд. «Динамика многомерных механических систем», Институт технической механики НАН Украины и ГКА Украины, ул. Лешко-Попеля, 15, Днепропетровск, Украина, 49005, тел. +38 (056) 46 79 35, эл. почта inkhizha@gmail.com, ORCID 0000-0002-7103-7754

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭКИПАЖЕЙ ПАССАЖИРСКОГО ПОЕЗДА, ОБОРУДОВАННОГО СИСТЕМОЙ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, ПРИ АВАРИЙНОМ СТОЛКНОВЕНИИ С ПРЕПЯТСТВИЕМ

Цель. Развитие высокоскоростного движения на железнодорожном транспорте потребовало обновления требований к конструкции пассажирского подвижного состава и пересмотра стандартов безопасности при аварийных столкновениях поездов с препятствием. К конструкции экипажей нового поколения предъявляются требования по оснащению их пассивными крэш-системами, обеспечивающими безопасность пассажиров и персонала в аварийной ситуации. Испытания крэш-систем пассажирского подвижного состава продолжительны во времени и требуют значительных материальных затрат. В целях отработки тестовых сценариев столкновения поездного состава с препятствием и оценки показателей поглощения энергии соударения устройствами пассивной защиты в работе применяется компьютерное моделирование. Первым этапом проведения исследований динамических процессов, протекающих в поезде при сверхнормативных ударных воздействиях, является оценка максимальных значений сжимающих сил, возникающих в межвагонных соединениях поезда, локомотив и вагоны которого оборудованы системами пассивной безопасности. **Методика.** На основании концепции пассивной защиты пассажирского подвижного состава для колеи с шириной 1520 мм при аварийных столкновениях предложена концептуальная система пассивной безопасности для пассажирских поездов локомотивной тяги, сформированных из экипажей нового поколения. Системой пассивной безопасности рекомендуется оборудовать как локомотив, так и вагоны. Для предварительной оценки выполнения требований к системе пассивной безопасности пассажирского поезда при аварийных столкновениях, как правило, используется упрощенная дискретно-массовая модель, в которой поезд рассматривается как одномерная цепочка твердых тел, соединенных существенно нелинейными деформируемыми элементами. **Результаты.** Разработан алгоритм вычисления усилий в межвагонных соединениях поезда локомотивной тяги постоянного формирования, учитывающий специфику работ сцепных устройств, устройств поглощения энергии и упругопластические свойства конструкций кузовов экипажей при аварийных столкновениях. **Научная новизна.** Предложенный алгоритм позволяет учесть особенности формирования поезда локомотивной тяги нового поколения и работы межвагонных соединений при исследовании динамических процессов, протекающих в поезде в случае его аварийного столкновения с препятствием на железнодорожном пути. **Практическая значимость.** Разработанные алгоритмы вычисления усилий взаимодействия экипажей пассажирского поезда локомотивной тяги, оборудованных системами пассивной безопасности, могут быть использованы при математическом моделировании тестовых сценариев столкновения эталонного поезда с препятствием для отработки систем пассивной безопасности на этапе проектирования пассажирского подвижного состава нового поколения.

Ключевые слова: система пассивной безопасности; пассажирский поезд; локомотивная тяга; постоянное формирование; тестовые сценарии; аварийные столкновения поезда с препятствием

Введение

Современный уровень транспортного обеспечения требует внедрения пассажирского подвижного состава нового поколения с более вы-

соким уровнем качественных, технических и экономических показателей эксплуатации и увеличенными сроками службы. В странах ЕС вновь проектируемый подвижной состав должен соответствовать требованиям стандарта

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

по статической прочности и оборудоваться системой пассивной защиты для обеспечения безопасности пассажиров и поездной бригады при аварийных столкновениях поезда с препятствием [8, 9]. Система пассивной безопасности (СПБ) закладывается в архитектуру подвижного состава и интегрируется в конструкции экипажей пассажирских поездов локомотивной тяги и моторвагонного подвижного состава.

Пассажирский поезд локомотивной тяги формируется из локомотива и прицепных вагонов. По функциональному назначению локомотив представляет собой тяговый самоходный рельсовый экипаж. В настоящее время в странах СНГ наиболее востребованными являются пассажирские двухсистемные односекционные электровагоны, которые оборудованы двумя кабинами управления, расположенными в торцовых частях секции. В качестве сцепных устройств используются автосцепки СА-3 с поглощающими аппаратами Р-5П.

На прицепных вагонах поезда локомотивной тяги постоянного формирования (в первую очередь скоростных) устанавливаются сцепные устройства БСУ-3 с поглощающими аппаратами Р-5П при незначительной доработке корпуса хомута [1]. Безззорные сцепные устройства (БСУ) обеспечивают жесткое сцепление вагонов, полную взаимозаменяемость с автосцепкой СА-3, комфортный переход из вагона в вагон, тепло- и шумоизоляцию салона без установки межтамбурных дверей [4]. Поскольку локомотивы оснащены автосцепками СА-3, то при составлении пассажирского поезда локомотивной тяги концевые вагоны оборудуются с одного конца БСУ-3 для сцепления с соседним вагоном, а с другого конца – только стандартными автосцепками СА-3 (буфера отсутствуют) для соединения с локомотивом.

На основании анализа мирового опыта по пассивной защите пассажирских поездов различного назначения [10, 13], нормативной базы по данной проблеме [2, 3, 8, 9, 12] и существующих концепций пассивной защиты подвижного состава при аварийных столкновениях с препятствием разработаны основные положения концепции пассивной защиты пассажирского подвижного состава для железных дорог с шириной колеи 1 520 мм, изложенные в работе [7]. При разработке механизмов поглощения кинетической энергии соударения и ра-

циональных схем размещения СПБ учитывались основные конструктивные особенности сцепных устройств и экипажей, используемых на колее шириной 1 520 мм.

Концепция пассивной защиты пассажирского поезда основана на контролируемом поэтапном поглощении энергии удара по длине всего поезда. В целях плавного поглощения кинетической энергии соударения рекомендуется оборудовать системой пассивной безопасности как локомотив, так и пассажирские вагоны [5].

Цель

Испытания крэш-систем пассажирских поездов занимают много времени и являются очень затратными. С целью отработки тестовых сценариев столкновения и оценки показателей поглощения энергии соударения применяется компьютерное моделирование. Первым этапом в проведении исследований динамических процессов, протекающих в поезде при сверхнормативных ударных воздействиях, является оценка максимальных сжимающих сил, возникающих в межвагонных соединениях поезда, локомотив и вагоны которого оборудованы системами пассивной безопасности.

Методика

Для случая, когда пассажирский поезд сформирован из подвижного состава, оборудованного СПБ и автосцепками СА-3, работающими по принципу push-back coupler [10, 11], алгоритм определения усилий, возникающих в межвагонном соединении между $(i-1)$ -м и i -м экипажами при сверхнормативных ударных воздействиях, приведен в работе [6].

Рассмотрим концептуальную систему пассивной безопасности для поезда локомотивной тяги нового поколения. Согласно предложенной концепции система пассивной безопасности для поезда локомотивной тяги постоянного формирования колеи шириной 1 520 мм должна включать:

– для локомотива:

1) автосцепки СА-3, которые в случае аварийного столкновения сдвигаются назад и не препятствуют работе противоподъемных устройств и устройств поглощения энергии (УПЭ) крэш-системы (push-back coupler);

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

2) два енергопоглощающих устройства коробчатого типа, расположенные в концевых частях рам локомотива и предназначенные для поглощения энергии соударения в результате их пластической деформации;

3) жертвенную зону в конструкции каркаса кабины машиниста;

4) противоподъемные устройства, установленные на энергопоглощающие устройства и ограничивающие вертикальные перемещения экипажей относительно друг друга при соударении;

– для прицепного вагона:

1) сдвигаемые БСУ-3, работающие по принципу push-back coupler, и стандартные автосцепки СА-3 для первого и последнего вагонов поезда;

2) энергопоглощающие устройства коробчатого типа, расположенные на месте буферов на торцевом бруске прицепного вагона;

3) противоподъемные устройства, совмещенные с УПЭ.

Энергопоглощающие элементы, противоподъемные устройства и жертвенная зона кабины машиниста составляют двухуровневую крэш-систему локомотива: первый уровень – энергопоглощающие и противоподъемные устройства; второй уровень – жертвенная зона кабины машиниста. При эксплуатационных режимах движения пассажирского поезда энергопоглощающие элементы не работают, срабатывание механизма увода сцепных устройств и деформирование устройств поглощения энергии происходит только в аварийных ситуациях.

Расчетная оценка уровня энергопоглощения кинетической энергии соударения элементами систем пассивной безопасности поезда проводится согласно тестовым сценариям столкновения. При математическом моделировании работы СПБ в соединениях экипажей поезда в аварийной ситуации в качестве тестового сценария выбран сценарий лобового столкновения двух идентичных поездов, оборудованных СПБ, как наиболее общий и позволяющий на уровне задания исходных параметров перейти к модели работы межвагонного соединения в случае аварийного столкновения эталонного поезда с грузовым вагоном.

При столкновении поездов локомотивы первыми вступают во взаимодействие. Алгоритм вычисления продольных усилий $S_{\lambda}(t)$, возник-

ающих в соединении между локомотивами при аварийном соударении, пошагово можно описать следующим образом. В начальный момент времени, пока зазор в соединении автосцепок локомотивов не выбран, усилия взаимодействия равны нулю. Затем начинают работать штатные амортизаторы удара, которыми оборудованы автосцепки СА-3. Поглощение энергии удара происходит за счет упругой деформации поглощающих аппаратов Р-5П и рамы локомотива. После закрытия поглощающих аппаратов нагрузка через автосцепку передается на раму локомотива. В силовой характеристике это соответствует вычислению усилий при упругих деформациях конструкции кузова локомотива. Когда силы, приложенные к автосцепным устройствам, достигнут заданного граничного значения, разрушаются элементы крепления автосцепки СА-3 к раме локомотива, и автосцепка уводится под раму локомотива. Усилие взаимодействия равно нулю до момента соприкосновения устройств первого уровня крэш-системы, размещенных в концевых частях рам локомотивов. Противоподъемные устройства, взаимодействуя, ограничивают вертикальные перемещения локомотивов и, тем самым, препятствуют напозданию экипажей друг на друга. Жертвенные элементы деформируются по заданному сценарию поглощения энергии. Когда УПЭ деформируются настолько, что соприкоснутся кабины локомотивов, в работу дополнительно к УПЭ вступают элементы второго уровня крэш-системы – жертвенные зоны кабин машинистов. При полном срабатывании крэш-системы нагрузка снова передается на раму локомотива, и в зависимости от величины сжимающей силы имеют место упругие либо упругопластические деформации конструкции кузова локомотива.

Концептуальные диаграммы деформирования элементов крэш-системы локомотива представлены кусочно-линейными функциями с двумя участками, каждый из которых соответствует упругим и пластическим деформациям УПЭ и жертвенной зоны кабины машиниста. Предполагается, что пластическое деформирование элементов пассивной защиты локомотива происходит при постоянной силе.

Система пассивной безопасности вагонов поезда конструктивно отличается от СПБ локомотива. Энергопоглощающие устройства на локомотиве имеют более высокий уровень

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

энергопоглощения, чем УПЭ, установленные на вагонах. Промежуточные вагоны оборудуются сдвигаемыми сцепными устройствами БСУ-3 с поглощающими аппаратами Р-5П, концевые вагоны – сдвигаемыми БСУ-3 для сцепления

с соседним вагоном и автосцепками СА-3 для сцепления с локомотивом. Алгоритм вычисления усилий, возникающих в i -м межвагонном соединении поезда локомотивной тяги постоянного формирования (за исключением соединения первого вагона с локомотивом) в случае аварийного столкновения с препятствием, приведен в работе [5].

Таким образом, для разработки эффективной системы пассивной безопасности на пассажирском подвижном составе необходимо

- обеспечить возможность смещения сцепных устройства и деформирование элементов энергопоглощающих устройств, интегрированных в концевые части рам экипажей, в случае аварии;

- оборудовать экипажи противоподъемными устройствами для предотвращения напользания или наезд одного транспортного средства на другое.

Результаты

Аналитически выражения для определения усилий, возникающих в соединении между локомотивами, оборудованными СПБ и сдвигаемыми автосцепками СА-3, при аварийном столкновении двух идентичных поездов могут быть представлены следующим образом:

$$S_{\lambda}(t) = S_{\lambda}^*(t) \operatorname{sign}(q_{\lambda}(t) - \xi_{\lambda}^*(t-h) - \xi_{\lambda}(t-h));$$

$$qf_{\lambda}(t) = |q_{\lambda}(t) - \xi_{\lambda}^*(t-h) - \xi_{\lambda}(t-h)| - 0,5\delta_0 \times$$

$$\times (1 + \operatorname{sign}(q_{\lambda}(t) - \xi_{\lambda}^*(t-h) - \xi_{\lambda}(t-h))),$$

где $q_{\lambda}(t), \dot{q}_{\lambda}(t)$ – относительные перемещения и скорости центров масс локомотивов при столкновении поездов соответственно; t – текущее время; h – шаг интегрирования; δ_0 – максимальная величина зазора в соединении между локомотивами; ξ_{λ}^* – деформация устройств пассивной защиты в соединении между локомотивами; ξ_{λ} – остаточная продольная деформация конструкций локомотивов;

$$S_{\lambda}^*(t) = \begin{cases} 0, \text{ если } qf_{\lambda}(t) \leq 0; \\ \text{при } 0 < qf_{\lambda}(t) \leq \Delta_a^{\lambda}: \\ \min \{ S_{\lambda}^{\lambda}(t), S_{\kappa}^{\lambda}(t) \}, \text{ если} \\ \dot{q}_{\lambda}(t) \operatorname{sign}(q_{\lambda}(t) - \xi_{\lambda}^*(t-h) - \xi_{\lambda}(t-h)) > 0 \\ \text{либо} \\ \max \{ S_p^{\lambda}(t), S_{\kappa}^{\lambda}(t) \}, \text{ если} \\ \dot{q}_{\lambda}(t) \operatorname{sign}(q_{\lambda}(t) - \xi_{\lambda}^*(t-h) - \xi_{\lambda}(t-h)) \leq 0; \\ \text{при } qf_{\lambda}(t) > \Delta_a^{\lambda}: \\ S_{\kappa}^{\lambda}(t), \text{ если } qf_{\lambda}(t) \leq \Delta_{np}^{\lambda}; \\ 0, \text{ если } \Delta_{np}^{\lambda} < qf_{\lambda}(t) \leq \Delta_0^{\lambda}; \\ \min \{ S_1^{\lambda}(t), S_{\kappa}^{\lambda}(t) \}, \\ \text{если } \Delta_0^{\lambda} < qf_{\lambda}(t) \leq \Delta_1^{\lambda}; \\ \min \{ S_{kp1}^{*\lambda}(t), S_{\kappa}^{\lambda}(t) \}, \\ \text{если } \Delta_1^{\lambda} < qf_{\lambda}(t) \leq \Delta_2^{\lambda}; \\ \min \{ (S_{kp1}^{*\lambda}(t) + S_2^{\lambda}(t)), S_{\kappa}^{\lambda}(t) \}, \\ \text{если } \Delta_2^{\lambda} < qf_{\lambda}(t) \leq \Delta_3^{\lambda}; \\ \min \{ (S_{kp1}^{*\lambda}(t) + S_{kp2}^{*\lambda}(t)), S_{\kappa}^{\lambda}(t) \}, \\ \text{если } \Delta_3^{\lambda} < qf_{\lambda}(t) \leq \Delta_{\max}^{\lambda}; \\ \text{при } qf_{\lambda}(t) > \Delta_{\max}^{\lambda}: \\ S_{\kappa}^{\lambda}(t), \text{ если} \\ S_{\kappa}^{\lambda}(t) - \beta_{\lambda} \dot{q}_{\lambda}(t) \operatorname{sign}(q_{\lambda}(t) - \xi_{\lambda}^*(t-h) - \\ - \xi_{\lambda}(t-h)) < S_s^{\lambda}(t-h); \\ S_s^{\lambda}(t), \text{ если} \\ S_{\kappa}^{\lambda}(t) - \beta_{\lambda} \dot{q}_{\lambda}(t) \operatorname{sign}(q_{\lambda}(t) - \xi_{\lambda}^*(t-h) - \\ - \xi_{\lambda}(t-h)) \geq S_s^{\lambda}(t-h); \end{cases}$$

$S_a^{\lambda}, \Delta_a^{\lambda}$ – сила закрытия и полная деформация поглощающих аппаратов в соединении между локомотивами соответственно; $S_{\lambda}^{\lambda}(t), S_p^{\lambda}(t)$ – усилия на участках нагрузки и разгрузки силовой характеристики взаимодействия локомотивов при работе поглощающих аппаратов;

$$S_{\lambda}^{\lambda}(t) = \begin{cases} k_{\lambda}^{1\lambda} qf_{\lambda}(t), \text{ если } qf_{\lambda}(t) \leq d_1^{\lambda}; \\ k_{\lambda}^{1\lambda} d_1^{\lambda} + k_{\lambda}^{2\lambda} (qf_{\lambda}(t) - d_1^{\lambda}), \text{ если } d_1^{\lambda} < qf_{\lambda}(t); \end{cases}$$

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

$$S_p^{\mathcal{L}}(t) = (1 - \eta_{\mathcal{L}}) S_{\mathcal{H}}^{\mathcal{L}}(t);$$

$k_{\mathcal{H}}^{1\mathcal{L}}, k_{\mathcal{H}}^{2\mathcal{L}}$ – жесткости при нагрузке в силовой характеристике на участке работы поглощающих аппаратов с нелинейными характеристиками; $d_1^{\mathcal{L}}$ – координата узловой точки в случае билинейной аппроксимации силовой характеристики поглощающих аппаратов локомотивов; $\eta_{\mathcal{L}}$ – коэффициент поглощения энергии при работе поглощающих аппаратов локомотивов; $S_{\mathcal{K}}^{\mathcal{L}}(t)$ – усилие, возникающее в конструкции кузова локомотива при упругих деформациях;

$$S_{\mathcal{K}}^{\mathcal{L}}(t) = \tilde{S}_{\mathcal{L}}(t - h) + \left[k_{\mathcal{K}}^{\mathcal{L}}(q_{\mathcal{L}}(t) - q_{\mathcal{L}}(t - h)) + \beta_{\mathcal{L}} \dot{q}_{\mathcal{L}}(t) \right] \times \times \text{sign}(q_{\mathcal{L}}(t) - \xi_{\mathcal{L}}^*(t - h) - \xi_{\mathcal{L}}(t - h));$$

$$\tilde{S}_{\mathcal{L}}(t - h) = \begin{cases} 0, & \text{если } S_{\mathcal{L}}^*(t - h) = 0; \\ S_{\mathcal{H}}^{\mathcal{L}}(t - h) \vee S_p^{\mathcal{L}}(t - h), & \\ \text{если } S_{\mathcal{L}}^*(t - h) = S_{\mathcal{H}}^{\mathcal{L}}(t - h) \vee S_p^{\mathcal{L}}(t - h); \\ S_1^{\mathcal{L}}(t - h), & \\ \text{если } S_{\mathcal{L}}^*(t - h) = S_1^{\mathcal{L}}(t - h); \\ S_{\mathcal{K}p1}^{*\mathcal{L}}(t - h), & \\ \text{если } S_{\mathcal{L}}^*(t - h) = S_{\mathcal{K}p1}^{*\mathcal{L}}(t - h); \\ S_{\mathcal{K}p1}^{*\mathcal{L}}(t - h) + S_2^{\mathcal{L}}(t - h), & \\ \text{если } S_{\mathcal{L}}^*(t - h) = S_{\mathcal{K}p1}^{*\mathcal{L}}(t - h) + S_2^{\mathcal{L}}(t - h); \\ S_{\mathcal{K}p1}^{*\mathcal{L}}(t - h) + S_{\mathcal{K}p2}^{*\mathcal{L}}(t - h), & \\ \text{если } S_{\mathcal{L}}^*(t - h) = S_{\mathcal{K}p1}^{*\mathcal{L}}(t - h) + S_{\mathcal{K}p2}^{*\mathcal{L}}(t - h); \\ S_{\mathcal{K}}^{\mathcal{L}}(t - h) - \beta_{\mathcal{L}} \dot{q}_{\mathcal{L}}(t - h) \text{sign}(q_{\mathcal{L}}(t - h) - - \xi_{\mathcal{L}}^*(t - h) - \xi_{\mathcal{L}}(t - 2h)), & \\ \text{если } S_{\mathcal{L}}^*(t - h) = S_{\mathcal{K}}^{\mathcal{L}}(t - h); \\ S_s^{\mathcal{L}}(t - h), & \\ \text{если } S_{\mathcal{L}}^*(t - h) = S_s^{\mathcal{L}}(t - h); \end{cases}$$

$k_{\mathcal{K}}^{\mathcal{L}}$ – жесткость конструкции кузова локомотива при упругих деформациях; $\beta_{\mathcal{L}}$ – коэффициент вязкого сопротивления деформированию конструкции локомотива;

$$S_1^{\mathcal{L}}(t) = S_1^{\mathcal{L}}(t - h) + k_{\mathcal{K}p1}^{\mathcal{L}}(q_{\mathcal{L}}(t) - q_{\mathcal{L}}(t - h));$$

$k_{\mathcal{K}p1}^{\mathcal{L}}$ – совместная жесткость конструкций УПЭ и кузова локомотива при упругих деформациях;

$$S_{\mathcal{K}p1}^{*\mathcal{L}}(t) = S_{\mathcal{K}p1}^{\mathcal{L}};$$

$$S_2^{\mathcal{L}}(t) = S_2^{\mathcal{L}}(t - h) + k_{\mathcal{K}p2}^{\mathcal{L}}(q_{\mathcal{L}}(t) - q_{\mathcal{L}}(t - h));$$

$k_{\mathcal{K}p2}^{\mathcal{L}}$ – совместная жесткость конструкций кабины машиниста и кузова локомотива при упругих деформациях;

$$S_{\mathcal{K}p2}^{*\mathcal{L}}(t) = S_{\mathcal{K}p2}^{\mathcal{L}};$$

$S_{\mathcal{K}p1}^{\mathcal{L}}, S_{\mathcal{K}p2}^{\mathcal{L}}$ – средние значения усилий, при превышении которых происходит соответственно пластическое деформирование устройств первого и второго уровня крэш-системы локомотива;

$$\Delta_{np}^{\mathcal{L}} = \Delta_a^{\mathcal{L}} + \frac{S_{np}^{\mathcal{L}} - S_a^{\mathcal{L}}}{k_{\mathcal{K}}^{\mathcal{L}}};$$

$S_{np}^{\mathcal{L}}$ – значение усилия, при превышении которого происходит разрушение элементов крепления автосцепного устройства к раме локомотива;

$$\Delta_0^{\mathcal{L}} = \Delta_{np}^{\mathcal{L}} + dz_0^{\mathcal{L}}; \Delta_1^{\mathcal{L}} = \Delta_0^{\mathcal{L}} + dz_1^{\mathcal{L}};$$

$$\Delta_{\max}^{\mathcal{L}} = \Delta_1^{\mathcal{L}} + dz_2^{\mathcal{L}}; \Delta_2^{\mathcal{L}} = \Delta_a^{\mathcal{L}} + dz_3^{\mathcal{L}};$$

$$\Delta_3^{\mathcal{L}} = \Delta_2^{\mathcal{L}} + dz_4^{\mathcal{L}};$$

$dz_0^{\mathcal{L}}$ – расстояние между энергопоглощающими устройствами в соединении между локомотивами при выбранных зазорах в автосцепках ($\delta_0 = 0$); $dz_1^{\mathcal{L}}$ – максимальная суммарная упругая деформация УПЭ в соединении между локомотивами; $dz_2^{\mathcal{L}}$ – максимальная суммарная пластическая деформация УПЭ в соединении между локомотивами; $dz_3^{\mathcal{L}}$ – расстояние в соединении между кабинами машинистов локомотива при выбранных зазорах в автосцепках ($\delta_0 = 0$); $dz_4^{\mathcal{L}}$ – максимальная суммарная упругая деформация жертвенных зон кабин машинистов в соединении между локомотивами;

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

$$\xi_{\pi}^*(t) = \xi_{\pi}^*(t-h) + (q_{\pi}(t) - q_{\pi}(t-h))$$

при $\Delta_1^{\pi} < q_{\pi}^f(t) \leq \Delta_{\max}^{\pi}$; $S_s^{0,\pi}$ – усилие, соответствующее начальному пределу текучести кузова локомотива; $S_s^{\pi}(t)$ – усилие, соответствующее пластическим деформациям кузова локомотива;

$$S_s^{\pi}(t) = \begin{cases} S_s^{0,\pi}, & \text{если } \xi_{\pi}(t) = 0; \\ \text{в противном случае} \\ S_s^{\pi}(t-h) + \frac{k_{\pi}^{\pi}}{k_{\kappa}^{\pi}} \left[S_{\kappa}^{\pi}(t) - \beta_{\pi} \dot{q}_{\pi}(t) \operatorname{sign}(q_{\pi}(t) - \right. \\ \left. - \xi_{\pi}^*(t-h) - \xi_{\pi}(t-h)) - S_s^{\pi}(t-h) \right]; \end{cases}$$

$$\xi_{\pi}(t) = \xi_{\pi}(t-h) + (S_s^{\pi}(t) - S_s^{\pi}(t-h)) (1/k_{\pi}^{\pi} - 1/k_{\kappa}^{\pi}) \times \\ \times \operatorname{sign}(q_{\pi}(t) - \xi_{\pi}^*(t-h) - \xi_{\pi}(t-h));$$

k_{π}^{π} – жесткость конструкции кузова локомотива при пластических деформациях.

При численной отработке сценария столкновения поезда локомотивной тяги с грузовым вагоном без СПБ описанный алгоритм вычисления усилий может быть применен путем уточнения описания и задания следующих параметров:

– dz_0^{π} – расстояние между рамой грузового вагона и УПЭ локомотива при выбранных зазорах в автосцепках ($\delta_0 = 0$);

– dz_1^{π} – максимальная упругая деформация УПЭ в соединении грузового вагона и локомотива;

– dz_2^{π} – максимальная пластическая деформация УПЭ в соединении грузового вагона и локомотива;

– dz_3^{π} – расстояние между рамой грузового вагона и кабиной машиниста локомотива при выбранных зазорах в автосцепках ($\delta_0 = 0$);

– dz_4^{π} – максимальная упругая деформация жертвенной зоны кабины машиниста в соединении грузового вагона и локомотива.

Рассмотрим механизм работы системы пассивной безопасности в соединении локомотива с первым вагоном. Локомотив и первый (последний) вагон оборудованы СПБ. В качестве

сцепного устройства используются автосцепки СА-3: стандартная (несдвигаемая) автосцепка на вагоне и сдвигаемая типа push-back coupler на локомотиве. Распределение суммарной энергоемкости между УПЭ на локомотиве и первом вагоне выполнено так, что большая часть энергии соударения поглощается УПЭ локомотива.

Отличительные особенности работы СПБ в соединении локомотива с первым (последним) вагоном поезда заключаются в следующем:

– автосцепки СА-3, которыми оборудованы локомотив и первый (последний) вагон, по-разному работают в аварийной ситуации;

– характеристики УПЭ на первом вагоне выбраны таким образом, что критическая сила, при которой начинается их пластическое деформирование, значительно ниже, чем критическая сила для УПЭ на локомотиве.

Когда ход поглощающих аппаратов выбран, усилия через автосцепные устройства передаются на рамы экипажей. При достижении силы в соединении заданного граничного значения S_{np}^{π} происходит разрушение элементов крепления автосцепки СА-3 к раме локомотива и увод автосцепок под раму локомотива. До момента соприкосновения устройств поглощения энергии на первом вагоне и локомотиве усилие взаимодействия равно нулю. Когда УПЭ соприкоснулись, срабатывают противоподъемные устройства, и начинают деформироваться по заданному сценарию УПЭ на вагоне. После полной отработки УПЭ на вагоне нагрузка через УПЭ на локомотиве передается на раму экипажа. В силовой характеристике это соответствует вычислению усилий при упругих деформациях конструкции кузова вагона. Когда усилия достигнут значений, при которых вступает в работу крэш-система локомотива, дальнейший процесс поглощения энергии соударения в соединении первого вагона и локомотива происходит аналогично, как в случае соударения локомотива с грузовым вагоном: начинают деформироваться УПЭ первого уровня на локомотиве, затем подключаются устройства второго уровня. Если крэш-система локомотива полностью сработала, усилия снова передаются на конструкции кузовов экипажей.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Математически алгоритм вычисления продольных усилий, возникающих в соединении первого вагона и локомотива при сверхнормативном соударении поезда с преградой, может быть представлен следующим образом:

$$S_1^g(t) = S_1^{*g}(t) \operatorname{sign}(q_{e1}(t) - \xi_{e1}^*(t-h) - \xi_{e1}(t-h)),$$

$$S_1^{*g}(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } qf_{e1}(t) \leq 0; \\ \text{при } 0 < qf_{e1}(t) \leq \Delta_{a1}^g: \\ \min\{S_{n1}^g(t), S_{\kappa 1}^g(t)\}, & \text{если} \\ \dot{q}_{e1}(t) \operatorname{sign}(q_{e1}(t) - \xi_{e1}^*(t-h) - \xi_{e1}(t-h)) > 0 \\ \text{либо} \\ \max\{S_{p1}^g(t), S_{\kappa 1}^g(t)\}, & \text{если} \\ \dot{q}_{e1}(t) \operatorname{sign}(q_{e1}(t) - \xi_{e1}^*(t-h) - \xi_{e1}(t-h)) \leq 0; \\ \text{при } qf_{e1}(t) > \Delta_{a1}^g: \\ S_{\kappa 1}^g(t), & \text{если } qf_{e1}(t) \leq \Delta_{np}^g; \\ 0, & \text{если } \Delta_{np}^g < qf_{e1}(t) \leq \Delta_{01}^g; \\ \min\{S_{11}^g(t), S_{\kappa 1}^g(t)\}, \\ \text{если } \Delta_{01}^g < qf_{e1}(t) \leq \Delta_{11}^g; \\ \min\{S_{kp1}^{*g}(t), S_{\kappa 1}^g(t)\}, \\ \text{если } \Delta_{11}^g < qf_{e1}(t) \leq \Delta_{21}^g; \\ \min\{S_{kp1}^{*g}(t) + S_1^g(t), S_{\kappa 1}^g(t)\}, \\ \text{если } \Delta_{21}^g < qf_{e1}(t) \leq \Delta_{31}^g; \\ \min\{(S_{kp1}^{*g}(t), S_{\kappa 1}^g(t)\}, \\ \text{если } \Delta_{31}^g < qf_{e1}(t) \leq \Delta_{41}^g; \\ \min\{(S_{kp1}^{*g}(t) + S_2^g(t), S_{\kappa 1}^g(t)\}, \\ \text{если } \Delta_{41}^g < qf_{e1}(t) \leq \Delta_{51}^g; \\ \min\{(S_{kp1}^{*g}(t) + S_{kp2}^{*g}(t), S_{\kappa 1}^g(t)\}, \\ \text{если } \Delta_{51}^g < qf_{e1}(t) \leq \Delta_{\max 1}^g; \\ \text{при } qf_{e1}(t) > \Delta_{\max 1}^g: \\ S_{\kappa 1}^g(t), & \text{если} \\ S_{\kappa 1}^g(t) - \beta_{e1} \dot{q}_{e1}(t) \operatorname{sign}(q_{e1}(t) - \xi_{e1}^*(t-h) - \\ - \xi_{e1}(t-h)) < S_{s1}^g(t-h); \\ S_{s1}^g(t), & \text{если} \\ S_{\kappa 1}^g(t) - \beta_{e1} \dot{q}_{e1}(t) \operatorname{sign}(q_{e1}(t) - \xi_{e1}^*(t-h) - \\ - \xi_{e1}(t-h)) \geq S_{s1}^g(t-h); \end{cases}$$

$$qf_{e1}(t) = |q_{e1}(t) - \xi_{e1}^*(t-h) - \xi_{e1}(t-h)| - 0,5\delta_0 \times \\ \times (1 + \operatorname{sign}(q_{e1}(t) - \xi_{e1}^*(t-h) - \xi_{e1}(t-h))),$$

где $q_{e1}(t), \dot{q}_{e1}(t)$ – относительные перемещения и скорости центров масс локомотива и первого вагона соответственно; t – текущее время; h – шаг интегрирования; δ_0 – максимальная величина зазора в соединении первого вагона с локомотивом; ξ_{e1}^* – деформация устройств пассивной защиты в соединении первого вагона с локомотивом; ξ_{e1} – остаточная продольная деформация конструкции кузова вагона; S_{a1}^g, Δ_{a1}^g – соответственно сила закрытия и полная деформация поглощающих аппаратов в соединении первого вагона с локомотивом; $S_{n1}^g(t), S_{p1}^g(t)$ – усилия на участках нагрузки и разгрузки силовой характеристики взаимодействия первого вагона и локомотива при работе поглощающих аппаратов;

$$S_{n1}^g(t) = \begin{cases} k_{n1}^{1g} qf_{e1}(t), & \text{если } qf_{e1}(t) \leq d_{11}^g; \\ k_{n1}^{1g} d_{11}^g + k_{n1}^{2g} (qf_{e1}(t) - d_{11}^g), & \text{если } d_{11}^g < qf_{e1}(t); \end{cases}$$

$$S_{p1}^g(t) = (1 - \eta_{e1}) S_{n1}^g(t);$$

k_{n1}^{1g}, k_{n1}^{2g} – жесткости при нагрузке на участке работы поглощающих аппаратов с нелинейными характеристиками в соединении первого вагона с локомотивом; d_{11}^g – координата узловой точки в случае билинейной аппроксимации силовой характеристики поглощающих аппаратов вагона; η_{e1} – коэффициент поглощения энергии при работе поглощающих аппаратов; $S_{\kappa 1}^g(t)$ – усилие, возникающее в конструкции кузова первого вагона при упругих деформациях;

$$S_{\kappa 1}^g(t) = \tilde{S}_1^g(t-h) + \\ + [k_{\kappa 1}^g (q_{e1}(t) - q_{e1}(t-h)) + \beta_{e1} \dot{q}_{e1}(t)] \times \\ \times \operatorname{sign}(q_{e1}(t) - \xi_{e1}^*(t-h) - \xi_{e1}(t-h));$$

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

$$\tilde{S}_1^e(t-h) = \begin{cases} 0, & \text{если } S_1^{*e}(t-h) = 0; \\ S_{\kappa 1}^e(t-h) \vee S_{p1}^e(t-h), & \\ \text{если } S_1^{*e}(t-h) = S_{\kappa 1}^e(t-h) \vee S_{p1}^e(t-h); \\ S_{11}^e(t-h), & \\ \text{если } S_1^{*e}(t-h) = S_{11}^e(t-h); \\ S_{\kappa p1}^{*e}(t-h), & \\ \text{если } S_1^{*e}(t-h) = S_{\kappa p1}^{*e}(t-h); \\ S_{\kappa p1}^{*e}(t-h) + S_1^{\kappa l}(t-h), & \\ \text{если } S_1^{*e}(t-h) = S_{\kappa p1}^{*e}(t-h) + S_1^{\kappa l}(t-h); \\ S_{\kappa p1}^{*l}(t-h), & \\ \text{если } S_1^{*e}(t-h) = S_{\kappa p1}^{*l}(t-h); \\ S_{\kappa p1}^{*l}(t-h) + S_2^{\kappa l}(t-h), & \\ \text{если } S_1^{*e}(t-h) = S_{\kappa p1}^{*l}(t-h) + S_2^{\kappa l}(t-h); \\ S_{\kappa p1}^{*l}(t-h) + S_{\kappa p2}^{*l}(t-h), & \\ \text{если } S_1^{*e}(t-h) = S_{\kappa p1}^{*l}(t-h) + S_{\kappa p2}^{*l}(t-h); \\ S_{\kappa 1}^e(t-h) - \beta_{e1} \dot{q}_{e1}(t-h) \times \\ \times \text{sign}(q_{e1}(t-h) - \xi_{e1}^*(t-h) - \xi_{e1}(t-2h)), & \\ \text{если } S_1^{*e}(t-h) = S_{\kappa 1}^e(t-h); \\ S_{s1}^e(t-h), & \\ \text{если } S_1^{*e}(t-h) = S_{s1}^e(t-h); \end{cases}$$

$k_{\kappa 1}^e$ – жесткость конструкции кузова первого вагона при упругих деформациях; β_{e1} – коэффициент вязкого сопротивления деформированию конструкции вагона;

$$S_{11}^e(t) = S_{11}^e(t-h) + k_{\kappa p1}^e(q_{e1}(t) - q_{e1}(t-h));$$

$k_{\kappa p1}^e$ – совместная жесткость конструкций УПЭ вагона, УПЭ локомотива и кузова первого вагона при упругих деформациях;

$$S_{\kappa p1}^{*e}(t) = S_{\kappa p1}^e;$$

$$S_1^{\kappa l}(t) = S_1^{\kappa l}(t-h) + k_{\kappa p1}^{\kappa l}(q_{e1}(t) - q_{e1}(t-h));$$

$k_{\kappa p1}^{\kappa l}$ – совместная жесткость конструкции УПЭ локомотива и кузова вагона при упругих деформациях;

$$S_{\kappa p1}^{*l}(t) = S_{\kappa p1}^{\kappa l};$$

$$S_2^{\kappa l}(t) = S_2^{\kappa l}(t-h) + k_{\kappa p2}^{\kappa l}(q_{e1}(t) - q_{e1}(t-h));$$

$k_{\kappa p2}^{\kappa l}$ – совместная жесткость конструкции кабины машиниста и кузова вагона при упругих деформациях;

$$S_{\kappa p2}^{*l}(t) = S_{\kappa p2}^{\kappa l};$$

$S_{\kappa p1}^e$, $S_{\kappa p1}^{\kappa l}$ и $S_{\kappa p2}^{\kappa l}$ – средние значения усилий, при превышении которых происходит пластическое деформирование устройств УПЭ вагона, элементов первого и второго уровня креш-системы локомотива соответственно;

$$\Delta_{np}^{\kappa l} = \Delta_{a1}^e + \frac{S_{np}^{\kappa l} - S_{a1}^e}{k_{\kappa 1}^e};$$

$S_{np}^{\kappa l}$ – значение усилия, при превышении которого происходит разрушение элементов крепления автосцепного устройства к раме локомотива;

$$\Delta_{01}^e = \Delta_{np}^{\kappa l} + dz_{01}; \quad \Delta_{11}^e = \Delta_{01}^e + dz_{11};$$

$$\Delta_{21}^e = \Delta_{11}^e + dz_{21}; \quad \Delta_{31}^e = \Delta_{21}^e + dz_{31};$$

$$\Delta_{41}^e = \Delta_{31}^e + dz_{41}; \quad \Delta_{51}^e = \Delta_{41}^e + dz_{51};$$

$$\Delta_{\max 1}^e = \Delta_{31}^e + dz_{61};$$

dz_{01} – расстояние между УПЭ в соединении первого вагона с локомотивом при выбранных зазорах в автосцепках ($\delta_0=0$); dz_{11} – максимальная упругая деформация междвагонного соединения при совместной работе УПЭ вагона, УПЭ локомотива и конструкции кузова вагона; dz_{21} – максимальная пластическая деформация УПЭ вагона; dz_{31} – максимальная упругая деформация междвагонного соединения при совместной работе УПЭ локомотива и конструкции кузова вагона и изменении силы от $S_{\kappa p1}^e$ до $S_{\kappa p1}^{\kappa l}$; dz_{41} – расстояние между кузовом вагона и кабиной машиниста локомотива при максимальной деформации УПЭ вагона; dz_{51} – максимальная упругая деформация междвагонного соединения при совместной работе кабины машиниста локомотива и конструкции

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

кузова вагона; dz_{61} – максимальная упругопластическая деформация УПЭ локомотива;

$$\xi_{61}^*(t) = \xi_1^*(t) + \xi_2^*(t),$$

$$\xi_1^*(t) = \xi_1^*(t-h) + (q_{61}(t) - q_{61}(t-h))$$

при $\Delta_{11}^e < qf_{61}(t) \leq \Delta_{21}^e$;

$$\xi_2^*(t) = \xi_2^*(t-h) + (q_{61}(t) - q_{61}(t-h))$$

при $\Delta_{31}^e < qf_{61}(t) \leq \Delta_{\max 1}^e$;

S_{s1}^{0e} – усилие, соответствующее начальному пределу текучести кузова первого вагона; $S_{s1}^e(t)$ – усилие, соответствующее пластическим деформациям кузова первого вагона;

$$S_{s1}^e(t) = \begin{cases} S_{s1}^{0e}, & \text{если } \xi_{61}(t) = 0; \\ \text{в противном случае} \\ S_{s1}^e(t-h) + \frac{k_{nl1}^e}{k_{\kappa 1}^e} \left[S_{\kappa 1}^e(t) - \beta_{61} \dot{q}_{61}(t) \text{sign}(q_{61}(t) - \xi_{61}^*(t-h) - \xi_{61}(t-h)) - S_{s1}^e(t-h) \right]; \end{cases}$$

$$\xi_{61}(t) = \xi_{61}(t-h) + (S_{s1}^e(t) - S_{s1}^e(t-h)) \times \\ \times (1/k_{nl1}^e - 1/k_{\kappa 1}^e) \text{sign}(q_{61}(t) - \xi_{61}^*(t-h) - \xi_{61}(t-h));$$

k_{nl1}^e – жесткость конструкции кузова вагона при пластических деформациях.

Научная новизна и практическая значимость

Предложен алгоритм, позволяющий учесть особенности работы межвагонного соединения поезда локомотивной тяги, сформированного из электровоза и вагонов нового поколения, при исследовании динамических процессов, протекающих в поезде в случае его аварийного столкновения с препятствием на железнодорожном пути.

Выводы

Разработанные алгоритмы вычисления усилий взаимодействия экипажей пассажирского поезда локомотивной тяги, оборудованных системами пассивной безопасности, могут быть

использованы при математическом моделировании тестовых сценариев столкновения эталонного поезда с препятствием для отработки систем пассивной безопасности на этапе проектирования пассажирского подвижного состава нового поколения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ применения автосцепного устройства БСУ-3 на пассажирском подвижном составе / С. А. Скороход, С. А. Столетов, Д. О. Босецакая, А. А. Гречкин // Вагонный парк. – 2011. – № 9. – С. 28–29.
2. ГОСТ 32410-2013 (EN 15227 : 2008+A1 : 2010, NEQ). Межгосударственный стандарт. Крэш-системы аварийные железнодорожного подвижного состава для пассажирских перевозок. Технические требования и методы контроля. – Введ. 2014-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 11 с.
3. ГОСТ Р 53076-2008 (EN 12663 : 2000). Рельсовый транспорт. Требования к прочности кузовов железнодорожного подвижного состава. – Введ. 2008-12-18. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 12 с.
4. Кобищанов, В. В. Исследование безопасности эксплуатации пассажирских вагонов, оборудованных беззазорными сцепными устройствами, в поездах постоянного формирования / В. В. Кобищанов, Д. Я. Антипин // Вісн. Східноукраїн. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2011. – № 4 (158). – Ч. 2. – С. 46–49.
5. Науменко, Н. Е. Моделирование аварийного соударения с преградой пассажирского поезда, оборудованного системой пассивной безопасности / Н. Е. Науменко, И. Ю. Хижа // Техн. механика. – 2014. – № 4. – С. 65–74.
6. Науменко, Н. Е. Оценка влияния работы устройств системы пассивной безопасности пассажирского локомотива на его динамическую нагруженность при аварийном столкновении с препятствием на железной дороге / Н. Е. Науменко, И. Ю. Хижа // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 1 (43). – С. 154–161. doi: 10.15802/stp2013/9585.
7. Соболевская, М. Б. Основные положения концепции пассивной защиты скоростного пассажирского поезда при аварийных столкновениях / М. Б. Соболевская, С. А. Сирота // Техн. механика. – 2015. – № 1. – С. 84–96.
8. EN 15227. Railway applications – Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies. –

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- Brussel : European committee for standardization, 2008. – 37 p. doi: 10.3403/30133941.
9. EN 12663-1:2010. Railway applications – Structural requirements of railway vehicle bodies. – Brussel : European committee for standardization, 2010. – 18 p.
10. Llana, P. Preliminary development of locomotive crashworthy components / P. Llana, R. Stringfellow // Proc. of the ASME/ASCE/IEEE. 2011 Joint Rail Conf. (16.03-18.03.2011). – Pueblo, Colorado, USA, 2011. – P. 11–20. doi: 10.1115/jrc2011-56104.
11. Llana, P. Preliminary finite element analysis of locomotive crashworthy components / P. Llana, R. Stringfellow, R. Mayville // Proc. of the ASME/IEEE 2013 Joint Rail Conf. (15.04-18.04. 2013). – Knoxville, TN, USA, 2013. – P. 1–11. doi:10.1115/jrc2013-2546.
12. Locomotive Crashworthiness Requirements : AAR S-580 Standard. – Washington : Association of American Railroads, 2008. – 44 p.
13. Modelling and analysis of the crush zone of a typical Australian passenger train / Y. Q. Sun, C. Cole, M. Dhanasekar, D. P. Thambiratnam // Vehicle System Dynamics : Intern. J. of Vehicle Mechanics and Mobility. – 2012. – Vol. 50, № 7. – P. 1137–1155. doi:10.1080/00423114.2012.656-658.

Н. Ю. НАУМЕНКО¹, І. Ю. ХИЖА^{2*}

¹Від. «Динаміка багатовимірних механічних систем», Інститут технічної механіки НАН України і ДКА України, вул. Лешко-Попеля, 15, Дніпропетровськ, Україна, 49005, тел. +38 (056) 375 68 01, ел. пошта nenaumenko@gmail.com, ORCID 0000-0002-6913-2568

^{2*}Від. «Динаміка багатовимірних механічних систем», Інститут технічної механіки НАН України і ДКА України, вул. Лешко-Попеля, 15, Дніпропетровськ, Україна, 49005, тел. +38 (056) 46 79 35, ел. пошта inkhizha@gmail.com, ORCID 0000-0002-7103-7754

МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ЕКІПАЖІВ ПАСАЖИРСЬКОГО ПОЇЗДА, ОБЛАДНАНОГО СИСТЕМОЮ ПАСИВНОЇ БЕЗПЕКИ, ПРИ АВАРІЙНОМУ ЗІТКНЕННІ З ПЕРЕШКОДОЮ

Мета. Розвиток високошвидкісного руху на залізничному транспорті вимагає поновлення вимог до конструкції пасажирського рухомого складу та перегляду стандартів безпеки при аварійних зіткненнях поїздів із перешкодою. До конструкції екіпажів нового покоління висуваються вимоги щодо обладнання їх пасивними креш-системами, що забезпечують безпеку пасажирів та персоналу в аварійній ситуації. Випробування креш-систем пасажирського рухомого складу є тривалими в часі та вимагають значних матеріальних витрат. Із метою відпрацювання тестових сценаріїв зіткнення рухомого складу з перешкодою та оцінки показників поглинання енергії зіткнення пристроями пасивного захисту в роботі застосовується комп'ютерне моделювання. Першим етапом проведення досліджень динамічних процесів, що виникають у поїзді при наднормативних ударних навантаженнях, є оцінка максимальних значень стискальних сил у міжвагонних з'єднаннях поїзда, локомотив та вагони якого обладнано системами пасивної безпеки. **Методика.** На підставі концепції щодо пасивного захисту пасажирського рухомого складу для колії із шириною 1 520 мм при аварійних зіткненнях запропонована концептуальна система пасивної безпеки для пасажирських поїздів локомотивної тяги, сформованих із екіпажів нового покоління. Системою пасивної безпеки рекомендується обладнувати як локомотив, так і вагони. Для попередньої оцінки виконання вимог до системи пасивної безпеки пасажирського поїзда при аварійних зіткненнях, як правило, використовується спрощена дискретно-масова модель, в якій поїзд розглядається як одномірний ланцюжок твердих тіл, з'єднаних істотно нелінійними елементами, що деформуються. **Результати.** Розроблено алгоритм обчислення зусиль у міжвагонних з'єднаннях поїзда локомотивної тяги постійного формування, який враховує специфіку роботи зчіпних пристроїв, пристроїв поглинання енергії та пружнопластичні властивості конструкцій кузовів екіпажів при аварійних зіткненнях. **Наукова новизна.** Запропонований алгоритм дозволяє врахувати особливості формування поїзда локомотивної тяги нового покоління та роботи міжвагонного з'єднання при дослідженні динамічних процесів, що мають місце в поїзді при його аварійному зіткненні з перешкодою на залізничній колії. **Практична значимість.** Розроблені алгоритми обчислення зусиль взаємодії екіпажів пасажирського поїзда локомотивної тяги, обладнаних системами пасивної безпеки, можуть бути використані при математичному моделюванні тестових сценаріїв зіткнення еталонного поїзда з перешкодою для відпрацювання системи пасивної безпеки на етапі проектування пасажирського рухомого складу нового покоління.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Ключові слова: система пасивної безпеки; пасажирський поїзд; локомотивна тяга; постійне формування; тестові сценарії; аварійні зіткнення поїзда з перешкодою

N. YE. NAUMENKO¹, I. YU. KHYZHA^{2*}

¹Dep. «Dynamics of Multidimensional Mechanical Systems», Institute of Technical Mechanics of NAS Ukraine and SSA Ukraine, Leshko-Popel St., 15, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49005, tel. +38 (056) 375 68 01, e-mail nenaumenko@gmail.com, ORCID 0000-0002-6913-2568

^{2*}Dep. «Dynamics of Multidimensional Mechanical Systems», Institute of Technical Mechanics of NAS Ukraine and SSA Ukraine, Leshko-Popel St., 15, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49005, tel. +38 (056) 46 79 35, e-mail inkhizha@gmail.com, ORCID 0000-0002-7103-7754

MODELING OF INTERACTION OF THE PASSENGER TRAIN VEHICLES, EQUIPPED BY PASSIVE SAFETY, AT ACCIDENTAL COLLISION WITH OBSTACLE

Purpose. The development of high-speed railway traffic requires the updating of requirements for the design of passenger rolling stock and revision of safety standards on emergency situation of trains with an obstacle. To the construction crews of the new generation demands by equipping them with passive crash systems, ensuring the safety of passengers and personnel in an emergency situation. In order to refine test scenarios train collision with an obstacle and evaluation indicators of energy absorption of the collision of the passive protection devices which are used in computer modeling. The first step in the research of dynamic processes in the train when excessive shock effects, is to assess the maximum values of the compressive forces generated in intercar compound trains, locomotive and cars which are equipped with passive safety systems. **Methodology.** Based on the concept of passive protection of passenger rolling stock for track with width of 1 520 mm on emergency situation the conceptual passive safety system for passenger trains with locomotive traction are formed from the crews of the new generation was proposed. The passive safety system is recommended to be equipped both the locomotive and cars. For a preliminary assessment of compliance for the passive safety system of a passenger train on emergency situation, as a rule, the simplified discrete-mass model is used, in which the train is considered as one-dimensional chain of rigid bodies connected by nonlinear deformable elements. **Findings.** The algorithm for computing efforts in the interconnections of the train locomotive traction of the permanent formation is developed, taking into account the specifics of work of coupling devices, devices, energy absorption and elastic-plastic properties of the body structure of crews at emergency situation. **Originality.** The proposed algorithm allows taking into account the peculiarities of train locomotives of the new generation and the work of the inter-connections in the study of dynamic processes in train in case of emergency situation with an obstacle on the railway track. **Practical value.** Developed algorithms for computing the efforts of the interaction of the crews of passenger trains with locomotive traction, equipped with passive safety systems that can be used in mathematical modeling of test reference collision scenarios of trains with obstacles for improvement of passive safety systems in the design phase of the passenger rolling stock of new generation.

Keywords: passive safety system; passenger train; locomotive traction; permanent formation; test scenarios; emergency train collision with an obstacle

REFERENCES

1. Skorokhod S.A., Stoletov S.A., Bosetskaya D.O., Grechkin A.A. Analiz primeneniya avtostsepnogo ustroystva BSU-3 na passazhirskom podvizhnom sostave [Analysis of the use of automatic coupling device BSU-3 on passenger rolling stock]. *Vagonnyy park – Car fleet*, 2011, no. 9, pp. 28-29.
2. GOST 32410-2013 (EN 15227:2008+A1:2010, NEQ). *Mezhhgosudarstvennyy standart. Kresh-sistemy avariynye zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava dlya passazhirskikh perevozk. Tekhnicheskkiye trebovaniya i metody kontrolya*. [State standart 32410-2013 (EN 15227:2008+A1:2010, NEQ). Interstate standart. A crash system of railway rolling stock for passenger transport. Technical requirements and methods of control]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 11 p.
3. GOST R 53076-2008 (YeN 12663:2000). *Relsovyi transport. Trebovaniya k prochnosti kuzovov zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava* [State standart R 53076-2008 (EN 12663:2000). Rail transport. The requirements for the strength of the body of railway rolling stock.]. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 12 p.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

4. Kobishchanov V.V., Antipin D.Ya. Issledovaniye bezopasnosti ekspluatatsii passazhirskikh vagonov, oborudovannykh bezzazornymi stsepnymi ustroystvami, v poyezdakh postoyannogo formirovaniya [A study of the safe operation of passenger cars equipped with no-backlash couplings, in trains of permanent formation]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni V. Dalia* [Bulletin of the East Ukrainian National University named after V. Dahl], 2011, no. 4 (158), part 2, pp. 46-49.
5. Naumenko N.Ye., Khizha I.Yu. Modelirovaniye avariynogo soudareniya s pregradoy passazhirskogo poezda, oborudovannogo sistemoy passivnoy bezopasnosti [Modeling of accidental collision with an obstacle passenger trains equipped with passive safety systems]. *Tekhnicheskaya mekhanika – Technical Mechanics*, 2014, no. 4, pp. 65-74.
6. Naumenko N.Ye., Khizha I.Yu. Otsenka vliyaniya raboty ustroystv sistemy passivnoy bezopasnosti passazhirskogo lokomotiva na ego dinamicheskuyu nagruzhennost pri avariynom stolknovenii s prepyatstviem na zheleznoy doroge [Influence assessment of the passive restraint system devices of the passenger locomotive on its dynamic loading during accident on the railroad]. *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. 154-161. doi: 10.15802/stp2013/9585.
7. Sobolevskaya M.B., Sirota S.A. Osnovnyye polozheniya kontseptsii passivnoy zashchity skorostnogo passazhirskogo poyezda pri avariynykh stolknoveniyakh [The basic concept of passive protection of high-speed passenger trains on accidental collisions]. *Tekhnicheskaya mekhanika – Technical Mechanics*, 2015, no. 1, pp. 84-96.
8. EN 15227. *Railway applications – Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies*. Brussel, European committee for standardization Publ., 2008. 37 p.
9. EN 12663-1:2010. *Railway applications – Structural requirements of railway vehicle bodies*. Brussel, European committee for standardization Publ., 2010. 18 p.
10. *Locomotive Crashworthiness Requirements: AAR S-580 Standard*. Washington, Association of American Railroads Publ., 2008. 44 p.
11. Llana P., Stringfellow R. Preliminary development of locomotive crashworthy components. *Proc. of the ASME/ASCE/IEEE. 2011 Joint Rail Conference* (16.03–18.03. 2011). Pueblo, Colorado, USA, 2011, pp. 11-20. doi: 10.1115/jrc2011-56104.
12. Llana P., Stringfellow R., Mayville R. Preliminary finite element analysis of locomotive crashworthy components. *Proc. of the ASME/IEEE. 2013 Joint Rail Conf.* (15.04.–18.04. 2013). Knoxville, TN, USA, 2013, pp. 1-11. doi: 10.1115/jrc2013-2546.
13. Sun Y. Q., Cole C., Dhanasekar M., Thambiratnam D.P. Modelling and analysis of the crush zone of a typical Australian passenger train. *Vehicle System Dynamics: Intern. Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 2012, vol. 50, no. 7, pp. 1137-1155. doi:10.1080/00423114.2012.656658.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., ст.науч.сотр. Н. А. Радченко (Украина); д.т.н., проф. С. В. Мямлиным (Украина)

Поступила в редколлегию 12.03.2015

Принята к печати 28.07.2015

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.4.017:625.1.032.84

А. А. ШВЕЦ^{1*}, К. И. ЖЕЛЕЗНОВ^{2*}, А. С. АКУЛОВ^{3*}, А. Н. ЗАБОЛОТНЫЙ^{4*},
Е. В. ЧАБАНЮК^{5*}

^{1*}СКТБ МСУБ, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (050) 214 14 19, эл. почта angela_shvets@ua.fm, ORCID 0000-0002-8469-3902

^{2*}СКТБ МСУБ, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (095) 545 38 87, эл. почта constantinz@i.ua, ORCID 0000-0003-3648-1769

^{3*}СКТБ МСУБ, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (067) 178 16 90, эл. почта asakulov@gmail.com, ORCID 0000-0002-6123-5431

^{4*}СКТБ МСУБ, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (067) 282 13 41, эл. почта zabolotnyi@i.ua, ORCID 0000-0003-1651-7082

^{5*}СКТБ МСУБ, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (066) 633 55 95, эл. почта 457m@ukr.net, ORCID 0000-0001-5695-5955

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОЖНИХ ВАГОНОВ ОТ ВЫЖИМАНИЯ ИХ ПРОДОЛЬНЫМИ СИЛАМИ В ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДАХ

Цель. Несмотря на реализацию многочисленных программ по повышению безопасности движения поездов, проблема снижения сходов подвижного состава с рельсов по-прежнему является актуальной. Цель исследования – уточнить существующую методику определения коэффициента запаса устойчивости от выжимания продольными силами для обеспечения устойчивости вагонов при увеличении скоростей движения подвижного состава. **Методика.** Исследование проводилось методом математического моделирования на грузежности грузового вагона при движении с различными скоростями по прямым и кривым участкам пути. **Результаты.** Анализ полученных результатов показывает, что для всех выбранных для расчетов грузовых вагонов величины коэффициента запаса устойчивости от выжимания меньше, чем по нормативным формулам. Исправления, внесенные в формулу для определения коэффициента запаса устойчивости от выжимания продольными силами, позволяют: 1) добиться повышения запаса устойчивости легковесных вагонов, исключив их выжимание продольными силами во всем диапазоне допустимых скоростей движения грузовых поездов; 2) разработать и реализовать меры по предотвращению выжимания вагонов во всем диапазоне скоростей движения; 3) определить степень устойчивости порожнего вагона в голове, в середине и в хвосте груженого поезда; 4) предложить оптимальные схемы формирования смешанных поездов. **Научная новизна.** В исследовании приведен анализ существующих методик определения коэффициента запаса устойчивости вагонов в грузовых поездах от выжимания продольными силами, а также разработаны предложения по уточнению этих методик на стадии проектирования, постройки и в процессе эксплуатации. **Практическая значимость.** В данном исследовании уточняется существующая методика определения коэффициента запаса устойчивости от выжимания продольными силами, а также оценивается влияние скорости движения подвижного состава на величину этого коэффициента. Разработанные предложения по уточнению существующих методик определения коэффициента запаса устойчивости от выжимания вагонов продольными силами в поезде позволяют снизить количество сходов вагонов с рельсов. Это достигается за счет учета при расчетах и проектировании важных параметров и характеристик, повышающих их устойчивость в рельсовой колеи, особенно при увеличении скоростей движения грузовых поездов.

Ключевые слова: безопасность движения; нормы расчета; устойчивость вагонов от выжимания; скорость движения; коэффициент устойчивости

Введение

Безопасность движения является основным условием нормальной работы железных дорог. Проблемы обеспечения безопасности движения поездов и маневровой работы являются главными для железнодорожного транспорта, так как крушения и аварии, происходящие по причине сходов вагонов с рельсов, полностью предотвратить не удастся.

Повышение уровня безопасности движения грузовых вагонов является одним из приоритетных направлений в деятельности железных дорог Украины и представляет собой комплекс мероприятий, направленных на сохранность перевозимых грузов, сохранность объектов инфраструктуры и подвижного состава железнодорожного транспорта, экологической безопасности окружающей среды [10].

Большинство существующих методик, применяемых для оценки безопасности движения вагонов, устанавливают допустимые пределы значений для параметров (коэффициенты запаса устойчивости от вкатывания на головку рельса, от выжимания, от опрокидывания, уровень рамных сил, коэффициенты динамики и т. д.), при выходе за которые существует лишь вероятность возникновения аварийно-опасной ситуации. В связи с этим, требуется разработка уточненных методик для оценки безопасности движения подвижного состава, позволяющих определить момент «явного схода», т. е. оценить не только выполнение необходимого, но и достаточного условия схода.

Исходя из вышесказанного проблемы разработки критериев оценки безопасности движения, взаимодействия и износа колеса и рельса в кривых участках пути, а также влияния технического состояния экипажной части подвижного состава на безопасность движения – актуальны.

Цель

Для оценки устойчивости экипажа в рельсовой колее используют критерии, которые определяют условия вкатывания колеса на головку рельса, опрокидывания рельса и расширения колеи. Одним из таких условий является соотношение боковых и вертикальных сил действующих на колесо в зоне контакта его гребня с рельсом.

Обеспечение безопасности движения поездов является главным условием нормальной работы железных дорог. Несмотря на реализацию многочисленных программ по повышению безопасности движения поездов проблема снижения количества сходов с рельсов подвижного состава по-прежнему является весьма актуальной. Статистические данные о сходах за последние два десятилетия свидетельствуют о постепенном их снижении. Однако, в определенные периоды наблюдаются резкие всплески числа сходов, особенно порожних вагонов в грузовых поездах. Среди объективных причин таких явлений (колебания объемов перевозок, повышение массы и скоростей движения, изменения условий взаимодействия подвижного состава и пути, норм их устройства и содержания и т.д.) следует прежде всего обратить внимание на то обстоятельство, что грузовые вагоны, находящиеся в эксплуатации, запроектированы и построены по разным редакциям норм их расчета и проектирования.

При проектировании и постройке новых и модернизации существующих грузовых вагонов одним из обязательных условий, определяющих их пригодность к эксплуатации, является выполнение условия обеспечения запаса устойчивости от выжимания вагона продольными силами в поезде и вкатывания гребней колес на головку рельса. Показатель устойчивости вагонов от схода с рельсов, как известно, оцениваются соотношением горизонтальных поперечных (боковых) сил к вертикальным силам, действующим в точке контакта гребня колеса с головкой рельса [21, 22]. При этом до сих пор отсутствует единое мнение по поводу того, какие именно силы следует выбирать для расчетов: боковые на контакте гребня колеса с рельсом, направляющие или рамные силы. В работе [1] справедливо отмечается, что в принципе на практике расчёты критериев безопасности от схода подвижного состава с рельсов, определяемые с использованием боковых, рамных или направляющих сил, равнозначны, поскольку указанные силы взаимозависимы.

Для оценки устойчивости от схода с рельсов вагонов используется критерий, в который входит боковая сила, а для оценки движения локомотивов и мотор-вагонного подвижного состава

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ва используется критерий, в который входит направляющая сила [23].

При проектировании новых и модернизации существующих грузовых вагонов одним из обязательных условий, определяющих их пригодность к эксплуатации, является выполнение условия обеспечения запаса устойчивости от выжимания вагона продольными силами в поезде. В настоящее время в Украине показатель устойчивости определяется по выражениям, канонизированным в [13]. В России на данный момент действует другая редакция этого документа [14]. В этих источниках приведенные выражения несколько отличаются друг от друга. Чтобы разобраться в причинах этих различий, обратимся к первоисточнику.

Методика

Методика оценки устойчивости вагонов от выжимания продольными силами в поезде детально исследована в работах ВНИИВа и ВНИИЖТа под руководством С. В. Вершинского [7, 17, 18]. В этих исследованиях использовались классические расчетные схемы сил, действующих на четырехосный вагон и его тележки в перекошенном состоянии. Расчетные схемы, использованные при выводе формул в [7], приведены на рис. 1.

В указанных исследованиях были определены зависимости коэффициента запаса устойчивости вагонов от выжимания их продольными силами в поезде как на прямых, так и на кривых участках пути.

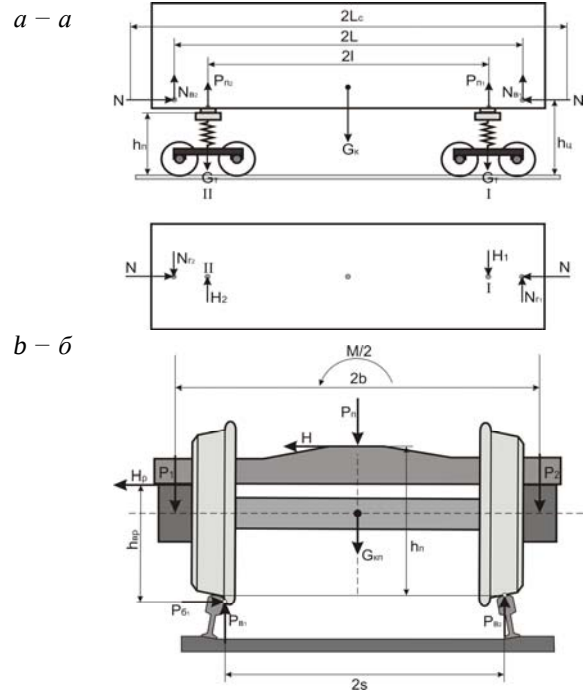


Рис. 1. Расчетная схема сил, действующих в результате продольного сжатия:
а – на вагон; б – на тележку

Fig. 1. Diagram of the forces acting as a result of longitudinal compression:
а – on the car; б – on the trolley

Основополагающее выражение коэффициента запаса устойчивости вагонов от выжимания было опубликовано в 1970 г в работе [7] и имело вид, представленный на рис. 2:

$$\eta_{I, II} = \frac{\operatorname{tg} \beta - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \beta} \times \left(P_T + \frac{N}{1 - \frac{N}{N_{\text{ка}}}} \left[\frac{\delta_0 L}{l^2} \left(1 + \frac{L}{a} \right) \frac{h_{\text{п}}}{h_{\text{ц}}} \pm \alpha \frac{L_{\text{с}}}{R} \right] \frac{h_{\text{ц}}}{S} \right) \times \frac{1}{\mu P_T + \frac{2N}{1 - \frac{N}{N_{\text{ка}}}} \left\{ \left[\frac{\delta_0 L}{l^2} \left(1 + \frac{L}{a} \right) \pm \alpha \frac{L_{\text{с}}}{R} \right] \left(1 - \mu \frac{h_{\text{п}}}{2S} \right) \mp \alpha \frac{L_{\text{с}}}{R} \cdot \frac{h_{\text{ц}} - h_{\text{п}}}{2S} \right\}}$$

Рис. 2. Выражение для определения коэффициента запаса устойчивости от выжимания продольными силами [7]

Fig. 2. The equation for determining the factor of sustainability from squeezing longitudinal forces [7]

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

В этом выражении (см. рис. 2) и на рис. 1 приняты следующие обозначения:

I и II – номера тележек по ходу движения;

N – продольная сжимающая сила в автосцепке, кН;

$N_{в1}$ и $N_{в2}$ – вертикальные проекции продольной силы в автосцепке при сжатии соответственно впереди и сзади вагона, кН;

$N_{г1}$ и $N_{г2}$ – горизонтальные проекции продольной силы на автосцепке при сжатии соответственно впереди и сзади вагона, кН;

H_1 и H_2 – поперечные горизонтальные усилия в первом и втором по ходу движения пятниках кузова вагона, кН;

H_p – рамная сила, действующая на колесную пару, кН;

$M/2$ – половина опрокидывающего момента, действующего от кузова вагона на пятник, кН·м;

$P_{п1}$ и $P_{п2}$ – вертикальные реакции на первый и второй по ходу движения пятник вагона, кН;

P_1 и P_2 – вертикальные силы, действующие на буксы колесной пары соответственно на набегающем и ненабегающем колесе, кН;

$P_{в1}$ и $P_{в2}$ – вертикальные реакции в зоне контакта колеса и рельса на набегающем и на ненабегающем колесе, кН;

$P_{б1}$ и $P_{б2}$ – горизонтальные реакции в зоне контакта колеса и рельса на набегающем и на ненабегающем колесе, кН;

P_t – вертикальная нагрузка от тележки на путь, учитывающая обезгруживание под действием продольной силы, кН;

$2L_c$ – длина вагона по осям сцепления, м;

$2L$ – длина вагона по концевым балкам, м;

2ℓ – база вагона, м;

$h_{п}$ – высота рабочей плоскости пятника над уровнем головок рельсов, м;

$h_{ц}$ – высота оси автосцепки над уровнем головок рельсов, м;

$h_{вр}$ – высота верхней точки рессорных комплектов над уровнем головок рельсов, м;

$2b$ – расстояние между точками приложения вертикальных сил, действующих на буксы колесной пары соответственно на набегающем и ненабегающем колесе, кН;

$2S$ – расстояние между кругами катания колес, м;

R – радиус кривой, м;

$2\delta_0$ – суммарный поперечный разбег рамы

кузова вагона относительно оси пути в направляющем сечении, м;

a – длина корпуса автосцепки (от оси сцепления до конца хвостовика), м;

μ – коэффициент трения гребня о выкружку головки рельса;

β – угол, образованный прямолинейной частью контура профиля гребня колеса к плоскости пути;

$G_{кл}$ – вес колесной пары, кН;

α – коэффициент, учитывающий влияние продольных критических сил, приводящих к относительному перекосу вагонов и осей автосцепок в плане:

$$\alpha = \frac{1 - N/N_{ка}}{1 - N/N_{кб}}, \quad (1)$$

где $N_{ка}$ и $N_{кб}$ – продольные критические силы, приводящие к относительному перекосу вагонов и осей автосцепок в плане и определяемые из выражений:

$$N_{ка} = \frac{C_r}{1 - L/a} \cdot \frac{\ell^2}{L}, \quad N_{кб} = a \cdot C_r, \quad (2)$$

C_r – горизонтальная поперечная жесткость рессорного подвешивания одной тележки, кН/м.

Выражение (рис. 2) с различными обозначениями вошло в «Нормы для расчетов и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм», разработанные ВНИИЖТом в 1972 г. [12] (рис. 3) и в последующие их переиздания, изменениях и дополнениях в 1983 г. [13] (см. рис. 6) и в 1996 г. (рис. 8) [14]. Во всех этих новых Нормах приведены формулы, несколько отличающиеся друг от друга.

Это же выражение для определения коэффициента запаса устойчивости от выжимания продольными силами в Нормах расчета [12] выглядит практически так же, за исключением нового обозначения:

$$\gamma = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{ка}}}, \quad (3)$$

γ – коэффициент перекоса.

С помощью формулы, приведенной в [13, 14], рассчитывались коэффициенты запаса устойчи-

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ности для целого ряда эксплуатируемых в то время грузовых вагонов и показано, что все они

имеют достаточные для обеспечения устойчивости величины.

$$\eta_{\text{с.с.}} = \frac{\text{tg } \beta - \mu}{1 + \mu \text{tg } \beta} \cdot \frac{P_T + \gamma N \left[\frac{\delta L}{l^2} \left(1 + \frac{L}{a} \right) \frac{h_a}{h_u} \pm \alpha \frac{L_c}{R} \right] \frac{h_u}{s}}{P_T + \mu + 2\gamma N \left\{ \left[\frac{\delta L}{l^2} \left(1 + \frac{L}{a} \right) \pm \alpha \frac{L_c}{R} \right] \left(1 - \mu \frac{h_a}{2s} \right) \mp \alpha \frac{L_c}{R} \cdot \frac{(h_u - h_a)}{2s} \right\}}$$

Рис. 3. Выражение для определения коэффициента запаса устойчивости от выжимания продольными силами [12]

Fig. 3. The equation for determining the factor of stability from the squeezing longitudinal forces [12]

Далее были проанализированы формулы, опубликованные в различных источниках, описывающие вычисления коэффициента запаса устойчивости от выжимания вагона продольными силами в поезде [2, 3, 4]. В этих источниках, казалось бы, одни и те же формулы выгля-

дят по-разному. Ниже на рис. 4–7 приведены выражения, взятые из этих источников.

Здесь, по сравнению с первоисточником [7] (см. рис. 2), в числителе разность вместо суммы. Возможно это опечатка, но никаких указаний на этот счет в источнике [2] нет.

$$\kappa_{yI, II} = \frac{\text{tg } \beta - \mu}{1 + \mu \text{tg } \beta} \times \frac{P_T + \frac{N}{1 - \frac{N}{N_{\text{кра}}}} \left[\frac{\delta L}{l^2} \left(1 + \frac{L}{a} \right) \frac{h_{\Pi}}{h_{\Pi}} \pm \alpha \frac{L_c}{R} \right] \frac{h_{\Pi}}{s}}{\mu P_T + \frac{N}{1 - \frac{N}{N_{\text{кра}}}} \left\{ \left[\frac{\delta L}{l^2} \left(1 + \frac{L}{a} \right) \pm \alpha \frac{L_c}{R} \right] \left(1 - \mu \frac{h_{\Pi}}{2s} \right) \mp \alpha \frac{L_c}{R} \frac{h_{\Pi} - h_{\Pi}}{2s} \right\}}$$

Рис. 4. Выражение для коэффициента запаса устойчивости от выжимания продольными силами [2]

Fig. 4. The equation of the safety factor of stability from the squeezing longitudinal forces [2]

$$\kappa_{yI, II} = \frac{\text{tg } \beta - \mu}{1 + \mu \text{tg } \beta} \times \frac{P_T + \frac{N}{1 - \frac{N}{N_{\text{кра}}}} \left[\frac{\delta L}{l^2} \left(1 + \frac{L}{a} \right) \frac{h_{\Pi}}{h_{\Pi}} \pm \alpha \frac{L_c}{R} \right] \frac{h_{\Pi}}{s}}{\mu P_T + \frac{2N}{1 - \frac{N}{N_{\text{кра}}}} \left\{ \left[\frac{\delta L}{l^2} \left(1 + \frac{L}{a} \right) \pm \alpha \frac{L_c}{R} \right] \left(1 - \mu \frac{h_{\Pi}}{2s} \right) \mp \alpha \frac{L_c}{R} \frac{h_{\Pi} - h_{\Pi}}{2s} \right\}}$$

Рис. 5. Выражение для коэффициента запаса устойчивости от выжимания продольными силами [3, 4]

Fig. 5. The equation of the safety factor of stability from the squeezing longitudinal forces [3; 4]

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

В источниках [3, 4] в знаменателе в круглых скобках, которые умножаются на квадратные,

плечо силы h_{Π} заменено на h_{Π} .

Рис. 6. Выражение для коэффициента запаса устойчивости от выжимания продольными силами [13]

Fig. 6. The equation of the safety factor of stability from the squeezing longitudinal forces [13]

В дополнениях к Нормам [13] указано, что за фигурной скобкой в знаменателе необходимо вписать квадратную скобку и закрыть фигур-

ную скобку в конце знаменателя. Окончательно имеем зависимость:

$$K_{\text{ув}}^1 = \frac{\text{tg}\beta - \mu}{1 + \mu \cdot \text{tg}\beta} \cdot \frac{P_t + \gamma N \cdot \left[\frac{\delta \cdot L}{\ell^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) \cdot \frac{h_{\Pi}}{h_u} \pm \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \right] \cdot \frac{h_u}{S}}{\mu \cdot P_t + 2\gamma N \cdot \left\{ \left[\frac{\delta \cdot L}{\ell^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) \pm \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \right] \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_{\Pi}}{2S} \right) \mp \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \cdot \frac{h_a - h_{\Pi}}{2S} \right\}}. \quad (4)$$

На рис. 7 изображена исследуемая зависимость коэффициента запаса устойчивости от

выжимания продольными силами, опубликованная в первоначальной редакции Норм [14]:

Рис. 7. Выражение для коэффициента запаса устойчивости от выжимания продольными силами [14]

Fig. 7. The equation of the safety factor of stability from the squeezing longitudinal forces [14]

Согласно изменениям к Нормам 1996 г., вышедшим в 2000 и 2002г. выражение для ко-

эффициента запаса устойчивости принимает вид:

$$K_{\text{yc}} = \frac{\text{tg}\beta - \mu}{1 + \mu \cdot \text{tg}\beta} \times \frac{P_t + 2\gamma \cdot N \cdot \left\{ \left[\frac{\delta_0 L}{\ell^2} \left(1 + \frac{L}{a} \right) \cdot h_{\Pi} \pm \alpha \frac{L_c}{R} h_a \right] \right\} \frac{1}{2S} \mp 2P_{\text{тст}} \frac{h_p}{2S} \cdot \frac{h_{\Pi}}{2S}}{\mu \cdot P_t + 2\gamma \cdot N \cdot \left\{ \left[\frac{\delta_0 L}{\ell^2} \left(1 + \frac{L}{a} \right) \pm \alpha \frac{L_c}{R} \right] \cdot \left(1 - \mu \frac{h_a}{2S} \right) \mp \mu \alpha \frac{L_c}{R} \cdot \frac{h_a - h_{\Pi}}{2S} \right\} \mp 2P_{\text{тст}} \frac{h_p}{2S} \cdot \left(1 - \mu \frac{h_{\Pi}}{2S} \right)} \geq [K_{\text{yc}}]. \quad (5)$$

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Здесь высота оси автосцепки над уровнем головок рельсов обозначается величиной h_a , а $h_{\text{ц}}$ – высота центра тяжести вагона над уровнем головок рельсов. Кроме этого, в числителе и знаменателе появились слагаемые, учитывающие влияние силы, порожденной возвышением наружного рельса в кривой и направленной внутрь кривой, но почему-то не учитывается влияние центробежной силы вагона, направленной наружу кривой. Такой подход заведомо увеличивает устойчивость от выжимания наружу кривой.

В формулах, показанных на рис. 2–6, использованы следующие обозначения:

$h_{\text{п}}$ – высота рабочей плоскости пятника над уровнем головок рельсов, м;

$h_{\text{ц}}$ – высота оси автосцепки над уровнем головок рельсов, м.

В формуле на рис. 7:

$h_{\text{п}}$ – высота рабочей плоскости пятника над уровнем головок рельсов, м;

h_a – высота оси автосцепки над уровнем головок рельсов, м;

$h_{\text{ц}}$ – высота центра тяжести вагона над уровнем головок рельсов, м;

$h_{\text{р}}$ – возвышение наружного рельса в кривой, м.

Все остальные обозначения одинаковы для всех приведенных формул и соответствуют описанию в Нормах [13, 14].

Как видно из приведенных формул, в разных источниках даются несколько отличающиеся друг от друга выражения для вычисления коэффициента запаса устойчивости от схода при действии на вагон продольных сжимающих сил. Изучив существующие публикации, авторы пришли к выводу о необходимости более тщательного исследования первоисточника [7]. Согласно [7] при движении в кривой под действием продольной сжимающей силы от кузова вагона на подпятник тележки передаются следующие усилия:

– горизонтальные силы, действующие на подпятник тележки:

$$H_{1,2} = \gamma \cdot N \cdot \left[\frac{\delta_0 \cdot L}{\ell^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) \pm \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \right]; \quad (6)$$

– вертикальная нагрузка от кузова на подпятник тележки, учитывающая обезгруживание под действием продольной силы:

$$P_{\text{п}} = \frac{G_{\text{к}}}{2} - \frac{N \cdot \frac{\Delta h}{2a} \cdot \left(\frac{L + \ell}{2\ell} - \frac{L}{\ell} \cdot \frac{1}{1 - \frac{C_{\text{в}} \cdot \ell^2}{N \cdot L}} \right)}{1 - \frac{N}{2a \cdot C_{\text{в}}} \cdot \left(1 + \frac{L^2}{\ell^2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{N \cdot L}{C_{\text{в}} \cdot \ell^2}} \right)}, \quad (7)$$

$G_{\text{к}}$ – вес кузова вагона, кН;

$C_{\text{в}}$ – вертикальная жесткость рессорного подвешивания одной тележки, кН/м;

– опрокидывающий момент от кузова на одну тележку:

$$\begin{aligned} \frac{M}{2} &= \frac{N}{1 - \frac{N}{N_{\text{кб}}}} \cdot \frac{L_c}{R} \cdot (h_{\text{ц}} - h_{\text{п}}) = \\ &= \gamma \cdot \alpha \cdot N \cdot \frac{L_c}{R} \cdot (h_{\text{ц}} - h_{\text{п}}). \end{aligned} \quad (8)$$

Рассмотрев условия равновесия одиночной колесной пары, получим [8, 9, 20]:

$$\begin{cases} \sum Z = P_1 + P_2 + G_{\text{кп}} - N_2 - P_{\text{в}} = 0 \\ \sum M = N_2 \cdot 2S - G_{\text{кп}} \cdot S + P_1 \cdot b_1 - \\ - P_2 \cdot b_2 + H_{\text{р}} \cdot h_{\text{вр}} = 0 \\ \sum Y = P_{\text{о}} - H_{\text{р}} - \mu \cdot N_2 = 0 \end{cases} \quad (9)$$

$h_{\text{вр}}$ – высота от УГР до верхней плоскости центрального рессорного комплекта, м.

При этом вертикальные P_1 , P_2 и горизонтальная $H_{\text{р}}$ силы, действующие на колесную пару, соответственно равны [19]:

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{P_{\text{п}}}{4} + \frac{G_{\text{тн}}}{4} + \frac{H_1}{4} \cdot \frac{c}{b} + \frac{M}{8b}, \\ P_2 &= \frac{P_{\text{п}}}{4} + \frac{G_{\text{тн}}}{4} - \frac{H_1}{4} \cdot \frac{c}{b} - \frac{M}{8b}, \\ H_{\text{р}} &= \frac{H_1}{2}, \end{aligned} \quad (10)$$

$G_{\text{тн}}$ – вес тележки без колесных пар, кН;

c – расстояние по вертикали от верхней плоскости центрального рессорного комплекта до рабочей плоскости пятника, м.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Решая систему линейных уравнений, определяем вертикальную и боковую поперечную реакции рельса на набегающее колесо:

$$P_b = \frac{1}{4} \cdot \left\{ P_T + N \cdot \gamma \cdot \left[\frac{\delta_0 \cdot L}{\ell^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) \cdot \frac{h_n}{h_u} \pm \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \right] \cdot \frac{h_u}{S} \right\}, \quad (11)$$

$$P_6 = \frac{1}{4} \cdot \left[\mu \cdot P_T + 2\gamma N \cdot \left\{ \left[\frac{\delta_0 \cdot L}{\ell^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) \pm \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \right] \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_n}{2S} \right) \mp \mu \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \cdot \frac{h_u - h_n}{2S} \right\} \right]. \quad (12)$$

Боковая реакция в зоне контакта колеса и рельса P_6 (12) отличается от приведенной в [7] множителем при последнем слагаемом. Кроме того, полученное выражение возможно упростить:

$$P_6 = \frac{1}{4} \cdot \left[\mu \cdot P_T + 2\gamma N \cdot \left\{ \frac{\delta_0 \cdot L}{\ell^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_n}{2S} \right) \pm \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_u}{2S} \right) \right\} \right]. \quad (13)$$

Выражение для определения коэффициента запаса устойчивости от выжимания продольными силами с учетом реакций (11) и (13) окончательно примет вид:

$$K_{yb}^{I,II} = \frac{\text{tg}\beta - \mu}{1 + \mu \cdot \text{tg}\beta} \cdot \frac{P_T + \gamma N \cdot \left[\frac{\delta_0 \cdot L}{\ell^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) \cdot \frac{h_n}{h_u} \pm \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \right] \cdot \frac{h_u}{S}}{\mu \cdot P_T + 2\gamma N \cdot \left\{ \frac{\delta_0 \cdot L}{\ell^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_n}{2S} \right) \pm \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_u}{2S} \right) \right\}}. \quad (14)$$

В рассматриваемом выражении не учтены силы инерции не только колесной пары, но и обрессоренных масс вагона, что весьма важно при оценке устойчивости вагонов, движущихся со значительными скоростями в кривых. Учет скорости движения необходим при оценке устойчивости в процессе проведения служебных и экспертных расследований случаев сходов

подвижного состава с рельсов. Кроме того, учет скорости движения экипажа будет полезен при оценке правильности действий машиниста в ходе выполнения учебных заданий на тренажерах машиниста [11].

Расчетная схема для этого случая приведена на рис. 8.

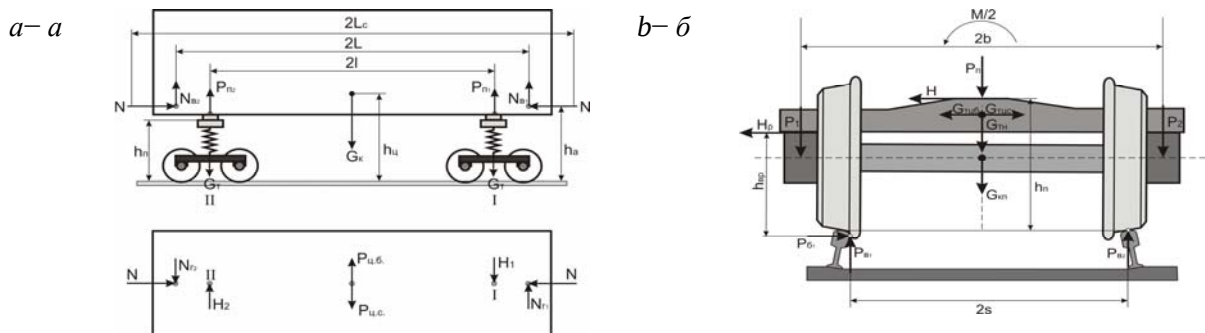


Рис. 8. Расчетная схема сил, действующих в результате продольного сжатия с учетом сил инерции:
а – на вагон; б – на тележку

Fig. 8. Diagram of the forces acting as a result of longitudinal compression with the force of inertia:
а – on the car; б – on the trolley

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

При введении сил инерции в расчетные схемы используются индексы для обозначения высот приведенные в Нормам [14]:

h_{Π} – высота рабочей плоскости пятника над уровнем головок рельсов, м;

h_a – высота оси автосцепки над уровнем головок рельсов, м;

h_{Π} – высота центра тяжести вагона над уровнем головок рельсов, м.

Вертикальная и боковая реакции рельса на набегающее колесо с учетом сил инерции:

$$P_b = \frac{1}{4} \cdot \left\{ P_r + N \cdot \gamma \cdot \left[\frac{\delta_0 \cdot L}{\ell^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) \cdot \frac{h_{\Pi}}{h_a} \pm \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \right] \cdot \frac{h_a}{S} \pm \frac{1}{2} P_{ин} \cdot \frac{h_{\Pi}}{S} \right\}, \quad (15)$$

$$P_{\phi} = \frac{1}{4} \cdot \left[\begin{aligned} &\mu \cdot P_r + 2\gamma N \cdot \left\{ \left[\frac{\delta_0 \cdot L}{\ell^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) \pm \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \right] \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_{\Pi}}{2S} \right) \mp \mu \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \cdot \frac{h_a - h_{\Pi}}{2S} \right\} \pm \\ &\pm P_{ин} \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_{\Pi}}{2S} \right) \end{aligned} \right], \quad (16)$$

$$P_{ин} = (G_k + 2 \cdot G_{тел}) \cdot \frac{a_{неп}}{g}. \quad (17)$$

$P_{ин}$ – сила инерции вагона, кН;

G_k – вес кузова вагона, кН;

$G_{тел}$ – вес тележки, кН;

$a_{неп}$ – непогашенное ускорение, м/с²;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Выражение для боковой реакции рельса на набегающее колесо, как и в предыдущем случае, возможно упростить:

$$P_{\phi} = \frac{1}{4} \cdot \left[\begin{aligned} &\mu \cdot P_r + 2\gamma N \cdot \left\{ \frac{\delta_0 \cdot L}{\ell^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_{\Pi}}{2S} \right) \pm \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_a}{2S} \right) \right\} \pm \\ &\pm P_{ин} \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_{\Pi}}{2S} \right) \end{aligned} \right]. \quad (18)$$

Выражения для определения коэффициента запаса устойчивости от выжимания продольными силами с учетом сил инерции от непога-

шенного ускорения согласно выражениям (15) и (18) имеет окончательно вид:

$$K_{ув}^{I,II} = \frac{\text{tg}\beta - \mu}{1 + \mu \cdot \text{tg}\beta} \times \frac{P_r + \gamma N \cdot \left[\frac{\delta_0 \cdot L}{\ell^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) \cdot \frac{h_{\Pi}}{h_a} \pm \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \right] \cdot \frac{h_a}{S} \pm \frac{1}{2} P_{ин} \cdot \frac{h_{\Pi}}{S}}{\mu \cdot P_r + 2\gamma N \cdot \left\{ \frac{\delta_0 \cdot L}{\ell^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_{\Pi}}{2S} \right) \pm \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_a}{2S} \right) \pm P_{ин} \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_{\Pi}}{2S} \right) \right\}}. \quad (19)$$

Для сравнения были произведены расчеты по четырем формулам. Первые две из них – это Нормы [13] и [14], вторые две – уточненные формулы первоисточника [7] без учета сил инерции (14) и с их учетом (19). Силы инерции определялись при движении вагона в кривой радиусом 250 м и возвышением наружного рельса 150 мм с допускаемой скоростью

65 км/ч [15, 16]. Расчеты выполнены для некоторых моделей полувагонов [5, 6]. Эти модели отличаются между собой в основном длинами по осям сцепления автосцепок (от 11,2 до 19 м), величинами базы вагона (от 7,1 до 13,8 м) и тарой (от 22,2 до 28 т). Полученные результаты сведены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты запаса устойчивости от выжимания для полувагонов

Table 1

The load factor of stability from the squeezing for gondola cars

№ формулы	Полувагоны модели							
	12-1505	12-532	12-2122-01	12-127	12-2123	12-4004	22-478	22-4008
1983 г.	1,367	1,399	1,360	1,400	1,509	1,762	1,628	1,671
1996 г.	1,441	1,482	1,445	1,486	1,577	1,923	1,747	1,770
1996 г. ¹	1,320	1,351	1,322	1,354	1,460	1,675	1,551	1,623
1996 г. ²	1,266	1,294	1,271	1,300	1,410	1,582	1,472	1,567

Примечание: 1 – корректировка формулы из [14], зависимость (4); 2 – корректировка формулы из [14] с учетом сил инерции при движении в кривой с допустимой скоростью, зависимость (9)

Самые низкие величины коэффициентов запаса устойчивости от выжимания приходятся на вагоны с небольшими величинами длин по осям сцепления автосцепок, базами вагона и массы тары. В дальнейшем все расчеты производились только для этой категории грузовых вагонов [5, 6]. Полученные результаты сведены в табл. 2–5.

Таблица 2

Коэффициенты запаса устойчивости от выжимания для цистерн

Table 2

The load factor of stability from the squeezing for tanks

№ формулы	Цистерны модели		
	15-145	15-869	15-1548
1983 г.	1,597	1,647	1,423
1996 г.	1,683	1,740	1,485
1996 г. ¹	1,543	1,587	1,375
1996 г. ²	1,489	1,523	1,324

Таблица 3

Коэффициенты запаса устойчивости от выжимания для крытых вагонов

Table 3

The load factor of stability from the squeezing for covered cars

№ формулы	Крытые вагоны модели		
	11-H002	11-066	10-475
1983 г.	1,315	1,492	1,642
1996 г.	1,369	1,588	1,808
1996 г. ¹	1,263	1,433	1,592
1996 г. ²	1,214	1,364	1,504

Таблица 4

Коэффициенты запаса устойчивости от выжимания для вагонов-хопперов

Table 4

The load factor of stability from the squeezing for hopper cars

№ формулы	Вагоны-хопперы модели		
	11-715	19-1217	20-4078
1983 г.	1,349	1,564	1,455
1996 г.	1,383	1,617	1,511
1996 г. ¹	1,304	1,505	1,419
1996 г. ²	1,264	1,450	1,383

Таблица 5

Коэффициенты запаса устойчивости от выжимания для платформ

Table 5

The load factor of stability from the squeezing for platforms

№ формулы	Платформы модели		
	13-1796	13-1798	13-3103-01
1983 г.	1,472	1,410	1,415
1996 г.	1,588	1,527	1,553
1996 г. ¹	1,387	1,343	1,360
1996 г. ²	1,357	1,259	1,265

Результаты

Анализ полученных результатов показывает, что для всех выбранных для расчетов грузовых вагонов величины коэффициента запаса устойчивости от выжимания, полученные по формулам (14) и (19) меньше, чем по формулам Норм [13] и [14]. Это говорит о том, что необходимо использовать не только корректное выражение (14) для определения коэффициента запаса устойчивости, предложенное [9], но и учитывать в этом выражении (19) силы инерции при движении вагона в кривой с предельно допускаемой скоростью [15, 16].

Таким образом, описанные выше исправления, внесенные в формулу для определения коэффициента запаса устойчивости от выжимания продольными силами, позволят:

- добиться повышения запаса устойчивости легковесных вагонов, исключив их выжимание продольными силами во всем диапазоне допустимых скоростей движения грузовых поездов;
- разработать и реализовать меры по предотвращению выжимания вагонов во всем диапазоне скоростей движения;
- определить степень устойчивости порожнего вагона в голове, в середине и в хвосте груженого поезда, предложить оптимальные схемы формирования смешанных поездов.

Научная новизна и практическая значимость

В исследованиях приведен анализ существующих методик определения коэффициента запаса устойчивости вагонов в грузовых поездах от их выжимания продольными силами, разработаны предложения по уточнению этих методик для использования на стадии проектирования, постройки и в процессе эксплуатации, а также оценивается влияние на величину этого коэффициента скорости движения подвижного состава. Разработанные предложения позволят снизить количество сходов вагонов с рельсов за счет учета при расчетах и проектировании важных параметров и характеристик, повышающих их устойчивость в рельсовой колее, особенно при увеличении скоростей движения грузовых поездов.

Результаты исследований нашли свое научное использование в ряде публикаций авторов в специальных и научных изданиях, выступлениях на научных конференциях.

Выводы

В результате исследований получена зависимость коэффициента запаса устойчивости от выжимания четырехосного грузового вагона от продольной сжимающей силы с учетом скорости движения и сил инерции.

Таким образом, полученные результаты расчетов позволяют объективно оценить влияние продольной силы и скорости движения грузового вагона на показатель устойчивости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Вериго, М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериго, А. Я. Коган. – Москва : Транспорт, 1986. – 560 с.
2. Вершинский, С. В. Динамика вагонов / С. В. Вершинский, В. И. Данилов, И. И. Челноков. – Москва : Транспорт, 1972. – 208 с.
3. Вершинский, С. В. Динамика вагонов / С. В. Вершинский, В. И. Данилов, И. И. Челноков. – Москва : Транспорт, 1978. – 352 с.
4. Вершинский, С. В. Динамика вагонов / С. В. Вершинский, В. И. Данилов, И. И. Челноков. – Москва : Транспорт, 1991. – 360 с.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

5. Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СССР : альбом. – Москва : Транспорт, 1982. – 111 с.
6. Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СССР : альбом-справочник / М-во путей сообщ. СССР. Гл. упр. вагон. хоз-ва. – Москва : Транспорт, 1989. – 175 с.
7. Динамика, прочность и устойчивость вагонов в тяжеловесных и скоростных поездах // Сб. тр. ВНИИЖТа. – Москва : Транспорт, 1970. – Вып. 425. – 208 с.
8. Лазарян, В. А. Динамика вагонов / В. А. Лазарян. – Москва : Транспорт, 1964. – 256 с.
9. Лазарян, В. А. Динамика транспортных средств / В. А. Лазарян. – Київ : Наук. думка, 1985. – 528 с.
10. Мямлин, С. В. Прогресс транспорта – залог развития национальной экономики / С. В. Мямлин // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 1 (43). – С. 7–12. doi: 10.15802/stp2013/9786.
11. Некоторые аспекты определения устойчивости вагонов от выжимания их продольными силами в поездах / А. С. Акулов, К. И. Железнов, А. Н. Заболотный [и др.] // Проблемы та перспективи розвитку залізн. трансп. : тези 74 Міжнар. наук.-практ. конф. (15.05-16.05.2014) / Мин-во инфраструктуры Украины, Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепропетровск, 2014. – С. 100–101.
12. Нормы для расчетов на прочность и проектирования механической части новых и модернизированных вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – Москва : МПС : ВНИИЖТ, 1972. – 304 с.
13. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – Москва : ВНИИВ : ВНИИЖТ, 1983. – 260 с.
14. 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.
15. Определение допускаемых скоростей движения грузовых вагонов по ж.-д. путям колеи 1520 мм / В. Д. Данович, В. В. Рыбкин, С. В. Мямлин [и др.] // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – Вип. 2. – С. 77–86.
16. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії : ЦП 02336. – Київ : Укрзалізниця, 2013. – 44 с.
17. Продольная и поперечная динамика 2-осных вагонов в тяжеловесных поездах и при повышенных скоростях : отчет о НИР / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т ж.-д. трансп. ; рук. Вершинский С. В. ; исполн. : Лазарян В. А., Львов А. А., Конащенко С. И., Коротенко М. Л. – Москва, 1953. – 351 с. – № ГР И – 05 – 54 р. 1. – Инв. № 1.
18. Продольная и поперечная динамика 2-осных автосцепных вагонов в тяжеловесных поездах и при повышенных скоростях : отчет о НИР / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т ж.-д. трансп. ; рук. Вершинский С. В. ; исполн. : Лазарян В. А., Львов А. А., Блохин Е. П. – Москва, 1954. – 312 с. – № ГР И – 05 – 54 р. 2. – Инв. № 2.
19. Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики : учеб. для вузов / С. М. Тарг. – Москва : Высш. шк., 1986. – 416 с.
20. Шадур, Л. А. Вагоны. Конструкция, теория и расчет / под. ред. Л. А. Шадура. – Москва : Транспорт, 1980. – 440 с.
21. Anyakwo, A. A New Method for Modelling and Simulation of the Dynamic Behaviour of the Wheel-rail contact / A. Anyakwo, C. Pislaru, A. Ball // Intern. J. of Automation and Computing. – 2012. – Iss. 9 (3). – P. 237–247. doi: 10.1007/s11633-012-0640-6.
22. Kurhan, D. M. Features of perception of loading elements of the railway track at high speeds of the movement / D. M. Kurhan // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 2 (56). – С. 136–145. doi: 10.15802/stp2015/42172.
23. Marquis, B. Application of Nadal limit in the prediction of wheel climb derailment (JRC2011-56064) / B. Marquis, R. Greif // Proc. of the ASME/ASCE/IEEE. 2011 Joint Rail Conf. (16.03–18.03.2011). – Pueblo, Colorado, USA, 2011. – P. 1–8. doi: 10.1115/jrc2011-56064.

А. О. ШВЕЦЬ^{1*}, К. І. ЖЕЛІЗНОВ^{2*}, А. С. АКУЛОВ^{3*}, О. М. ЗАБОЛОТНИЙ^{4*},
Є. В. ЧАБАНЮК^{5*}

^{1*}СКТБ МСУБ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (050) 214 14 19, ел. пошта angela_shvets@ua.fm, ORCID 0000-0002-8469-3902

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

^{2*}СКТБ МСУБ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (095) 545 38 87, ел. пошта constantinz@i.ua, ORCID 0000-0003-3648-1769

^{3*}СКТБ МСУБ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (067) 178 16 90, ел. пошта asakulov@gmail.com, ORCID 0000-0002-6123-5431

^{4*}СКТБ МСУБ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (067) 282 13 41, ел. пошта zabolotnyi@i.ua, ORCID 0000-0003-1651-7082

^{5*}СКТБ МСУБ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (066) 633 55 95, ел. пошта 457m@ukr.net, ORCID 0000-0001-5695-5955

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ПОРОЖНІХ ВАГОНІВ ВІД ВИЧАВЛЮВАННЯ ЇХ ПОЗДОВЖНІМИ СИЛАМИ У ВАНТАЖНИХ ПОТЯГАХ

Мета. Незважаючи на реалізацію численних програм із підвищення безпеки руху поїздів, проблема зниження сходів рухомого складу з рейок, як і раніше, є актуальною. Мета дослідження – уточнити існуючу методику визначення коефіцієнта запасу стійкості вагонів від вичавлювання поздовжніми силами для уникнення сходів із рейок та забезпечення запасу стійкості при збільшенні швидкостей руху рухомого складу. **Методика.** Дослідження проводилося методом математичного моделювання навантаженості вантажного вагона при русі з різними швидкостями по прямих та кривих ділянках шляху. **Результати.** Аналіз отриманих результатів показує, що для всіх обраних для розрахунків вантажних вагонів величини коефіцієнта запасу стійкості від вичавлювання менше, ніж за нормативними формулами. Виправлення, внесені у формулу для визначення коефіцієнта запасу стійкості від вичавлювання поздовжніми силами, дозволяють: 1) добитися підвищення запасу стійкості легковагих вагонів, виключивши їх вижимання поздовжніми силами у всьому діапазоні допустимих швидкостей руху вантажних поїздів; 2) розробити та реалізувати заходи щодо запобігання вичавлювання вагонів у всьому діапазоні швидкостей руху; 3) визначити ступінь стійкості порожнього вагона в голові, в середині й у хвості навантаженого поїзда; 4) запропонувати оптимальні схеми формування змішаних поїздів. **Наукова новизна.** У дослідженні наведено аналіз існуючих методик визначення коефіцієнта стійкості вагонів у вантажних поїздах від їх вичавлювання поздовжніми силами, а також розроблені пропозиції щодо уточнення цих методик на стадії проектування, будівництва та в процесі експлуатації. **Практична значимість.** У даному дослідженні уточнюється існуюча методика визначення коефіцієнту запасу стійкості від вичавлювання поздовжніми силами, а також оцінюється вплив швидкості руху рухомого складу на величину цього коефіцієнту. Розроблені пропозиції щодо уточнення існуючих методик визначення коефіцієнта запасу стійкості від вичавлювання вагонів поздовжніми силами в поїзді дозволять знизити кількість сходів вагонів із рейок. Це досягається за рахунок обліку при розрахунках та проектуванні важливих параметрів й характеристик, що підвищують їх стійкість у рейковій колії, особливо при збільшенні швидкостей руху вантажних поїздів.

Ключові слова: безпека руху; норми розрахунку; стійкість вагонів від вичавлювання; швидкість руху; коефіцієнт стійкості

A. O. SHVETS^{1*}, K. I. ZHELIEZNOV^{2*}, A. S. AKULOV^{3*}, O. M. ZABOLOTNYI^{4*},
E. V. CHABANIUK^{5*}

^{1*}EDSD MBCSS, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 214 14 19, e-mail angela_shvets@ua.fm, ORCID 0000-0002-8469-3902

^{2*}EDSD MBCSS, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (095) 545 38 87, e-mail constantinz@i.ua, ORCID 0000-0003-3648-1769

^{3*}EDSD MBCSS, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 178 16 90, e-mail asakulov@gmail.com, ORCID 0000-0002-6123-5431

^{4*}EDSD MBCSS, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan,

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 282 13 41, e-mail zabolotnyi@i.ua,
ORCID 0000-0003-1651-7082

^{5*}EDSD MBCSS, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan,
Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 633 55 95, e-mail 457m@ukr.net,
ORCID 0000-0001-5695-5955

SOME ASPECTS OF THE DEFINITION OF EMPTY CARS STABILITY FROM SQUEEZING THEIR LONGITUDINAL FORCES IN THE FREIGHT TRAIN

Purpose. Despite of the implementation various programs to improve the safety of train traffic problem of reducing gatherings rolling stock off the rails is still relevant. The study aims to clarify the existing method of determining the factor of stability from the tire longitudinal forces to ensure the sustainability of cars with increasing speeds of the rolling stock. **Methodology.** Research was conducted by the method of mathematical modeling of loading freight car when driving at different speeds on straight and curved track sections. **Findings.** Analysis of the results shows that, for all selected freight cars for the calculation, the value of the safety factor by squeezing longitudinal forces, would achieve: 1) a higher safety factor of lightweight cars, excluding them squeezing longitudinal forces in the entire range of speeds of freight trains; 2) to develop and implement measures to prevent squeezing of cars in the entire range of motion; 3) to determine the degree of stability of the empty car in the head, middle and tail laden trains; 4) to offer optimal scheme of mixed trains formation. **Originality.** The analysis of existing methods for determining stability coefficient cars in freight trains from squeezing their longitudinal forces is presented in studies. Proposals are developed for the refinement of the design phase, construction and operation. **Practical value.** This study clarifies the existing method of determining the safety factor of stability from the squeezing longitudinal forces, as well as the influence on the magnitude of the coefficient of speed of movement of the rolling stock. Developed proposals for the refinement of existing methods for determining stability coefficient of longitudinal forces squeezing cars in a train, can reduce the number of retirements cars derailed by taking into account in the calculation and design of important parameters and characteristics that increase their stability in the rail track especially with increasing speeds of freight traffic.

Keywords: safety of operation; rules for calculating; stability of cars from squeezing; speed; stability factor

REFERENCES

1. Verigo M.F., Kogan A.Ya. *Vzaimodeystviye puti i podvizhnogo sostava* [The interaction between the track and rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1986. 560 p.
2. Vershinskiy S.V., Danilov V.I., Chelnokov I.I. *Dinamika vagonov* [Dynamics of cars]. Moscow, Transport Publ., 1972. 208 p.
3. Vershinskiy S.V., Danilov V.I., Chelnokov I.I. *Dinamika vagonov* [Dynamics of cars]. Moscow, Transport Publ., 1978. 352 p.
4. Vershinskiy S.V., Danilov V.I., Chelnokov I.I. *Dinamika vagonov* [Dynamics of cars]. Moscow, Transport Publ., 1991. 360 p.
5. *Gruzovyye vagonny koleyi 1520 mm zheleznykh dorog SSSR* [Freight cars of 1520 mm gauge Railways of the USSR.]. Moscow, Transport Publ., 1982. 111 p.
6. *Gruzovyye vagonny koleyi 1520 mm zheleznykh dorog SSSR* [Freight cars of 1520 mm gauge Railways of the USSR.]. Moscow, Transport Publ., 1989. 175 p.
7. *Dinamika, prochnost i ustoychivost vagonov v tyazhelovesnykh i skorostnykh poyezdakh* [Dynamics, strength and stability of cars in heavy and high-speed trains]. *Sbornik trudov Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Proc. of All-Russian Research Institute of Railway Transport]. Moscow, Transport Publ., 1970, issue 425, 208 p.
8. Lazaryan V.A. *Dinamika vagonov* [Dynamics of cars]. Moscow, Transport Publ., 1964. 256 p.
9. Lazaryan V.A. *Dinamika transportnykh sredstv* [Dynamics of vehicles]. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 1985. 528 p.
10. Myamlin S.V. Progress transporta – zalog razvitiya natsionalnoy ekonomiki [Transport progress as a pledge of national economy development]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 1 (43), pp. 7-12. doi: 10.15802/stp2013/9786

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

11. Akulov A.S., Zheleznov K.I., Zabolotnyy A.N., Povstenko Ya.L., Chabanyuk Ye.V., Shvets A.A. Nekotoryye aspekty opredeleniya ustoychivosti vagonov ot vyzhmaniya ikh prodolnymi silami v poyezdakh [Some aspects of the definition of cars stability from squeezing their longitudinal forces in the train]. *Tezy 74 Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. Problemy ta perspektyvy rozvytku zaliznychnoho transportu (15.05-16.05.2014)*. [Proc. of the 74th Int. Sci.-Practical Conf. Problems and prospects of railway transport development (15.05-16.05.2014)]. Dnepropetrovsk, 2014, pp. 100–101.
12. *Normy dlya raschetov na prochnost i proyektirovaniya mekhanicheskoy chasti novykh i modernizirovannykh vagonov zheleznykh dorog MPS koleyi 1520 mm (nesamokhodnykh)* [Standards for strength calculations and design of mechanical parts for new and modernized cars of Ministry of Railways of 1520 mm (not self-propelled)]. Moscow, MTC-ASRIRT Publ., 1972. 304 p.
13. *Normy dlya raschetov na prochnost i proyektirovaniya mekhanicheskoy chasti novykh i modernizirovannykh vagonov zheleznykh dorog MPS koleyi 1520 mm (nesamokhodnykh)* [Standards for strength calculations and design of mechanical parts for new and modernized cars of Ministry of Railways of 1520 mm (not self-propelled)]. Moscow, ASRICB- ASRIRT Publ., 1983. 260 p.
14. *Normy dlya raschetov na prochnost i proyektirovaniya mekhanicheskoy chasti novykh i modernizirovannykh vagonov zheleznykh dorog MPS koleyi 1520 mm (nesamokhodnykh)* [Standards for strength calculations and design of mechanical parts for new and modernized cars of Ministry of Railways of 1520 mm (not self-propelled)]. Moscow, SSRICB- ASRIRT Publ., 1996. 352 p.
15. Danovich V.D., Rybkin V.V., Myamlin S.V., Reydemeyster A.G., Tryakin A.G., Khalipova N.V. Opredeleniye dopuskaemykh skorostey dvizheniya gruzovykh vagonov po zh.-d. putyam kolei 1520 mm [Determination of permissible speeds of freight cars on the train.-D. the track of 1520 mm]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2003, issue 2, pp. 77-86.
16. *Pravyla vyznachennia pidvyshchennia zovnishnoi reiky i vstanovlennia dopustymykh shvydkostei v kryvykh dilianakh kolii. TsP 02336* [The rules for determining the elevation of the outer rail and the establishment of permissible velocities in the curved track. TsP 02336]. Kyiv, Ukrzaliznytsia Publ., 2013. 44 p.
17. Vershinskiy S.V., Lazaryan V.A., Lvov A.A., Konashenko S.I., Korotenko M.L. *Prodolnaya i poperechnaya dinamika 2-osnykh vagonov v tyazhelovesnykh poyezdakh i pri povyshennykh skorostyakh* [Longitudinal and transverse dynamics of 2-axle cars in heavy trains and high speeds]. Moscow, 1953. 351 p. No. GR II – 05 – 54 p. 1. Tag No. 1.
18. Vershinskiy S.V., Lazaryan V.A., Lvov A.A., Blokhin Ye.P. *Prodolnaya i poperechnaya dinamika 2-osnykh avtostsepykh vagonov v tyazhelovesnykh poezdakh i pri povyshennykh skorostyakh* [Longitudinal and transverse dynamics of a 2-axis automatic coupler wagons in heavy and high speeds trains]. Moscow, 1954. 312 p. No. GR II – 05 – 54 p. 2. Tag No. 2.
19. Targ S.M. *Kratkiy kurs teoreticheskoy mekhaniki* [A short course of theoretical mechanics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1986. 416 p.
20. Shadur L.A. *Vagony. Konstruktsiya, teoriya i raschet* [Cars. Design, theory and calculation]. Moscow, Transport Publ., 1980. 440 p.
21. Anyakwo A., Pislaru C., Ball A. A New Method for Modelling and Simulation of the Dynamic Behaviour of the Wheel-rail contact. *International Journal of Automation and Computing*, 2012, issue 9 (3), pp. 237-247. doi: 10.1007/s11633-012-0640-6.
22. Kurhan D.M. Features of perception of loading elements of the railway track at high speeds of the movement. *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. 136-145. doi: 10.15802/stp2015/42172.
23. Marquis B., Greif R. Application of Nadal limit in the prediction of wheel climb derailment (JRC2011-56064). Proc. of the ASME/ASCE/IEEE. 2011 Joint Rail Conference. (16-18 March 2011). Pueblo, Colorado, USA, 2011, pp. 1-8. doi: 10.1115/jrc2011-56064.

Статья рекомендована к публикации д.т.н, проф. В. Л. Горобцом (Украина); д.т.н, с.н.с. Н. А. Радченко (Украина)

Поступила в редколлегию 20.04.2015

Принята к печати 26.06.2015

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 691.54:514.18

К. К. МИРОШНИЧЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Начертательная геометрия и графика», Государственное высшее учебное заведение
«Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а,
Днепропетровск, Украина, 49600, тел. +38 (0562) 756 33 80, эл. почта mirfb@mail.ru, ORCID 0000-0002-6221-0332

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СМЕСИТЕЛЕЙ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ

Цель. Использование традиционных технологических приемов для получения однородных фиброармированных бетонов не обеспечивает создание качественных высокооднородных строительных материалов. Данное исследование направлено на разработку (с применением геометрического моделирования) различных вариантов рабочих органов смесителей, обеспечивающих эффективное перемешивание строительных составов из фибробетона. **Методика.** Проведенный комплекс теоретических исследований позволил сформулировать принципы проектирования ресурсосберегающей технологии производства дисперсно-армированных составов с высокими эксплуатационными свойствами. С использованием геометрического моделирования разработаны различные варианты лопастей рабочих органов смесителей сложной геометрической формы, обеспечивающих качественное перемешивание фиброармированного мелкозернистого материала. **Результаты.** На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований, направленных на разработку принципиально новых подходов к приготовлению (перемешиванию) фибробетонов с различными типами фибр и изготовлению изделий из них, автором были получены определенные результаты. А именно – разработана технология приготовления фибробетона с применением смесителей телескопической конструкции и эффективными лопастями сложной формы. Применение разработанных лопастей позволяет получать однородные фибробетонные композиции. За счет высокого качества перемешивания сокращается время приготовления смеси. Данный фактор позволяет сократить затраты на ремонт оборудования и электроэнергию. **Научная новизна.** Автором разработана конструкция смесителя с рабочим органом телескопического типа с лопастями сложной формы. **Практическая значимость.** Использование предложенной технологии перемешивания дисперсно-армированного материала с применением смесителя с рабочим органом телескопической конструкции и лопастями сложной геометрической формы обеспечивает высокую однородность фибробетонной композиции. Предложенные автором технологические приемы производства позволяют существенно расширить области применения фиброармированных мелкозернистых бетонов.

Ключевые слова: ресурсосберегающая технология; лопасть; смеситель; фибробетон; геометрическое моделирование

Введение

Использование дисперсно-армированных строительных составов позволяет существенно усилить строительные конструкции за счет

повышения их сопротивления ударным нагрузкам, а также растяжению и изгибу [3; 13]. Но, как показывает практика, сегодня на производстве трудно получить однородные фиброармированные бетоны. Причина этого –

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

использование традиционных технологических приемов для приготовления такого сложного материала, как фибробетон. Применение смесительного оборудования для бетонов и растворов не обеспечивает получение высокооднородного дисперсно-армированного материала.

Цель

Целью данной работы является разработка с применением геометрического моделирования различных вариантов рабочих органов смесителей, обеспечивающих эффективное перемешивание строительных составов из фибробетона.

Методика

В статье приведены материалы по использованию методов геометрического моделирования для разработки смесителя телескопической конструкции с эффективными лопастями сложной формы.

Применение таких лопастей обеспечивает эффективный режим перемешивания фибробетонных композиций.

Анализ литературных источников показал, что существующие технологические схемы приготовления бетонов и растворов не обеспечивают высокое качество приготовления фиброармированного мелкозернистого материала [1–4].

Разработано множество оборудования [5–15] для перемешивания бетонных композиций. Но для такого композита, как фибробетон нужен другой принцип перемешивания, а значит и другое оборудование.

Результаты

Нами были проведены теоретические и экспериментальные исследования, направленные на разработку принципиально новых подходов к приготовлению (перемешиванию) фибробетонов с различными типами фибр и изготовлению изделий из них.

В результате исследований было установлено, что при движении лопасти в виде плоского элемента, которая расположена перпендикулярно к направлению ее движения, образуется ядро уплотнения, расположенное

перед ней. Это ядро вызывает в фибробетонной смеси сдвиговые явления, характер которых показан на рис. 1.



Рис. 1. Образование ядра уплотнения перед лопастью в виде пластины и сдвиговые явления перед ней

Fig. 1. Bulb of pressure formation in front of the blade in the form of a plate and shear phenomena in front of it

Дальнейшие эксперименты показали, что с увеличением угла наклона лопасти к горизонтальной плоскости это ядро уплотнения фибробетонной смеси начинает резко возрастать. Ниже на рис. 2 показано образование за лопастью в виде плоского элемента пустоты и траектория движения такой мелкозернистой смеси по лопасти, а точнее, процесс последующего накопления смеси перед лопастью (см. рис. 3).

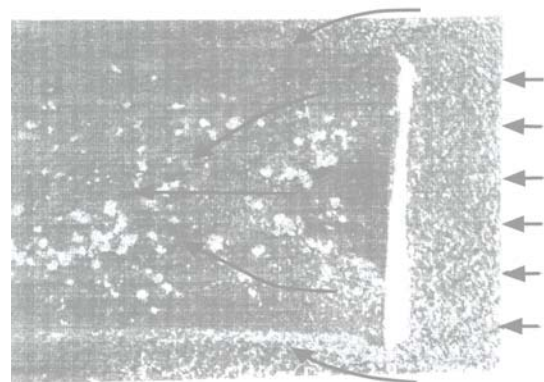


Рис. 2. Образование за лопастью пустоты и направления потоков смеси после воздействия лопасти

Fig. 2. The void formation at the blade and the direction of flows of the mixture after exposure of the blade

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Данные эксперименты являлись базовыми для исследования движения лопастей более сложной геометрической формы.

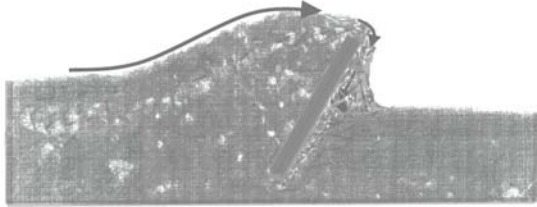


Рис. 3. Процесс накопления смеси перед лопастью и траектория движения фибробетонной смеси

Fig. 3. The process of mixture accumulation in front of the blade and the trajectory of the fiber-reinforced concrete mixture

Исследования подтвердили некоторые результаты работ с бетонными смесями авторов [3, 4] и показали, что КПД лопасти в виде плоского элемента зависит от угла подъема линии скольжения компонентов фибробетонной или другой строительной смеси по лопасти по отношению к вектору скорости, а также от угла установки лопасти. Угол подъема линии скольжения зависит от углов установки лопасти.

Были проведены также эксперименты по исследованию влияния длины фибры и угла наклона лопасти на величину ядра уплотнения смеси ($l_{\text{я}}$) перед лопастью и на величину (высоту) слоя перехода ($l_{\text{п}}$) смеси через лопасть. На рис. 4 показано определение размера ядра уплотнения фибробетона, расположенного перед лопастью и слоя перехода смеси через лопасть.

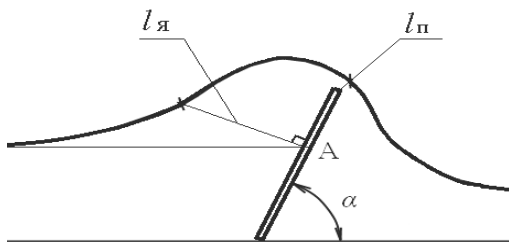


Рис. 4. Схема определения размера ядра уплотнения фибробетона, расположенного перед лопастью и слоя перехода смеси через лопасть

Fig. 4. The scheme for determining the bulb of pressure size in fiber-reinforced concrete, located in front of the blade and transition layer of the mixture through the blade

Из графика, изображенного на рис. 5 видно, что введение в дисперсно-армированную смесь 3 % фибры Ц-15 ЖТ длиной 10 мм (при $V/\Pi=0,45$) увеличивает величину слоя перехода смеси через лопасть более чем в 2 раза (при угле наклона лопасти до 60°). При $\alpha = 75^\circ$ – $l_{\text{п}}$ еще больше (почти в 3 раза).

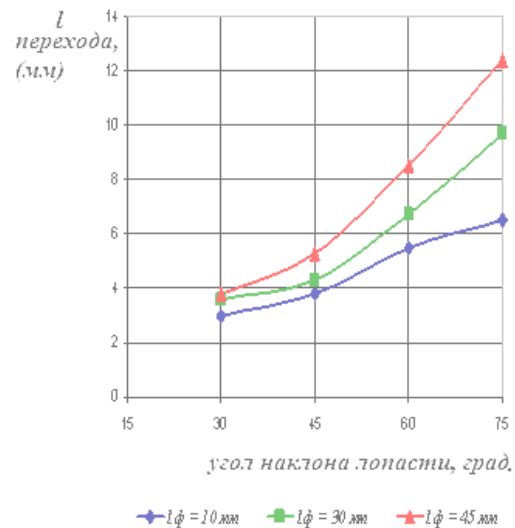


Рис. 5. Зависимость высоты слоя перехода смеси от угла наклона лопасти

Fig. 5. Height dependence of the mixture transition layer from the blade pitch angle

У состава с фиброй длиной 45 мм эта величина вдвое больше по сравнению со смесью, армированной фиброй длиной 10 мм при угле наклона лопасти 45° . Размер же ядра уплотнения фибробетона резко возрастает с увеличением угла наклона лопасти до 60° , затем (до 75°) тоже увеличивается, но не так интенсивно.

С увеличением количества и длины дисперсной арматуры величина ядра уплотнения также увеличивается (на 10–17 %).

Величина же ядра уплотнения (рис. 6) показывает, что уже в начальный период смешивания дисперсно-армированная смесь становится малоподвижной, ведь фибры являются анкерами. Одно деление шкалы $l_{\text{я}}$ на графике равно $l_{\text{перехода}} (l_{\text{п}})$.

Таким образом, установлено, что параметры фибры и величина угла наклона лопасти оказывают существенное влияние на величину ядра уплотнения и высоту слоя перехода смеси через лопасть. Это характеризует в какой – то

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

степени подвижность фибробетонного состава или его способность к расслоению.

Нам же необходимо это было знать для дальнейшего конструирования рабочих органов различных типов смесителей, так как форма лопасти должна обеспечивать интенсивное перемешивание всех компонентов фибробетона.

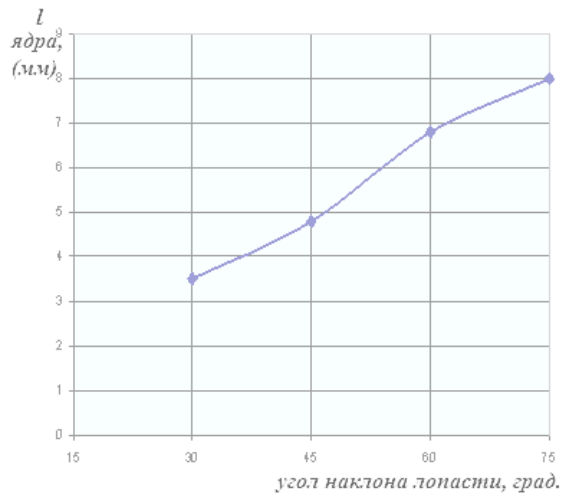


Рис. 6. Зависимость размера ядра уплотнения смеси от угла наклона лопасти

Fig. 6. The dependence of the bulb of pressure size of the mixture from the blade pitch angle

Далее было исследовано влияние различного сочетания форм лопасти в виде кривых поверхностей (рис. 7) на процесс перемешивания компонентов.

На рисунке показаны лопасти небольшого размера. Одни из лопастей представляют собой кривую поверхность, образованную прямой образующей и двумя направляющими линиями, (например, прямой и кривой в виде дуги окружности). Такие лопасти используются для приготовления литых фибросодержащих композиций.

В другом варианте лопасть имеет другую форму, которая представляет собой сложную кривую поверхность, образованную движением прямой образующей по двум кривым в виде синусоид, расположенным зеркально между собой. На рис. 7 снизу показана лопасть, которая образована из двух таких кривых поверхностей. Преимущество такой лопасти перед другими в том, что попадающая под ее воздействие смесь разбивается на несколько

потоков, которые затем проникают друг в друга. В результате эффективность смешивания компонентов смеси резко возрастает, а время перемешивания дисперсно-армированного материала сокращается.



Рис. 7. Варианты лопастей переменного профиля

Fig. 7. Options for variable profile blades

Было также установлено, что степень смешивания компонентов смеси в начальный период воздействия лопастей разной геометрической формы различна. В дальнейшем, после образования потоков смеси лопастями, эти потоки смешиваются с участками композиции, находящимися в непосредственной близости. Но на первоначальном этапе перемешивания компонентов важно знать их движение после контакта с лопастью. Эта работа по моделированию указанной ситуации была и сложной, и интересной. Приходилось окрашивать некоторые компоненты в разные цвета, вводить в готовящуюся смесь окрашенные растворы и останавливать сразу смеситель для фиксации степени перемешивания. Повторить один и тот же опыт на 100 % практически невозможно. Но увидеть какую-то закономерность можно.

Ниже на рис. 8 показаны направления господствующих потоков смеси после воздействия лопастей различной геометрической формы.

С целью интенсификации процесса перемешивания нами были разработаны различные смешивающие устройства.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Научная новизна и практическая значимость

В данной работе представлена конструкция смесителя с рабочим органом телескопической конструкции с неподвижной чашей и вертикально расположенным валом.

Наша задача состояла в том, чтобы уменьшить сопротивление смеси на лопасти за счет их своеобразной геометрической формы, которая будет «заставлять» смесь разделяться на потоки, что в дальнейшем приведет к перемешиванию и самих потоков фибробетонной (или любой другой) массы. В одном из вариантов смесителя (рис. 9) рабочий орган представляет собой вертикальный вал, на котором крестообразно жестко закреплены направляющие втулки, в которые входят направляющие рукоятки-стойки с лопастями.

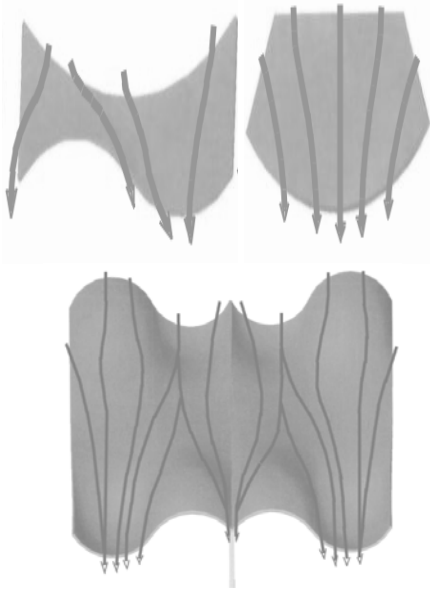


Рис. 8. Схемы направления господствующих потоков смеси после воздействия лопастей различной геометрической формы

Fig. 8. Directions diagram of the prevailing flows of the mixture after exposure of the blades of different geometrical shape

Причем, конструктивным отличием от подобных аналогов является то, что рукоятки имеют телескопическую конструкцию. То есть, они имеют возможность входить в направляющие втулки и выходить из них (могут крепиться на разном удалении от вала).

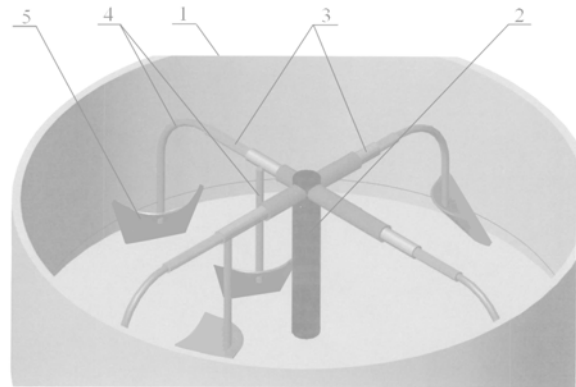


Рис. 9. Фрагмент смесителя с рабочим органом телескопической конструкции:

1 – емкость; 2 – вал; 3 – направляющие втулки; 4 – направляющая рукоятка телескопической конструкции; 5 – лопасти с различной зоной воздействия на смесь

Fig. 9. A fragment of a mixer with a working body of a telescopic design:

1 – container; 2 – shaft; 3 – guides; 4 – guide handle of telescopic design; 5 – blades with varying effects on the mixture

В одном из вариантов внутри направляющих втулок установлены пружины, в которые упираются рукоятки. В зависимости от воспринимаемой нагрузки, рукоятки с лопастями (лопатками) могут выдвигаться или задвигаться (то есть, менять траекторию движения). Такие смесительные лопатки движутся по индивидуальной траектории, подавая перемешиваемый материал в зону работы соседней лопатки. Крайние лопатки смесителя исполняют роль отборных скребков. На данном рисунке они не показаны. Здесь акцент делается на конструкцию штанг-рукояток.

Таким образом, это означает, что в емкости не будет зон, через которые не проходят лопасти. Кроме этого, на одной или нескольких рукоятках может быть закреплено несколько лопастей с разными радиусами воздействия на смесь.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что параметры фибры и величина угла наклона лопасти оказывают существенное влияние на величину ядра уплотнения и высоту слоя перехода смеси через лопасть. Это характеризует в какой-то степени подвижность

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

фібробетонного складу або його здатність до розшарування. Досліджено також вплив різного поєднання форм лопасті в вигляді кривих поверхонь на процес перемішування компонентів.

На основі проведених експериментів була розроблена технологія приготування фібробетону з використанням сумісників телескопічної конструкції з ефективними лопастями складної форми.

Застосування розроблених сумісників з лопастями складної форми дозволяє отримувати однорідні фібробетонні композиції. За рахунок високого якості перемішування скорочується час приготування суміші. Це скорочує також витрати на ремонт обладнання та електроенергію. Предложені нами технологічні прийоми виробництва дозволяють суттєво розширити область застосування фіброармуваних мелкозернистих бетонів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ
ДЖЕРЕЛ

- Емельянова, И. А. Новый принцип создания бетоносмесителей принудительного действия / И. А. Емельянова, А. М. Баранов, В. В. Блажко // Тр. междунар. науч.-техн. конф. «Интерстроймех-2005». – Тюмень, 2005. – С. 38–43.
- Емельянова, И. А. Особенности процесса приготовления бетонной смеси в трехвальном смесителе / И. А. Емельянова, А. М. Баранов, В. В. Блажко // Технологии бетонов. – 2007. – № 3. – С. 44–46.
- Иванова, А. П. Анализ и перспективы применения эффективных ресурсосберегающих технологий в производстве бетона / А. П. Иванова, О. И. Труфанова // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2014. – № 5 (53). – С. 150–156. doi: 10.15802/stp2014/30453.
- Кожевников, С. Н. Теория механизмов и машин / С. Н. Кожевников. – Москва : Машиностроение, 1969. – 583 с.
- Колчин, К. М. Механика машин / К. М. Колчин. – Ленинград : Машиностроение, 1972. – Т. 2. – 456 с.
- Королев, К. М. Интенсификация приготовления бетонной смеси / К. М. Королев. – Москва : Стройиздат, 1976. – 58 с.
- Королев, К. М. Эффективность приготовления бетонных смесей / К. М. Королев // Механизация строительства. – 2003. – № 6. – С. 7–8.
- Мирошніченко, К. К. Пути підвищення однорідності фібробетону / К. К. Мирошніченко // Стр-во, матеріалознавство, машинобудування : сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. – Днепропетровск, 2011. – С. 467–470.
- Мирошніченко, К. К. Увеличение надежности и долговечности зданий при их реконструкции путем применения фиброармированных композиционных материалов / К. К. Мирошніченко // Новини науки Придніпров'я. – 2006. – № 1. – С. 32–34.
- Новые аппараты с эластичными рабочими элементами для смешивания сыпучих сред. Теория и расчет / М. Ю. Таршис, И. А. Зайцев, Д. О. Бытев [и др.]. – Ярославль : ЯГТУ, 2003. – 83 с.
- Панов, И. В. Проблемные вопросы проектирования защитных сооружений гражданской обороны в современных условиях / И. В. Панов, В. И. Пчелкин, Д. Г. Москальков // Техн. гражд. безопасности. – 2010. – Т. 7, № 4. – С. 52–59.
- Пат. 54096 Україна, МПК 7 В 28 С 5/16. Змішувач / Мірошніченко К. К. ; заявник і патентовласник ПДАБА. – № 2002053833. – заявл. 10.05.02 ; опубл. 17.02.03, Бюл. № 2. – 3 с.
- Panchenko, S. P. Numerical simulation of viscoelastic materials / S. P. Panchenko // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2014. – № 5 (53). – Р. 157–165. doi: 10.15802/stp2014/30811.
- Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates – Influence of the use of superplasticizers / D. Matias, J. de Brito, A. Rosa, D. Pedro // Construction and Building Materials. – 2013. – Vol. 44. – Р. 101–109. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.011.
- Nagrockiene, D. The effect of cement type and plasticizer addition on concrete properties / D. Nagrockiene, I. Pundiene, A. Kicaite // Construction and Building Materials. – 2013. – Vol. 45. – Р. 324–331. doi: 10.1016/j.conbuild-mat.2013.03.076.

К. К. МІРОШНИЧЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Нарисна геометрія та графіка», Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, Україна, 49600, тел. +38 (0562) 756 33 80, ел. пошта mirfb@mail.ru, ORCID 0000-0002-6221-0332

ВИКОРИСТАННЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ЗМІШУВАЧІВ ТЕЛЕСКОПІЧНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Мета. Використання традиційних технологічних прийомів для одержання однорідних фіброармованих бетонів не забезпечує створення якісних високооднорідних будівельних матеріалів. Дане дослідження спрямоване на розробку (із застосуванням геометричного моделювання) різних варіантів робочих органів змішувачів, що забезпечують ефективне перемішування будівельних матеріалів із фібробетона. **Методика.** Проведений комплекс теоретичних досліджень дозволив сформулювати принципи проектування ресурсозберігаючої технології виробництва дисперсно-армованих складових із високими експлуатаційними властивостями. З використанням геометричного моделювання розроблені різні варіанти лопатей робочих органів змішувачів складної геометричної форми, що забезпечують якісне перемішування фіброармованого дрібнозернистого матеріалу. **Результати.** На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень, спрямованих на розробку принципово нових підходів до приготування (перемішування) фібробетонів із різними типами фібр та виготовлення виробів із них, автором були отримані певні результати. А саме – розроблена технологія приготування фібробетону з застосуванням змішувачів телескопічної конструкції із ефективними лопатями складної форми. Застосування розроблених лопатей дозволяє отримувати однорідні фібробетонні композиції. За рахунок високої якості перемішування скорочується час приготування суміші. Даний фактор дозволяє скоротити витрати на ремонт обладнання та електроенергію. **Наукова новизна.** Автором розроблена конструкція змішувача з робочим органом телескопічного типу з лопатями складної форми. **Практична значимість.** Використання запропонованої технології перемішування дисперсно-армованого матеріалу із застосуванням змішувача з робочим органом телескопічної конструкції із лопатями складної геометричної форми забезпечує високу однорідність фібробетонної композиції. Запропоновані автором технологічні прийоми виробництва дозволяють істотно розширити області застосування фіброармованих дрібнозернистих бетонів.

Ключові слова: ресурсозберігаюча технологія; лопать; змішувач; фібробетон; геометричне моделювання

К. К. MIROSHNYCHENKO^{1*}

^{1*}Dep. «Descriptive Geometry and Graphics», State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernyshevskiy St., Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600, тел. +38 (0562) 756 33 80, e-mail mirfb@mail.ru, ORCID 0000-0002-6221-0332

USING THE GEOMETRIC SIMULATION AT PLANNING OF MIXERS OF TELESCOPIC CONSTRUCTION

Purpose. The use of traditional processing methods to obtain a homogeneous fiber reinforced concrete does not ensure the creation of high quality, homogeneous construction materials. This study aims to develop (with the use of geometric simulation of different variants of the working parts of faucets, ensures effective mixing of building structures from concrete. **Methodology.** The complex of theoretical research allowed formulating the design principles of resource-saving technologies of production of particulate-reinforced compounds with high performance properties. Using the geometric simulation developed different versions of the blades of the working bodies of mixers with the complex geometric shapes, providing excellent mixing of the the fiber-reinforced fine-grained material. **Findings.** As a result of theoretical and experimental studies aimed at developing the fundamentally new approaches to the preparation (mixing) of fiber-reinforced concrete with different types of fibers and the manufacture of products from them, the author obtained some results. Namely the technology of preparation of fiber-reinforced concrete using telescopic design mixers with effective blades of complex shape was developed. Application of the developed blades allows obtaining a homogeneous fiber-reinforced concrete composition. Due to the high quality of mixing the time of preparation of the mixture reduces. This factor reduces the repair costs of equipment and electricity. **Originality.** The author developed the design of the mixer with the working body of the telescopic type with blades of complex shape. **Practical value.** The use of the proposed technology of mixing a particle-reinforced material with the use of the mixer with a working body of a telescopic design with blades with complex geometric shapes provides the high uniformity of fiber-reinforced concrete composition. The author proposed technological methods of production, allow expanding the scope of fibroareolar fine-grained concrete significantly.

Keywords: resource-saving technology; blade; mixer; fiber-reinforced concrete; geometric simulation

REFERENCES

1. Yemelyanova I.A., Baranov A.M., Blazhko V.V. Novyy printsip sozdaniya betonosmesiteley prinuditel'nogo deystviya [A new principle of creation of forced action mixers]. *Trudy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii Interstroyekh-2005* [Proc. of International Scientific-Technical Conf. «Interstroyekh-2005»]. Tyumen, 2005, pp. 38-43.
2. Yemelyanova I.A., Baranov A.M., Blazhko V.V. Osobennosti protsessa prigotovleniya betonnoy smesi v trekhvalnom smesitele [Features of the process of preparation of the concrete mix in the three-shaft mixer]. *Tekhnologii betonov – Concrete Technologies*, 2007, no. 3, pp. 44-46.
3. Ivanova A.P., Trufanova O.I. Analiz i perspektivy primeneniya effektivnykh resursosberegayushchikh tekhnologiy v proizvodstve betona [Analysis and prospects of application of resource-efficient technologies in the production of concrete]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 5 (53), pp. 150-156. doi: 10.15802/stp2014/30453.
4. Kozhevnikov S.N. *Teoriya mekhanizmov i mashin* [Theory of mechanisms and machines]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1969. 583 p.
5. Kolchin K.M. *Mekhanika mashin* [Mechanics of machines]. Leningrad, Mashinostroeniye Publ, 1972, vol. 2. 456 p.
6. Korolev K.M. *Intensifikatsiya prigotovleniya betonnoy smesi* [Intensification of concrete mixing]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1976. 58 p.
7. Korolev K.M. Effektivnost prigotovleniya betonnykh smesey [The effectiveness of the concrete mixes preparation]. *Mekhanizatsiya stroitelstva – Mechanization of Construction*, 2003, no. 6, pp. 7-8.
8. Miroshnichenko K.K. Puti povysheniya odnorodnosti fibrobetona [Ways to improve the uniformity of fiber-reinforced concrete]. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroeniye* [Proc. of Intern. Scientific-Technical Conf. The Construction, Materials Science and Engineering]. Dnepropetrovsk, 2011, pp. 467-470.
9. Miroshnichenko K.K. Uvelicheniye nadezhnosti i dolgovechnosti zdaniy pri ikh rekonstruktsii putem primeneniya fibroarmirovannykh kompozitsionnykh materialov [Increasing of the reliability and durability of the building is being reconstructed by applying fiber-reinforced composite materials]. *Novyny nauky Prydniprov'ya – Science News of Prydniprovie*, 2006, no. 1, pp. 32-34.
10. Tarshis M.Yu., Zaytsev I.A., Bytev D.O., Zaytsev A.I., Sidorov V.N. *Novyye apparaty s elastichnymi rabochimi elementami dlya smeshivaniya sypuchikh sred. Teoriya i raschet* [New devices with flexible working elements for mixing solids. Theory and design]. Yaroslavl, Yaroslavskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet Publ., 2003. 83 p.
11. Panov I.V., Pchelkin V.I., Moskalkov D.G. Problemnyye voprosy proyektirovaniya zashchitnykh sooruzheniy grazhdanskoj oborony v sovremennykh usloviyakh [Problematic issues in the design of protective structures of civil defense in modern conditions]. *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti – Civil Security Technologies*, 2010, vol. 7, no. 4, pp. 52-59.
12. Miroshnichenko K.K. *Zmishuvach* [Mixer]. Patent UA, no. 2002053833.
13. Panchenko S.P. Numerical simulation of viscoelastic materials. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 5 (53), pp. 157-165. doi: 10.15802/stp2014/30811.
14. Matias D., de Brito J., Rosa A., Pedro D. Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates – Influence of the use of superplasticizers. *Construction and Building Materials*, 2013, vol. 44, pp. 101-109. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.011.
15. Nagrockiene D., Pundiene I., Kicaite A. The effect of cement type and plasticizer addition on concrete properties. *Construction and Building Materials*, 2013, vol. 45, pp. 324-331. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.076.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Украина); д.т.н., проф. Белокоп А. И. (Украина)

Поступила в редколлегию 30.03.2015

Принята к печати 30.07.2015

UDC 625.122-047.58

V. D. PETRENKO¹, I. O. SVIATKO^{2*}

¹Dep. «Tunnels, Bases and Foundations», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 708 50 69, e-mail petrenko1937@mail.ru, ORCID 0000-0002-5902-6155

^{2*}Dep. «Tunnels, Bases and Foundations», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 79, e-mail i-svjatko@yandex.ua, ORCID 0000-0002-7099-2637

SIMULATION OF SUBGRADE EMBANKMENT ON WEAK BASE

Purpose. This article provides: the question of the sustainability of the subgrade on a weak base is considered in the paper. It is proposed to use the method of jet grouting. Investigation of the possibility of a weak base has an effect on the overall deformation of the subgrade; the identification and optimization of the parameters of subgrade based on studies using numerical simulation. **Methodology.** The theoretical studies of the stress-strain state of the base and subgrade embankment by modeling in the software package LIRA have been conducted to achieve this goal. **Findings.** After making the necessary calculations perform building fields of a subsidence, borders cramped thickness, bed's coefficients of Pasternak and Winkler. The diagrams construction of vertical stress performs at any point of load application. Also, using the software system may perform peer review subsidence, rolls railroad tracks in natural and consolidated basis. **Originality.** For weak soils is the most appropriate nonlinear model of the base with the existing areas of both elastic and limit equilibrium, mixed problem of the theory of elasticity and plasticity. **Practical value.** By increasing the load on the weak base as a result of the second track construction, adds embankment or increasing axial load when changing the rolling stock process of sedimentation and consolidation may continue again. Therefore, one of the feasible and promising options for the design and reconstruction of embankments on weak bases is to strengthen the bases with the help of jet grouting. With the expansion of the railway infrastructure, increasing speed and weight of the rolling stock is necessary to ensure the stability of the subgrade on weak bases. LIRA software package allows you to perform all the necessary calculations for the selection of a proper way of strengthening weak bases.

Keywords: soil cement; stress-deformed state; finite element method; subgrade; weak base

Introduction

The new technologies that allow working on strengthening soil quality and reliability are appeared in the bundle of knowledge and experience of native scientists. One of the leading-edge technologies is jet grouting, which allows implementing various constructions enhancement the soil base. The paper presents the main parameters of the numerical analysis of the foundations of the subgrade base using amplification-based jet technology.

When choosing a method of strengthening soil it should be based on its technological and purpose of application. The soil cementation is a penetration and filling of cavities in the soil by means of solution for injection under some pressure. In this regard it is necessary to thoroughly consider the following factors: the lack of damage which inflicted by high pressure building, located near the

zone of cementation, if they are available; possibility of squeezing cement at considerable speeds of groundwater or the presence of cavities in the soil and the degree of strength solution for injection.

The jet grouting method includes works on improving soil quality by energy liquid jet for destruction, mixing and replacement of the original natural soil cement slurry, followed by the formation of strong soil cement. It is the formation of cylindrical piles by means of soil's destruction of cement's jets by pressure 200 ... 400 kg/cm² (20 ... 40 MPa), emerging from monitor's nozzle with diameter Ø 2 ... 3 mm, attached to the drilling equipment to further mixing and filling of soil with cement.

Purpose

The aim of this work is to study the impact of a weak base on general deformation of subgrade.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Another goal is to identify and optimize parameters subgrade through research by numerical simulation.

Methodology

The theoretical research of the stress-strain state of the roadbed's base and embankment by simulation software LIRA was conducted to reach this goal. The finite element method is among the most contemporary and efficient methods for calculating structures of various purposes, which allows combining two tasks of geomechanics problems: deformation and limit state. The program complex LIRA is a program of numerical simulation processes which occur in soils during the influence of different pressures and also allows exploring the process of deformation and zones development of limiting condition of the soil. During the simulation may be received a complete picture of the stress-strain state of the investigated area, and the importance of breaking load, precipitation, etc.

The follows can be determined by using the software system:

- subsidence of soil and pile base with a given load and engineering-geological conditions;
- limit compressed thickness in accordance with existing regulations;
- the difference subsidence and rolls of existing buildings including those which projected;
- coefficients of the bed soil base according to soil models of Winkler and Pasternak [5,7].

Winkler model is the simplest model that has gained widespread use. This model is based on the fact that the draft stamp proportional loading, deformation and elastic enough after unloading disappear. The only mechanical parameter is the coefficient of bed.

Elastic subsidence of surface under the stamp D under pressure p according Winkler model is defined as

$$S = P/C \quad (1)$$

where C – coefficient of subgrade reaction.

The Pasternak's model is used for research deformation of subgrade crest outside of the load transmitted from the rolling stock.

Elastic subsidence of surface around the stamp D under pressure p according Pasternak model is defined as

$$S = \frac{D_p}{D \cdot C_1 + 4\sqrt{C_1 C_2} + 8\frac{C_2}{D}} e^{-\sqrt{\frac{C_1}{C_2}}r} \quad (2)$$

where C_1 – ratio compression, kg/cm^3 ; C_2 – offset coefficient, kg/cm ; r – distance from the center of stamp to point out of stamp definition subsidence, cm .

Review of recent research sources and publications

The problem addressed in many publications. Numerical modeling, particularly in the software LIRA is described in a lot of works [4, 6]. Payment schemes of most commonly used pile bases' models are given in investigation [2]. The problem solutions of subgrade strengthening are devoted at the work [3, 9, 7, 10].

Findings

Calculation of the roadbed on the weak basis based on the solution of the plane problem of elasticity, but the body of the embankment stability calculations and their slopes are performed by the classical theory of limit equilibrium. In these methods is not taken into account that the occurrence of plastic zones occurs long before the limiting condition in the body of the embankment and soils weak base. In these areas accumulate residual strain that caused vibro dynamic impact load and excessive moisture soils. In weak bases can be slow viscous and plastic flow of soil, aimed at slopes of subgrade, which can cause dangerous shear and expansion joints and cracks.

Thus, for weak soil the most appropriate is nonlinear bases model considering of existing areas as elastic and limit equilibrium that is mixed problem of elasticity and plasticity.

To obtain reliable results, it is necessary to follow those recommendations: to determine deformation and strength characteristics of soils that make up the body of embankments and foundations with sufficient accuracy; define the parameters of the rolling load distribution; establish dimensions of cross-section given its boundaries loose soil with a weak base. Payment schemes that

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

are used in full to more accurately show the stress-strain state of the roadbed than the schemes adapted to the axis of symmetry.

Under the influence of load in a weak base appears significant horizontal tension because border calculation scheme (prohibition of horizontal displacement) should be placed as farthest from the place application of the load. Also there are prohibited horizontal movement of the left and right boundaries and vertical movement of the lower nodes of boundary. Splitting cross-section is performed with increasing density of finite element mesh in areas where the expected increase of stresses and displacements values.

The values of loads from rolling stock in the

calculation scheme adopted according to the experimentally obtained values. The values of vertical deformation in the event of plastic zones in the soil depend on the nature of the loading. In the absence of plastic deformation load of rolling stock may take one step.

When using the finite element method, the determining soil characteristics and embankment foundations upon this depends largely on the stress-strain state of the real subgrade plays an important role.

In the design scheme of layers of soil are taken according to the results of geological surveys.

Estimated parameters used in the numerical simulation should be taken from Table 1.

Table 1

Estimated parameters used in the numerical simulation

№	Type of element	Material	The elastic modulus E, kN/m ²	Density, kN/m ³	Poisson's ratio
1	Rail	Metal	2,06x10 ⁸	77,085	0,3
2	Sleeper	Ferroconcrete	3,247x10 ⁸	24,525	0,2
3	Ballast	Ballast Stone	100 000	22	0,2
4	The body of embankments	Loam	25 000	19	0,3
5	Weak base	Saturated loam	5 000	19	0,3
6	Soil cement pile Ø 750 mm	Soil cement	115 000	17,5	0,3

So to calculate the embankment on the weak basis is performed on calculation scheme with the size of the real profile, creating finite-element mesh, determination of forces and loads. Also there is performed choose of the design characteristics of the system «embankment-weak base» and simulated process system load rolling stock.

Determination of the total subsidence occurs by layered adding using scheme linear deformation half-space (Boussinesq's task).

The achievements limits cramped thickness H_c is controlled of

$$\sigma_{zp} = k \cdot \sigma_{zg}$$

by using the coefficient depth of cramped thickness k , which is defined.

After making the necessary calculations perform building fields of a subsidence, borders

cramped thickness, bed's coefficients of Pasternak and Winkler. The diagrams construction of vertical stress performs at any point of load application.

Also, using the software system may perform peer review subsidence, rolls railroad tracks in natural and consolidated basis.

Originality and practical value

There was defined the algorithm of forming design scheme for the calculation of the embankment on the weak basis by finite element method. The method of the selection strength characteristics of soils and calculated parameters for using in numerical modeling is offered in the article. The modeling process of load system by rolling stock was grounded.

Analysis of the stress-strain state of the system «weak base-roadbed» allows you to see the basic

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

patterns of soil and take the necessary steps for strengthening of soil-cement elements.

Conclusions

Based on the above, in the condition of the growth rate of the rolling stock and traffic on Ukrainian railways, the investigations allow using software LIRA for the analysis of roadbed operation of rolling stock in the railway, which is reduced on a weak base.

With increasing the load on the weak basis by building of the second track, adding embankment or increasing axial load when changing the rolling process of settling and consolidation can be continue again. Therefore, one of the viable and future options design and reconstruction of embankments on weak bases are strengthening the base by using jet grouting. Covering soil cement piles allows to provide a short time strengthening roadbed, the ability to quickly enter areas of track in operation and small size of subsidence.

LIST OF REFERENCE LINKS

- ДБН В.2.1-10-2009. Зміна № 1. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – Введ. 2011–01–07. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 161 с.
- Исследование параметров модернизированного земляного полотна / В. Д. Петренко, А. М. М. Алхдур, А. Л. Тюткин, В. В. Ковалевич // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 41. – С. 164–169.
- Линченко, Ю. П. Моделирование свайного основания здания с применением интегральных элементов / Ю. П. Линченко, А. Е. Шуст // Стр-во и техногенная безопасность : сб. науч. тр. / НАПКС. – Симферополь, 2010. – Вип. 33–34. – С. 176–182.
- Литовченко, П. А. Численное моделирование взаимодействия буроинъекционной сваи с локальным закреплением в грунте и окружающего ее грунтового массива / П. А. Литовченко // Стр-во, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / ПГАСА. – Днепропетровск, 2013. – Вип. 69. – С. 322–327.
- Новые возможности системы ГРУНТ для определения параметров жесткости грунтового и свайного оснований / Д. А. Городецкий, В. П. Максименко, Д. В. Медведев, Е. Б. Стрелец-Стрелецкий // Стр-во, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / ПГАСА. – Днепропетровск, 2013. – Вип. 69. – С. 155–160.
- Петренко, В. Д. Порівняльний аналіз методів укріплення земляного полотна / В. Д. Петренко, І. О. Святко, Д. О. Ямпольський // Стр-во, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / ПГАСА. – Днепропетровск, 2013. – Вип. 69. – С. 369–373.
- 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.
- Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість : ЦП-0117 : затв. наказом Укрзалізниці від 13.12.2004 р. № 960-ЦЗ. – Київ : ЦП УЗ, 2004. – 69 с.
- Разработка вариантов армирования земляного полотна в сложных инженерно-геологических условиях / В. Д. Петренко, В. Н. Косяк, В. В. Ковальчук, А. М. М. Алхдур // Стр-во, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / ПГАСА. – Днепропетровск, 2011. – Вип. 61. – С. 307–312.
- Строкова, Л. А. Применение метода конечных элементов в механике грунтов : учеб. пособие / Л. А. Строкова. – Томск : Изд-во Томского политехн. ун-та, 2010. – 143 с.
- Тюткин, А. Л. Сравнительный анализ конечно-элементных моделей свайного фундамента при взаимодействии с основанием / А. Л. Тюткин, А. В. Гулак // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 32. – С. 122–126.
- Roanes-Lozano, E. The Geometry of Railway Geometric Overthrow Revisited Using Computer Algebra Methods / E. Roanes-Lozano // Mathematics in Computer Science. – 2013. – Vol. 7. – Iss. 4. – P. 473–485. doi: 10.1007/s11786-013-0164-7.
- Simi, H. Building Simulation Tools for Retrofitting Residential Structures / H. Simi, Amherst // Energy Engineering. – 2012. – Vol. 109. – Iss. 3. – P. 53–74.
- Wang, J. Measures and Mechanism of Reinforcement of Soft Subgrade of High Speed Railway in Operation / J. Wang, L. C. Yang // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 353–356. – P. 866–872. doi:10.4028/www.scientific.net/am-m.353-356.866.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

В. Д. ПЕТРЕНКО¹, И. О. СВЯТКО^{2*}

¹Каф. «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (050) 708 50 69, эл. почта petrenko1937@mail.ru, ORCID 0000-0002-5902-6155

^{2*}Каф. «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 79, эл. почта i-svjatko@yandex.ua, ORCID 0000-0002-7099-2637

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАСЫПИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА СЛАБОМ ОСНОВАНИИ

Цель. В статье предусматривается: 1) рассмотрение вопроса обеспечения устойчивости земляного полотна на слабом основании с использованием метода струйной цементации; 2) исследование возможности воздействия слабого основания на общие деформации земляного полотна; 3) выявление и оптимизация параметров земляного полотна на основе исследований с помощью численного моделирования. **Методика.** Для реализации указанных целей были проведены теоретические исследования напряженно-деформированного состояния основания и насыпи земляного полотна путем моделирования в программном комплексе ЛИРА. **Результаты.** Для расчета насыпи на слабом основании выполнено: формирование расчетной схемы с размерами реального профиля, создание конечно-элементной сетки, определение сил и нагрузок. Также произведен выбор расчетных характеристик системы «насыпь-слабое основание» и смоделирован процесс нагрузки системы подвижным составом. После осуществления всех необходимых расчетов выполнено построение полей осадок, границ сжимаемой толщи, коэффициентов постели Пастернака и Винклера. Осуществлено построение эпюр вертикальных напряжений в любой точке приложения нагрузки. Также с помощью программного комплекса выполнена экспертная оценка осадок, кренов железнодорожного полотна на естественном и укрепленном основаниях. **Научная новизна.** Доказано, что для слабых грунтов наиболее целесообразной является нелинейная модель основания с учетом существующих областей как упругого, так и предельного равновесия, то есть смешанная задача теории упругости и пластичности. **Практическая значимость.** При увеличении нагрузки на слабое основание в результате строительства второго пути, досыпки насыпи или увеличения осевой нагрузки при изменении подвижного состава процесс оседания и консолидации может продолжиться вновь. Поэтому одним из целесообразных и перспективных вариантов проектирования и реконструкции насыпей на слабых основаниях является укрепление основания с помощью струйной цементации. При расширении железнодорожной инфраструктуры, увеличении скоростей движения и веса подвижного состава необходимо обеспечить устойчивость земляного полотна на слабых основаниях. Программный комплекс ЛИРА позволяет выполнить все необходимые расчеты для подбора оптимального способа укрепления слабых оснований.

Ключевые слова: грунтоцемент; напряженно-деформируемое состояние; метод конечных элементов; земляное полотно; слабое основание

В. Д. ПЕТРЕНКО¹, И. О. СВЯТКО^{2*}

¹Каф. «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (050) 708 50 69, ел. пошта petrenko1937@mail.ru, ORCID 0000-0002-5902-6155

^{2*}Каф. «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 79, ел. пошта i-svjatko@yandex.ua, ORCID 0000-0002-7099-2637

МОДЕЛЮВАННЯ НАСИПУ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА СЛАБКІЙ ОСНОВІ

Мета. В статті передбачено: 1) розгляд питання забезпечення стійкості земляного полотна на слабкій основі з використанням методу струменевої цементації; 2) дослідження можливості впливу слабкої основи на загальні деформації земляного полотна; 3) виявлення та оптимізація параметрів земляного полотна на основі

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

досліджень за допомогою чисельного моделювання. **Методика.** Для реалізації зазначеної мети були проведені теоретичні дослідження напружено-деформованого стану основи та насипу земляного полотна шляхом моделювання у програмному комплексі ЛІРА. **Результати.** Для розрахунку насипу на слабкій основі виконано: формування розрахункової схеми з розмірами реального профілю, створення скінченно-елементної сітки, визначення сил і навантажень. Також проведено вибір розрахункових характеристик системи «насип-слабка основа» та змодульовано процес навантаження системи рухомих складом. Після здійснення всіх необхідних розрахунків виконано побудування полів осідань, меж стиснутої товщі, коефіцієнтів постелі Пастернака і Вінклера. Здійснено побудову епюр вертикальних напружень у будь-якій точці прикладення навантаження. Також за допомогою програмного комплексу виконано експертну оцінку осідань, кренів залізничного полотна на природній та зміцненій основах. **Наукова новизна.** Для слабких ґрунтів найбільш доцільною є нелінійна модель основи з урахуванням існуючих областей як пружної, так і граничної рівноваги, тобто змішана задача теорії пружності та пластичності. **Практична значимість.** При збільшенні навантаження на слабку основу в результаті будівництва другої колії, досипання насипу або збільшення осьового навантаження при зміні рухомого складу процес осідання і консолідації може продовжитись знов. Тому одним із доцільних й перспективних варіантів проектування та реконструкції насипів на слабких основах є укріплення основи за допомогою струминної цементації. При розширенні залізничної інфраструктури, збільшенні швидкостей руху та ваги рухомого складу необхідно забезпечити стійкість земляного полотна на слабких основах. Програмний комплекс ЛІРА дозволяє виконати всі необхідні розрахунки для підбору оптимального способу укріплення слабких основ.

Ключові слова: ґрунтоцемент; напружено-деформований стан; метод скінченних елементів; земляне полотно; слабка основа

REFERENCES

1. DBN V.2.1-10-2009. *Zmina №1. Osnovy ta fundamenti sporud. Osnovni polozhennia proektuvannia* [State Standard V. 2.1-10-2009. Amendment No. 1. Bases and foundations of buildings. General design]. Kyiv, Min-rehionbud Ukrainy Publ., 2011. 161 p.
2. Petrenko V.D., Alkhdur A.M.M., Tyutkin A.L., Kovalevich V.V. Issledovaniye parametrov modernizirovannogo zemlyanogo polotna [Research of parameters of the modernized subgrade]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 41, pp. 164-169.
3. Linchenko Yu.P., Shust A.Ye. Modelirovaniye svaynogo osnovaniya zdaniya s primeneniyyem integralnykh elementov [Modeling of pile foundation of a building with integrated elements]. *Sbornik nauchnykh trudov Natsionalnoy akademii prirodookhrannogo i kurortnogo stroitelstva. Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost* [Proc. of the National Academy of environmental and resort construction. Construction and industrial safety], 2010, issue 33-34, pp. 176-182.
4. Litovchenko P.A. Chislennoye modelirovaniye vzaimodeystviya buroinektsionnoy svai s lokalnym zakrepleniyem v grunte i okruzhayushchego yeye gruntovogo massiva [Numerical simulation of the interaction of drill injection piles with local anchoring in the soil and the surrounding soil mass]. *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroeniye* [The Construction, Materials science and Engineering], 2013, issue 69, pp. 322-327.
5. Gorodetskiy D.A., Maksimenko V.P., Medvedenko D.V., Strelets-Streletskiy Ye.B. Novyye vozmozhnosti sistemy GRUNT dlya opredeleniya parametrov zhestkosti gruntovogo i svaynogo osnovaniy [New features of a GRUNT system for determining the stiffness parameters of the soil and pile foundation]. *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroeniye* [The Construction, Materials Science and Engineering], 2013, issue 69, pp. 155-160.
6. Petrenko V.D., Sviatko I.O., Yampolskiy D.O. Porivnialnyi analiz metodiv ukriplennia zemlianooho polotna [Comparative analysis of methods of strengthening the subgrade]. *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroeniye* [The construction, Materials science and Engineering], 2013, issue 69, pp. 369-373.
7. Petrenko V.D., Yampolskiy D.O., Sviatko I.O. Porivnialnyi analiz rozrakhunkovykh modelei zaliznychnoho zemlianooho polotna [Comparative analysis of calculation models of railway subgrade]. *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. 56-62. doi: 10.15802/stp2013/16619.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

8. *Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist i stiikist : TsP-0117* [The rules of calculations of railway track on the strength and stability : TsP-0117]. Kyiv, TsP UZ Publ., 2004. 69 p.
9. Petrenko V.D., Kosyak V.N., Kovalchuk V.V., Alkhdur A.M.M. Razrabotka variantov armirovaniya zemlyanogo polotna v slozhnykh inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh [The development of options for subgrade reinforcement in difficult engineering-geological conditions]. *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroeniye* [The Construction, Materials Science and Engineering], 2011, issue 61, pp. 307-312.
10. Strokova L.A. *Primeneniye metoda konechnykh elementov v mekhanike gruntov* [Application of the finite element method in soil mechanics]. Tomsk, Izdatelstvo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta Publ., 2010. 143 p.
11. Tyutkin A.L., Hulak A.V. Sravnitelnyy analiz konechno-elementnykh modeley svaynogo fundamenta pri vzaimodeystvii s osnovaniyem [Comparative analysis of finite element models of pile foundation in cooperation with the base]. *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. 122-126.
12. Roanes-Lozano E. The Geometry of Railway Geometric Overthrow Revisited Using Computer Algebra Methods. *Mathematics in Computer Science*, 2013, vol. 7, issue 4, pp. 473-485. doi: 10.1007/s11786-013-0164-7.
13. Simi H., Amherst. Building Simulation Tools for Retrofitting Residential Structures. *Energy Engineering*, 2012, vol. 109, issue 3, pp. 53-74.
14. Wang J., Yang L.C. Measures and Mechanism of Reinforcement of Soft Subgrade of High Speed Railway in Operation. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, vol. 353-356, pp. 866-872. doi:10.4028/www.scientific.net/amm.353-356.866.

PhD in Sc. V. S. Andreev (Tech.); Prof. V. L. Sedin, D. Sc. (Tech.) recommended this article to be published

Received: June 08, 2015

Accepted: Aug. 14, 2015

UDK 692.232

A. V. RADKEVYCH^{1*}, K. M. NETESA^{2*}

^{1*}Dep. «Build Production and Geodesy», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, +38 (098) 307 81 44, e-mail KVP@DSST.gov.ua, ORCID 0000-0001-6325-8517

^{2*}Dep. «Build Production and Geodesy», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, +38 (063) 492 96 17, e-mail netesakostia@meta.ua. ORCID 0000-0002-4087-5552.

ASPECTS DEFINITION OF RELIABILITY EVALUATION FACADE SYSTEMS FROM THE VIEW POINT OF EUROCODE

Purpose. This paper is devoted to the definition of the most rational technique of reliability evaluation of facade systems of multistoried residential buildings with using the experience of buildings construction and operation abroad. The subject is also focused on defining the parameters of materials and facade systems, the improvement of which can increase the reliability and durability of facade systems of multistoried residential buildings, as well as cut the cost of their operation. **Methodology.** A comparative analysis of the operating experience of various types of facade systems in Ukraine and abroad based on the data of different authors was conducted. The analysis of the impact of external factors on facade systems with the subsequent comparison of methods for assessing the reliability of facades according to the criteria stated in the Eurocode was carried out as well as the selection of parameters that determine the reliability and durability of facade systems. **Findings.** Authors have performed researches of evaluation methods of organizational and technological reliability and durability of modern facade systems. It was identified the cause of the failure of facade systems. It is offered the ways of materials improvement of facade systems, and constructional and organization-technological decisions on the structure of facade systems. Methods of increase of reliability and durability of front systems were defined. **Originality.** The most rational technique of reliability evaluation of facade systems considering requirements of Eurocode in questions structural design was defined. **Practical value.** Improvement of evaluating methods for organizational-technological reliability of facade systems of multistoried residential buildings will predict more accurately the lifetime of enclosures. Using the methods described in the Eurocodes, to determine the reliability and durability of the facade systems will provide the general criteria for the building structures design in Ukraine and Europe, as well as facilitate the exchange of experience in the construction and operation of buildings between the countries of Europe. An analysis of the causes of failures of facades enables to determine the directions of improving the properties of the materials used for the manufacture of facade elements structures as well as engineering and technological solutions of applied facade systems.

Keywords: facade system; reliability; durability; operation; failure

Introduction

The analysis of modern construction and operation of multistoried residential buildings in Ukraine and abroad showed that two main front systems are most often applied: the hinged ventilated facade (HVF) and facade plaster system (external insulated render system) [1, 6, 7, 10]. The widespread use facade systems of these types, the problem of foresight in reliability are not solved. It does impossible timely carrying out necessary preventive or maintenance actions therefore failure of facade systems lead to decrease in their durability. To restore the original parameter of resistance the heat transmission of such facades necessary to carry out extensive repairs are necessary, resulting in increased cost of its operation [1, 5-7].

Research of construction experience and operation of multistoried residential buildings showed that the applied facade systems of different types differ in a considerable constructive variety. For the purpose of facade system depreciation, carried out the different approaches to the solution of the opposition problem of environmental effect. A significant amount of facade systems elements does not allow estimating rather precisely its reliability by traditional methods [7, 9, 10]. This is due to the complexity of drawing up an analytical model of facade system works, which takes into account changes in material properties with time, deviations from design position of facades elements, violations device technology in the construction process, as well as possible deviations from the

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

accepted analytical model of load and the impact of environmental effect to the facade system. At projected lifetime 25-50 years, crippling surface of facade systems of «external insulated render system» type detected after 3-5 years of their operation, and in some cases, in 2-3 years. Curtain wall systems at the projected lifetime in 20-30 years operated for 40-50 years. It is known data about the work of curtain wall systems for over 100 years without a failure of the identified, and destruction [5-7, 11]. Thus, the working techniques allowing to estimate authentically reliability of front systems and precisely to predict the term of their service, by domestic scientists it was not conducted.

Purpose

The aim of the research was to determine the factors causing failures of different types of facade systems, and improving the system of assessing the reliability of building designs that would reliably predict the service life of various types of facade systems.

Methodology

The method consists in:

- definition of failure causes of work of facade systems of different types;
- analysis of experience of the device and operation of facade systems of residential multistoried buildings;
- comparison of existing methods for assessing the reliability of structures and their compliance with the Eurocodes.

Originality

One of the basic constructive elements of the building providing its effective operation throughout all service life is the facade system. The modern facade systems provide building protection against action of external environment factors and allow supporting comfortable facilities for being people inside. In such case to the outside part of facade system affects the largest number of destructive factors such as:

- effect of precipitation (rain, snow, fog), often – with a mixture of acids, causing the rapid destruction of coatings;
- wind loading, causing a deviation from the facade elements from design position;

– section gradient of temperatures which in combination with soaking of facade system lead to structural failure of walls and violation of the mode of operation of the building;

– insolation, which causes heating facade elements and can lead to changes in the properties of varnish-and-paint coatings and accelerate its destruction.

To ensure the normal building operation during the base period of facade system must have a high durability, maintainability, reliability and storage ability, have low cost and good installing process ability. It will lead to lowering of the material inputs on carrying out repair work on restoration of a facade and will allow reducing the cost of building operation. The carrying-out of requirements of facade system significance allows reducing the possibility of technological obsolescence of the building. The selecting a facade system that satisfies all of the above conditions is possible by comparing the different types reliability of facade systems, which will allow to predict the service life, as well as the cost and frequency of necessary repairs to restore the facade systems [2-7, 9].

Among curtain wall systems with a ventilated air-gap clearance from one of the most applicable is a facade system with ashlaring of ceramic granite (Fig. 1).

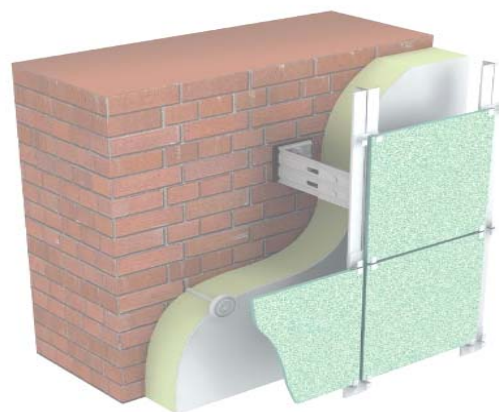


Fig. 1. Curtain wall systems with ashlaring of ceramic granite

This facade system present itself a system of vertical channels which are using metallic fasteners and anchor connections firmly attached to the walls of the building and the presence of capping ensures reliable fastening of facing tile from ceramic granite. Thus, protection of the

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

facade system supporting parts against corrosion provided with appliance of corrosion-resistant alloys or zinc coverings.

For support of a wall heat-insulating characteristics of the building uses the mineral wool board which fasten to a wall with using the dished anchors. The air device gap of 5-7 cm provides deleting moisture from an insulant and prevent of its watering. Thus existence of air gap can lead to distribution of the fire in facade system on a building wall that results in need of use only of a nonflammable insulant [2-9, 12, 14].

Facade plaster system of «external insulated render system» (Fig. 2)) is a system of several types of coatings, which main task to reduce the thermal conductivity of the wall and prevent penetration of moisture in the insulation layer. Insulation is minral-cottone or polystyrene slabs is fastened to the building wall by means of dished anchors. Above the insulation is executed plaster, in the middle of which sink grease alkali prof polymer network, whose task is to ensure the strength of the plaster layer. On the top of the layer of plaster, protecting the insulation against mechanical damage runs waterproof paint and lightproof stain.

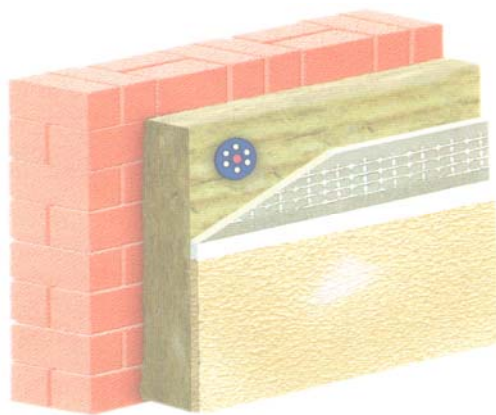


Fig. 2. Facade system of «external insulated render system»

Since July 1, 2014 in Ukraine enacted Eurocodes operating in parallel with national regulations. DSTU NB B.1. 2-13: 2008 «Basis of structural design», according to EN 1990: 2002 and takes into account the experience of the construction and operation of residential and public buildings in Europe, where the facade system of the «external insulated render system» type and curtain wall systems appeared much earlier than in

Ukraine. This has allowed checking in practice the results of evaluating the reliability and durability of the building structures in general, and facade systems in particular [1, 3, 7].

The conducted researches of facade systems showed that in case of the declared service life in 25-30 years the «external insulated render system» facades require preventive repair in 5-7 years of operation. At this age, corrupting or plaster blanket peelings and color buckling are watched. Coloration of a facade allows prolonging operation for the next 5-7 years, and at the age of 14-18 years, it is necessary to perform works on plaster layer restoration. Necessity of carrying out the repair work is connected to that the paint coat quickly fails from influence of sunshine then the plaster coat is sated with water during precipitates. In case of the subsequent modes of freezing defrosting the water which got to plaster pores destroys it, and with each cycle penetration depth of moisture in plaster and the total area of the damaged facade increases [1, 11, 13, 14].

The hinged ventilated facades with ashlar of ceramic granite have other pattern of corrupting. At the declared service life in 25-50 years the real durability of such facades systems comes nearer to settlement and need of repair work arises only in local places, most often – as a result of mechanical damage of facing tile. The facing ceramic granite tile made with a high pressure (4-5 kN/cm²) and at a temperature of 1 200-1 300 °C. As a result the compact structure of a tile has low water absorption – not higher than 0,1%. During rainfall water, flowing down on ceramic granite does not get into its structure, and the subsequent fluctuations of temperature upon transition of a freezing point cannot cause destruction of a tile blanket. It gives the chance to apply a tile of 8-16 mm thickness, avoiding weighting of a facade. Destructions of such facade system (in the absence of mistakes at a stage of design and installation) result from corrosion of the bearing profiles. Destructions of such facade system (in the absence of mistakes at a stage of design and installation) result from corrosion of the high-lift profile. During inspection of facade system with facing porcelain tile at the age of 7 years, revealed damages of ceramic granite tile only at the level of the first floor because of blows, and on the galvanized high-lift profile there were white spots testifying to corrosion initial stage of zinc covering. Impact of rainfall and

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

sunlight did not affect a ceramic granite tile in any way – damages of structure are higher than the first floor was not revealed [7, 10-12].

According to DSTU N B B.1. 2-13:2008, reliability is an ability of a construction or construction element to meet certain requirements throughout all service life for which they were designed. Organizational and technological reliability has to cover safety, operational reliability and durability of the construction. It will allow considering requirements of technological effectiveness of the device and mounting of facade system that reduces probability of occurrence of error made at a stage of facade erection. The facade system longevity directly depends not only on its resistance to influence of external factors, but also on possibility of fast carrying out diagnostics and repair with restoration of original properties of system in general.

Research of facade system of «external insulated render system» type in order to identify the optimal time and volume of necessary repairs is difficult because of the design features of the system. Without compromising the integrity of paint and plaster it is impossible to assess the condition of the insulation. Partial replacement of plaster or paint layer in the ground damages violates the relationship between the elements of the facade system. Perform painting facade system when the color layer is broken, but the destruction of the plaster had not yet begun, it is not always possible because of the diagnosis difficulties of the state of the facade system. As a result of further plaster peeling primarily occurs in the places where they perform local plastering damaged areas. In contrast to the «external insulated render system» facade, curtain wall systems with ceramic granite allows you to survey the any facade site at any time, and if necessary, perform removal and replacement of individual tiles and capping or more high-lift profile [1, 2, 4, 10-14].

Given the pattern of destruction and the causes of failures of different types of facade systems, it is reasonable to assess the organizational and technological reliability facade systems that element or elements system, the disruption of which causes damage to the facade system in whole. For «external insulated render system» facades should highlight such elements:

- a surface layer of paint, which most often is destroyed by the action of sunlight or has water permeability, which leads to further soak the

plaster and paint peeling;

- protective layer of plaster, lack of thickness often leads to mechanical failure as a result of wind or rain.

Reliability analysis of anchor connections providing fastening insulation to the outer wall of the building is not required, as the strength of the currently used compounds sufficient anchor: with the technology of the tooling facade system of the «external insulated render system» type of insulation peeling is not observed. Also, there is no need to study the effect of the thickness of the plaster layer facade system on its overall reliability. Analysis of the causes of destruction facade systems with plaster layer of different thickness showed that the reliability of the facade system has the greatest impact is not the thickness of plaster and water-resistant exterior paint. Manufacturability requirements facade configuration of «external insulated render system» type should be taken into account at the design building stage when compared to systems of various manufacturers.

In some cases, the cause of facade paint destruction was the plaster prominent structure (the facade type «rustic-textured coating»). In the ravine of such facade the dust settles, and the ingress of atmospheric moisture, combined with warming sunlight creates a favorable environment for the development of both bacteria and blue-green algae. As a result of their activity the paint coat fails that involves plaster damage. To delete from all dimples of a microorganisms colony and to protect a relief surface of a facade from intrusion of dust it isn't possible. In the case of a smooth plaster structure the growth of microorganisms was not observed. That is why the structure of the surface is not included in the parameters for determining the reliability: should use or facade systems with a smooth surface, or preventative paint as often as every 4-5 years [1, 6, 8, 10-11].

Curtain wall system is destroyed only in case of violation the high-lift profile system. In this case, the elements for which you want to determine the reliability can be the following:

- anchor junction fastening element of facade system with curtain wall of the building;

- the system bearing elements of a suspended facade (including mounting clamps), which damage as a result of the corrosive effects of water vapor (often – the impact of acids present in

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

the atmosphere).

In this case the need to assess the reliability of the anchor connections due to the fact that the lining of ceramic granite tile is not hermetical. Construction technology suspended facade with ceramic granite facing provides an equipment gap between the individual tiles. As a result in case of wind impact on a facade the system of the bearing profiles experiences bending loads, and the pulling-out efforts are transferred to anchor connections of fasteners with a wall of the building. Researches of reliability of facade ceramic granite tile it isn't supposed as showed researches, sunshine and atmospheric actions have practically no impact on the ceramic granite tile conforming to the modern standards. The solid surface of a ceramic granite tile, steady against abrasion-resistant remains smooth for all period of operation that provides persistence of physical configuration and absence of opportunities for development of germ culture, unlike front systems of «external insulated render system» type. The choice of fixing tiles from the viewpoint of processability of the tool curtain wall systems should be carried out at the design stage by comparison when determining the reliability of facade systems from different manufacturers.

In case of insufficient processability the most reliable facade system is necessary to develop a set of measures that increase the adaptability of the process of installation of the facade system to reduce the likelihood of errors made during the construction of the building and the tools of facade system.

Originality and practical value

The factors that determine the reliability and durability of facade systems are investigated. It is found the perspective of appliance prospects suspended and the «external insulated render system» facades. Problems of carrying out scheduled maintenance on restoration of facades with a thin plaster layer are defined.

Determination of reliability of modern facade systems of multi-storey residential buildings will more accurately predict the duration of their uptime, determine the optimal time for repair and restoration work, reduce maintenance costs of buildings, and in the long term to increase the

lifetime of maintenance-free facade systems through the use of materials, more relevant the effects of destructive factors.

Conclusions

Using the methods and principles set forth in the Eurocodes, to determine the organizational and process reliability for various types of facade systems. Research of model the influence of the factors causing failures of facades and determination of their influence on the general reliability of facade system allows to define exact periods of carrying out necessary repair or recovery work, therefore – to lower costs of operation of buildings. Numerical determination of reliability of facade systems will reveal parameters of the facades of materials applied to the device which the first decay under the influence of external factors. This will allow the subsequent development of technologies used to improve building materials and increase the period of maintenance-free operation of facade systems.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Гагарин, В. Г. Теплоизоляционные фасады с тонким штукатурным слоем / В. Г. Гагарин // АВОК. – 2007. – № 6. – С. 82–103.
2. Грановский, А. В. О методике испытаний анкеров на вырыв из различных стеновых материалов и возможных областях их применения / А. В. Грановский, Д. А. Киселев // Жилищ. стро-во. – 2010. – № 2. – С. 7–8.
3. ДСТУ-Н Б В.1.2-13:2008. Настанова. Основи проектування конструкцій. – На заміну ENV 1991-1:1994 ; надано чинності 2009-07-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 81 с.
4. Дудкина, В. В. Адгезионная прочность никелевых и цинковых покрытий с медной основой, электроосажденных в условиях внешней стимуляции лазерным излучением / В. В. Дудкина // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 2 (44). – С. 83–91. doi: 10.15802/stp2013-/12245.
5. Емельянова, В. А. Оптимизированная конструкция навесного вентилируемого фасада / В. А. Емельянова, Д. В. Немова, Д. Р. Мифтахова // Инж.-строит. журн. – 2014. – № 6 (50). – С. 53–66.
6. Еноткина, С. Эксплуатация многослойных ограждающих конструкций / С. Еноткина // Молодой ученый. – 2011. – № 6 (29). – С. 49–52.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

7. Мотяев, М. А. Алфавит навесных фасадов с воздушным зазором / М. А. Мотяев. – Юкон Инжиниринг, 2005. – 104 с.
8. Орлович, Р. Б. О работе анкеров в многослойных ограждающих конструкциях с наружным кирпичным слоем / Р. Б. Орлович, Н. М. Рубцов, С. С. Зимин // Инж.-строит. журн. – 2013. – № 1 (36). – С. 3–11.
9. Терешкова, А. В. Исследование деформативности и совершенствование конструктивных решений элементов каркаса фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором : дис... канд. техн. наук : 05.23.01 / Терешкова Александра Викторовна : Сиб. федер. ун-т. – Красноярск, 2007. – 233 с. – Библиогр.: с. 148–158.
10. Туснина, О. А. Теплотехнические свойства различных конструктивных систем навесных вентилируемых фасадов / О. А. Туснина, А. А. Емельянов, В. М. Туснина // Инж.-строит. журн. – 2013. – № 8 (43). – С. 54–63.
11. Щербак, А. С. Исследование свойств современных теплоизоляционных материалов / А. С. Щербак // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 2 (44). – С. 136–143. doi: 10.15802/stp2013-/12993.
12. Analytical assessment of thermal performance of a ventilated glazed facade system / M. Dagnall, A. Window, A. Leung, D. Thompson // Proc. of Building Simulation : 12th Conf. of Intern. Building Performance Simulation Association (14.11.–16.11.2011). – Sydney, 2011. – P. 808–815.
13. Ciampi, M. On the thermal behavior of ventilated facades and roofs / M. Champi, F. Leccese, G. Tuoni // La Termotecnica. – 2002. – № 1. – P. 87–97.
14. Ciampi, M. Some thermal parameters influence on the energy performance of the ventilated walls / M. Champi, F. Leccese, G. Tuoni // Proc. of 20th UIT National Heat Transfer Conf. (27.06.–29.06.2002). – Maratea, 2002. – P. 357–362.

А. В. РАДКЕВИЧ^{1*}, К. М. НЕТЕСА^{2*}

^{1*}Каф. «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (098) 307 81 44, ел. пошта KVP@DSST.gov.ua, ORCID ID: 0000-0001-6325-8517

^{2*}Каф. «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (063) 492 96 17, ел. пошта netesakostia@meta.ua, ORCID ID: 0000-0002-4087-5552

ВИЗНАЧЕННЯ АСПЕКТІВ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ФАСАДНИХ СИСТЕМ ІЗ ТОЧКИ ЗОРУ EUROCODE

Мета. Робота присвячена визначенню найбільш раціональної методики оцінки надійності фасадних систем багатоповерхових житлових будівель із використанням досвіду будівництва та експлуатації будівель за кордоном. Також передбачається визначення параметрів матеріалів фасадних систем, покращення якостей яких дозволить підвищити надійність, довговічність фасадних систем багатоповерхових житлових будівель та знизити вартість їх експлуатації. **Методика.** В дослідженні проведений порівняльний аналіз досвіду експлуатації фасадних систем різних типів в Україні та за кордоном на основі даних різних авторів. Був зроблений аналіз впливів зовнішніх факторів на фасадні системи з наступним порівнянням методик оцінки надійності фасадів за критеріями, викладеними в Eurocode, і виділенням параметрів, що визначають надійність та довговічність фасадних систем. **Результати.** Авторами проведено дослідження методів оцінки організаційно-технологічної надійності та довговічності сучасних фасадних систем. Було виявлено причини виникнення відмов фасадних систем. Запропоновані шляхи вдосконалення матеріалів фасадних систем, а також конструкційних та організаційно-технологічних рішень із влаштування фасадних систем. Визначені методи підвищення надійності та довговічності фасадних систем. **Наукова новизна.** Визначена найбільш раціональна методика оцінки надійності фасадних систем, що враховує вимоги Eurocode в питаннях проектування будівельних конструкцій. **Практична значимість.** Вдосконалення методів оцінювання організаційно-технологічної надійності фасадних систем багатоповерхових житлових будівель дозволить точніше прогнозувати термін роботи огорожуючих конструкцій будівель. Використання методик, викладених в Eurocode, для визначення надійності та довговічності фасадних систем дозволить забезпечити загальні критерії проектування будівельних конструкцій в Україні та в країнах Європи, а також полегшити обмін досвідом будівництва та експлуатації будівель між країнами Європи. Аналіз причин виникнення відмов фасадів дає можливість визначити напрямки вдосконалення якостей матеріалів, що використовуються для виготовлення елементів фасадних конструкцій, а також конструкційних та технологічних рішень використовуваних фасадних систем.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Ключові слова: фасадна система; надійність; довговічність; експлуатація; відмоваА. В. РАДКЕВИЧ^{1*}, К. Н. НЕТЕСА^{2*}^{1*}Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (098) 307 81 44, эл. почта KVP@DSST.gov.ua, ORCID 0000-0001-6325-8517^{2*}Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (063) 492 96 17, эл. почта netesakostia@meta.ua, ORCID 0000-0002-4087-5552**ОПРЕДЕЛЕНИЕ АСПЕКТОВ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ
ФАСАДНЫХ СИСТЕМ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ EUROCODE**

Цель. Работа посвящена определению наиболее рациональной методики оценки надежности фасадных систем многоэтажных жилых зданий с использованием опыта строительства и эксплуатации зданий за рубежом. Также предусматривается определение параметров материалов фасадных систем, улучшение которых позволит повысить надежность, долговечность фасадных систем многоэтажных жилых зданий и снизить стоимость их эксплуатации. **Методика.** В исследовании проведен сравнительный анализ опыта эксплуатации фасадных систем различных типов в Украине и за рубежом на основании данных разных авторов. Осуществлен анализ воздействия внешних факторов на фасадные системы с последующим сравнением методик оценки надежности фасадов по критериям, изложенным в Eurocode, и выделением параметров, определяющих надежность и долговечность фасадных систем. **Результаты.** Авторами проведены исследования методов оценки организационно-технологической надежности и долговечности современных фасадных систем. Были выявлены причины возникновения отказов фасадных систем. Предложены пути совершенствования материалов фасадных систем, а также конструктивных и организационно-технологических решений по устройству фасадных систем. Определены методы повышения надежности и долговечности фасадных систем. **Научная новизна.** Определена наиболее рациональная методика оценки надежности фасадных систем, учитывающая требования Eurocode в вопросах проектирования строительных конструкций. **Практическая значимость.** Усовершенствование методов оценки организационно-технологической надежности фасадных систем многоэтажных жилых зданий позволит точнее прогнозировать срок службы ограждающих конструкций зданий. Использование методик, изложенных в Eurocode, для определения надежности и долговечности фасадных систем позволит обеспечить общие критерии проектирования строительных конструкций в Украине и странах Европы, а также облегчить обмен опытом строительства и эксплуатации зданий между странами Европы. Анализ причин возникновения отказов фасадов дает возможность определить направления совершенствования свойств материалов, используемых для изготовления элементов фасадных конструкций, а также конструктивных и технологических решений применяемых фасадных систем.

Ключевые слова: фасадная система; надежность; долговечность; эксплуатация; отказ

REFERENCES

1. Gagarin V.G. Teploizolyatsionnyye fasady s tonkim shtukaturnym slozem [Insulating facades with a thin plaster layer]. AVOK–ABOK, 2007, no. 6, pp. 82–103.
2. Granovskiy A.V., Kiselev D.A. O metodike ispytaniy ankerov na vyryv iz razlichnykh stenovykh materialov i vozmozhnykh oblastiakh ikh primeneniya [The methodology of testing of anchors pull-out from a variety of wall materials and possible areas of their application]. Zhilishchnoye stroitelstvo – Housing Construction, 2010, no. 2, pp. 7–8.
3. DSTU-N B V.1.2-13:2008. Nastanova. Osnovy proektuvannia konstrukttsii [DSTU-N.1.2-13:2008. Installation. Principles of design of structures]. Kyiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2009. 81 p.
4. Dudkina V.V. Adgezionnaya prochnost nikelevykh i tsinkovykh pokrytiy s mednoy osnovoy, elektroosazhdennykh v usloviyakh vneshney stimulyatsii lazernym izlucheniym [Adhesion strength of nickel and zinc coatings with copper base electroplated in conditions of external stimulation by laser irradiance]. Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, 2013, no. 2 (44), pp. 83–91. doi: 10.15802/stp2013/12245.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

5. Yemelyanova V.A., Nemova D.V., Miftakhova D.R. Optimizirovannaya konstruktsiya navesnogo ventiliruемого fasada [Optimized design of hinged ventilated facades]. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal – Journal of Civil Engineering*, 2014, no. 6 (50), pp. 53-66.
6. Yenotkina S. Ekspluatatsiya mnogosloynnykh ograzhdayushchikh konstruktsiy [Operation of multilayer walling]. *Molodoy uchenyy – Young Scientist*, 2011, no. 6 (29), pp. 49-52.
7. Motyaev M.A. *Azbuka navesnykh fasadov s vozdushnym zazorom* [The ABC of suspended facades with air gap]. Saint-Petersburg, Yukon Inzhiniring Publ., 2005. 104 p.
8. Orlovich R.B., Rubtsov N.M., Zimin S.S. O rabote ankerov v mnogosloynnykh ograzhdayushchikh konstruktsiyakh s naruzhnym kirpichnym sloym [On the work of anchors in multilayer constructions with outer brick layer]. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal – Journal of Civil Engineering*, 2013, no. 1 (36), pp. 3-11.
9. Tereshkova A.V. *Issledovaniye deformativnosti i sovershenstvovaniye konstruktivnykh resheniy elementov karkasa fasadnykh sistem s ventiliruyemym vozdushnym zazorom*. Dok. Diss. [The study of deformation and improvement of design solutions of the frame elements of facade system with ventilated air gap. Doct. Diss.]. Krasnoyarsk, 2007. 233 p.
10. Tusnina O.A., Yemelyanov A.A., Tusnina V.M. Teplotekhnicheskiye svoystva razlichnykh konstruktivnykh sistem navesnykh ventiliruyemykh fasadov [Thermal properties of various structural systems of ventilated facades]. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal – Journal of Civil Engineering*, 2013, no. 8 (43), pp. 54-63.
11. Shcherbak A.S. *Issledovaniye svoystv sovremennykh teploizolyatsionnykh materialov* [Research of properties of modern heat-insulation materials]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 2 (44), pp. 136-143. doi: 10.15802/stp2013/12993.
12. Dagnall M., Window A., Leung A., Thompson D. Analytical assessment of thermal performance of a ventilated glazed facade system. Proc. of Building Simulation : 12th Conf. of Intern. Building Performance Simulation Association (14.11.–16.11.2011). Sydney, 2011, pp. 808-815.
13. Ciampi M., Leccese F., Tuoni G. On the thermal behavior of ventilated facades and roofs. *La Termotecnica*, 2002, no. 1, pp. 87-97.
14. Ciampi M., Leccese F., Tuoni G. Some thermal parameters influence on the energy performance of the ventilated walls. Proc. of 20th UIT National Heat Transfer Conf. (27.06.–29.06.2002). Maratea, 2002, pp. 357-362.

Prof. V. D. Petrenko, D. Sci. (Tech.), (Ukraine); Prof. I. A. Sokolov, D. Sci. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Received: June 15, 2015

Accepted: Aug. 14, 2015

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

УДК [130.2:140]:004.738.5

А. А. КОСОЛАПОВ^{1*}

^{1*}Каф. «Електронні висчислювальні машини», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (050) 575 05 32, ел. пошта kosolapov@i.ua, ORCID 0000-0001-8878-568X

ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБЩЕСТВА: ФИЛОСОФСКО-АНТРОПОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Цель. Компьютеризация и информатизация в последние десятилетия подарила человечеству автоматизированные системы управления электронным документооборотом, технологическими процессами на производстве, Интернет и сеть информационных ресурсов WWW, расширила коммуникационные возможности и привела к глобализации информационного общества. В то же время процессы информатизации рожают ряд философско-антропологических проблем, которые приобретают экзистенциальный характер. В исследовании необходимо провести выявление и осмысление этих проблем на основе формирования гносеологической модели эволюции парадигм информатизации и определения их главных системообразующих характеристик. **Методика.** В работе использовался системно-деятельностный подход, который позволил выявить и проанализировать влияние основных компонентов информационно-коммуникационных технологий (ИКомТ) на образовательную деятельность. И далее — представить их как единую систему человеческой деятельности в условиях компьютеризации/информатизации. В работе использовались философские принципы: всестороннего рассмотрения предмета, единства логического и исторического, восхождения от абстрактного к конкретному. Применялись общенаучные принципы: системного единства и развития, декомпозиции и иерархичности, индивидуализации и кооперации, многообразия и таксономии. **Результаты.** Автором предложена гносеологическая трёхэтапная модель эволюции парадигм компьютеризации/информатизации, которая опирается на три системные характеристики процессов информатизации: быстродействие, интерфейс, доступ к данным. Для каждой парадигмы предложена семизвенная антропоцентрическая модель, названная архитектурой информационной системы (АИС), описывающая изменения их видов обеспечения. Для каждого из этапов трансформации современного информационного общества сформулированы философско-антропологические проблемы, негативно влияющие на его развитие. **Научная новизна.** Предложена гносеологическая модель развития процессов информатизации в виде трёх парадигм, которые описываются тремя характеристиками. Для описания каждой парадигмы используется усовершенствованная антропоцентрическая модель АИС. Сформулированы и раскрыты особенности философско-антропологических проблем, которые несут в себе новые ИКомТ. **Практическая значимость.** Предложенная модель эволюции парадигм информационного общества и знание сопутствующих проблем позволят уменьшить влияние негативных тенденций в развитии глобального информационного общества, в первую очередь, в сфере образования и в научно-исследовательской деятельности.

Ключевые слова: философско-антропологические проблемы; информатизация; гносеологическая модель эволюции информатизации; архитектура информационной системы; парадигмы; информационное общество; негативные тенденции

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

*Тем, кого боги хотят уничтожить, они
сначала дают голубой экран. Мы становимся
расой созерцателей, а не создателей...*

(Артур Кларк) [8]

Введение

Вопросам философско-антропологического осмысления изменений, происходящих в обществе в условиях его спонтанной компьютеризации и информатизации, уделяется большое внимание, начиная с момента появления первого компьютера (1944 г.), выполняющего автоматизированную обработку цифровой информации по заложенной в него программе, до настоящего времени [16]. Как отмечает М. Кастельс, «в конце двадцатого столетия мы переживаем один из редких в истории моментов. Момент этот характеризуется трансформацией нашей «материальной культуры» через работу новой технологической парадигмы, построенной вокруг информационных технологий» [7]. В итоге, все происходящие изменения были задекларированы на межгосударственном, планетарном уровне 22 июля 2000 г. в Японии во время встречи лидеров «Группы восьми» была принята Окинавская Хартия Глобального Информационного Общества [13], в которой отмечается, что «...информационно-коммуникационные технологии (ИКомТ) являются одним из наиболее важных факторов, влияющих на формирование общества двадцать первого века. Их революционное воздействие касается образа жизни людей, их образования и работы, а также взаимодействия правительства и гражданского общества». ИКомТ стимулирует экономическую и социальную трансформацию, которая заключается «в способности содействовать людям и обществу в использовании знаний и идей». А устойчивость такого глобального информационного общества «основывается на стимулирующих развитие человека демократических ценностях, таких как свободный обмен информацией и знаниями, взаимная терпимость и уважение к особенностям других людей». В этом документе записаны те ожидаемые позитивные изменения в информационном сообществе, на которых мы не будем останавливаться. Об этом написано немало в многочисленных работах философов и социологов, например [5, 6, 11, 14].

Цель

Целью статьи является определить основные базовые понятия ИКомТ, основанные на структурированном, синергетическом, антропоцентрическом понятии «архитектура» информационной системы (АИС) и предложить гносеологическую модель эволюции парадигм компьютеризации и информатизации как результат развития АИС, для которых выбраны три основные характеристики, изменение которых приводит к смене предложенных парадигм. Для каждого из этапов развития информационно-компьютерных технологий рассматриваются рождаемые проблемы антропологического характера, то есть речь будет идти об «обратной стороне медали» – о цивилизационных проблемах новых ИКомТ.

Методика

Взяться за данную работу меня, «технаря», ученого, который более 30-ти лет работает в сфере компьютеризации и информатизации и является свидетелем смены всех поколений электронных вычислительных машин (ЭВМ), который читает много лет в университете курсы по компьютерным системам, Интернет-технологиям, WWW-системам (о Всемирной паутине), искусственному интеллекту, системному проектированию, который более 15 лет преподает информатику в техническом лицее, видит «некорректность» некоторых базовых понятий и определений при философском анализе антропологических проблем информатизации, и который всегда, со студенческой скамьи, интересовался философско-антропологическими вопросами роли компьютеров в жизни человека и общества, подтолкнуло знакомство с рядом работ, связанных с философско-антропологическими проблемами информатизации, где авторы-философы были некорректны в используемых определениях и рассуждениях с точки зрения ИКомТ [6,7,11,16].

В основе данной статьи лежат результаты эмпирического изучения и содержательно-смыслового анализа дискурсивного (речевого) мышления и развертывания рефлексии школьников и студентов в процессе решения ими творческих задач (1–11 классы школы и 1–5 курсы технического университета). Влияние ИКомТ выражается в трансформации

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

личности, ее интеллектуальных, логических способностей, в изменении мировосприятия, в «мутации» языка и культуры поведения. В работе также использовался системно-деятельностный подход, который дает возможность выявить и проанализировать влияние основных компонентов ИКомТ технологий на образовательную деятельность и представить их как единую систему человеческой деятельности. В работе использовались философские принципы: всестороннего рассмотрения предмета, единства логического и исторического, восхождения от абстрактного к конкретному. Применялись общенаучные принципы: системного единства и развития, декомпозиции и иерархичности, индивидуализации и кооперации, многообразия и таксономии и др.

Результаты

В настоящее время существует много подходов к толкованию, что представляет собой информационное общество (Ино). Наиболее полное его описание дал британский социолог Ф. Уэбстер в своей книге «Теории информационного общества» [16, с. 25]. Он выделил пять критериев (признаков) Ино: 1 – технологический критерий (развитие технологий изготовления электронных устройств); 2 – экономический критерий (более высокая эффективность ИКомТ по сравнению с другими отраслями экономики); 3 – расширение занятости населения в сфере информационных технологий; 4 – пространственный критерий (использование сетевых технологий и Интернет); 5 – критерий формирования информационной культуры. Л. Караваев считает, что смыслообразующим понятием информационного общества является автоматизация информационных процессов [6, с. 67]. Последнее утверждение, на мой взгляд, является ошибочным, ибо автоматизация обработки информации была реализована уже в ЭВМ первого поколения в 1944 году, хотя об информационном обществе заговорили только в начале текущего столетия.

Попытаемся определиться, когда компьютеризация эволюционировала в информатизацию общества, и какова роль человека в этих процессах. Для этого рассмотрим, не усложняя специальными терминами, насколько это возможно, те компоненты, которые не изменяются

уже в течение десятков лет в пяти поколениях ЭВМ с 1944 по 2015 год (в больших ЭВМ, в серверах, в персональных компьютерах, планшетах, смартфонах). Для этого рассмотрим понятие «архитектура» ЭВМ или информационной системы.

Архитектура информационной системы. АИС представляет собой множество взаимосвязанных структур, которые описываются следующим выражением [8, с. 31–32]:

$$АИС = Цель \cap (КТС \cup ПО \cup МО \cup ИО \cup$$

$$\cup ЛО \cup ОО \cup МетрО),$$

$\cup$ операция объединения множеств,

$\cap$ операция пересечения множеств,

где Цель – цель создания системы; КТС или ТО (техническое обеспечение) – комплекс технических средств системы («железо», hardware, информационная инфраструктура); ПО – программное обеспечение (программы, software); МО – математическое обеспечение (совокупность математических моделей, методов и алгоритмов); ИО – информационное обеспечение (константы, переменные, таблицы, файлы, базы данных, базы знаний); ЛО – лингвистическое обеспечение (совокупность языковых когнитивных средств общения с человеком (с пользователями системы); ОО – организационное обеспечение (пользователи системы, организационная структура и инструкции оперативному персоналу); МетрО – метрологическое обеспечение (средства обеспечения заданных достоверных характеристик измеряемых характеристик). АИС является антропоцентрической, в которой человек или некоторый социум представлены компонентой ОО.

Все виды обеспечений характеризуются набором взаимосвязанных статических и динамических структур, которые формируются в процессе проектирования и функционирования информационной системы и объединены общей концептуальной схемой для достижения целей создания. Следует отметить, что обеспечения ИС изменяются в зависимости от развития целей создания, технических требований к их характеристикам, что можно обобщить и представить в виде гносеологической концептуаль-

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

ной модели смены парадигм компьютеризации/информатизации общества.

Смена парадигм информатизации. Парадигму будем рассматривать как совокупность явных и неявных (и часто не осознаваемых) предпосылок, определяющих научные исследования и признанных на данном этапе развития науки, а также универсальный метод принятия эволюционных решений. В данном случае это гносеологическая модель развития процессов информатизации, которая представлена на рисунке 1. В настоящее время можно говорить о переходе от парадигмы информационных систем к парадигме интеллектуальных систем. Смена парадигм опирается на изменение приоритетов технических и антропологических требований к исследуемым системам. Рассмотрим приведенные парадигмы, как изменяется состав их видов обеспечения, а также как при этом трансформируются и дополняются антропологические проблемы.

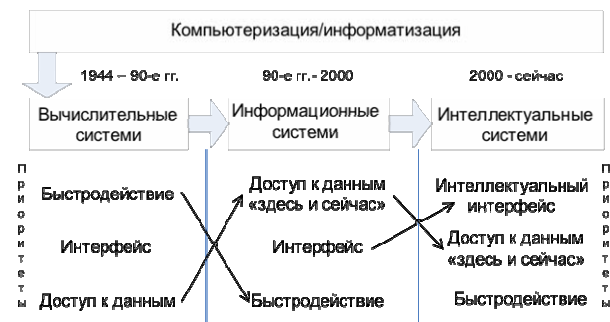


Рис. 1. Эволюция парадигм информатизации

Fig. 1. Evolution of informatization paradigms

С появлением первых компьютеров в индустриальном обществе началось становление первой парадигмы компьютеризации, связанной с созданием и внедрением **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**. Главным требованием пользователей к ЭВМ в это время было увеличение их **БЫСТРОДЕЙСТВИЯ**. Одна из первых ламповых машин «Урал-1» выполняла всего 3,5 тыс. операций в секунду. Второе требование касалось **ИНТЕРФЕЙСА**, т. е. организации взаимодействия человека с компьютером: он был «недружелюбным» через синий цифровой экран и нестандартизованную клавиатуру. И менее всего на этом этапе пользователей интересовало место размещения в памяти ЭВМ исходных данных и результатов вычислений,

или **ДОСТУП К ДАННЫМ**. Во время первой парадигмы шла компьютеризация индустриального общества путем создания автоматизированных систем управления (АСУ): вначале это были АСУ предприятиями (АСУП) для управления электронным документооборотом, затем, с повышением надежности компьютеров и появлением управляющих ЭВМ, внедрялись АСУ технологическими процессами (АСУТП). Эти два класса АСУ объединялись в интегрированные системы (ИАСУ) и гибкие автоматизированные производства (ГАП), которые дополнялись системами автоматизированного проектирования (САПР) [7]. Ресурсное обеспечение данной парадигмы и его относительные объемы представлены на рис. 2. Для всех этапов развития компьютеризации/информатизации носителем новых технологий является комплекс технических средств (КТС). В процессе создания ИС основные усилия разработчиков направлялись на построение быстродействующих устройств обработки и хранения данных. Скоростные устройства и технологии передачи данных только зарождались. В это время создавалось математическое обеспечение для первых пакетов прикладных программ. Антропологические проблемы на данном этапе были связаны с «боязнью» работы в АСУ, в которых видели угрозы потери рабочих мест и превосходства над человеческим интеллектом.

Переломными научно-техническими решениями, которые определили смену парадигмы и приоритетов характеристик ИС и начало вхождения человечества в эпоху построения «постиндустриального общества», на мой взгляд, является переход в 1991 году к *массовому производству персональных компьютеров (ПК)* и появление в это же время (!) надстройкой над Интернет – всемирной паутины *World Wide Web (WWW, Web, Веб)*. Персональные компьютеры не только на предприятиях и в организациях, но и в домашних условиях привели к появлению массового антропологического запроса на решение проблемы обеспечения доступа к данным «здесь и сейчас»! И это стало возможным благодаря Веб, которая является территориально распределённой сетью информационных, программных и технических ресурсов. В это время вместо понятий автоматизированные системы управления, контроля, из-

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

мерения, АСУП, АСУТП и т.п. начинают использовать обобщенное название – ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА, которая выполняет функции автоматизированной обработки информации для реализации любых необходимых функций. Третьей существенной особенностью данного этапа информатизации становится *соизмеримость скоростей обработки и передачи данных*, что позволяет пользователям, находясь в любой точке глобальной сети Интернет, работать со своими Веб-ресурсами «здесь и сейчас». Сеть превращается для сотен миллионов пользователей в гигантский виртуальный вычислитель с распределенной обработкой и передачей данных. На данном этапе возрастает роль информационного обеспечения ИС, которые строятся на основе Систем Управления Базами Данных (СУБД). Однако, по прежнему остается нерешенным вопрос создания «дружественного» ИНТЕРФЕЙСа. Вопросы же БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ЭВМ и сетей для массовых применений переходят на третий план (см. рис. 2).

В это же время начинают проявляться серьезные антропологические проблемы, связанные с наличием персонального «дивайса» – ПК, а в дальнейшем ноутбука, смартфона, планшета (игровая зависимость), и широкого доступа в ИНТЕРНЕТ с неограниченными Веб-ресурсами (сетевая зависимость, сетевая игровая зависимость). Говорят, «вышел в Интернет в 11-00 и вернулся в 34 года».

Игровая индустрия в мире имеет огромные прибыли и не обращает внимания на трансформацию личности геймеров. Большинство игр связано с погружением игроков в виртуальный мир, где они отождествляют себя с основными героями, которые имеют несколько жизней и фантастические виртуальные возможности. А у игроков в реальной жизни появляются следующие проблемы.

Проблема виртуализации. Возвращение из виртуального мира в реальный вызывает психосоматические расстройства и неадекватное поведение человека (прыгнуть с крыши, убить человека...).

Проблема разрушения дискурса (способности мыслить). В популярных играх начинают доминировать примитивные инстинкты – бежать влево, прямо, стрелять, упасть... Эта проблема впервые была зафиксирована в начальной школе, когда были популярны приставки

PSP. 10 минут игры на приставке во время перерыва и напрочь забывается то, о чем говорили на предыдущем уроке. Такой же негативный результат в 11 классе после сетевой игры. Проверенные на ряде экспериментов признаки разрушения логики: на письме в словах пропускаются буквы, в тексте пропускаются слова, неумение повторить (пересказать!) простое предложение, прочитанное с доски.

Следующий ряд проблем связан с практически безграничными информационными ресурсами WWW, доступ к которым осуществляется через окно программы-браузера (Firefox, Opera, Chrome и др.).

Проблема короткой памяти или потеря рефлексии. Большие объемы информации, с которыми сталкиваются пользователи Интернет, приводят к сокращению времени на знакомство с текстовыми материалами и появлению новой технологии чтения – «по диагонали» (или старой, когда в школе необходимо быстро прочитать большой роман классика за один вечер). В этом случае работает «короткая» память, когда, уходя на следующую страницу документа, забывается смысл предыдущих страниц. Короткая память лишена эмоциональной составляющей, отсутствует осмысление и сопереживание по тексту. Убийства, кровь, насилие бесчувственно «пролистываются» в поиске необходимого контента. Отсюда, как итог – *проблема безразличия*.

Проблема изменения мышления. При отсутствии сети WWW решение любой проблемы или задачи начиналось с вопроса «Как решить?», при этом в проекте, в реферате, в статье, в эксперименте необходимо было придумать детали машин, принципиальные схемы, алгоритмы, описание и классификацию событий и т.п., приложив определенные интеллектуальные усилия. Наличие доступа в Интернет коренным образом изменяет постановку вопроса, который звучит теперь «Где найти?». Это приводит к тому, что решение задачи представляет собой компиляцию (сборку) из старых решений, а с точки зрения прогресса информационного общества – это «топтанье на месте» или регресс. Таким образом, на смену *креативному, творческому мышлению* приходит *компилятивное, механистическое мышление*. К чему это приводит? Приведу два примера. При создании веб-сайтов в специальных WYSIWYG-

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

редакторах (What You See Is What You Get) или в программах управления контентом CMS (Content Management System) используют шаблоны (templates), в результате мы видим множество сайтов с однотипными структурами и «угловатой» графикой, склонированных из одного шаблона. Второй пример возьмем из области создания электронной музыки. Массовая музыка собирается из наборов сэмплов (samples), музыкальных фрагментов отдельных инструментов, записанных известными музыкантами или симфоническими оркестрами. В результате эфир, телевидение и Веб засоряется низкопробной музыкой с узнаваемыми интро, ритм, соло-партиями и рисунками. В этих условиях можем ли мы ожидать появление в информационном обществе новых Битлз (Beatles) и Роллинг Стоунс (Rolling Stones)? Бесперспективность шаблонов, пусть даже на основе передовых технологий, в профессиональном образовании убедительно раскрыта в научно-фантастической повести Айзека Азимова «Профессия», которая впервые опубликована в июле 1957 года журналом *Astounding Science Fiction*. Шаблоны он называл «лентами» знаний. «Ленты попросту вредны. Они учат слишком многому и слишком легко. Человек, который получает знания с их помощью, не представляет, как можно учиться по-другому... А если бы, вместо того, чтобы пичкать человека лентами, его заставили с самого начала учиться, так сказать вручную, он привык бы учиться самостоятельно и продолжал бы учиться дальше... Он сможет придумывать новое, на что не способен ни один человек, получивший образование с лент. У вас будет запас людей, способных к самостоятельному мышлению...» [2, с. 157–222].

Обобщая изложенное, осмелюсь утверждать, что главной антропологической проблемой глобального информационного общества является обеспечение «запаса людей», способных к самостоятельному, творческому, креативному мышлению.

Проблема «уличного Интернет-забора» (на котором кто-угодно, анонимно, где угодно, как-угодно и о чем угодно может написать или выложить свои фотографии и видео). Создаваемые под контролем спецслужб социальные сети используются для манипулирования сознанием социальных групп (так называемого троллин-

га), для распространения недостоверной информации (которую окрестили фейками), для проведения различных флэш-мобов (когда в назначенное время и место все целуются, все танцуют на площади, все едут в трусах в метро и т.п.), для организации асоциальных действий, беспорядков и «цветных революций». Сеть Интернет становится местом информационных диверсионных, разведывательных и военных действий, для чего создаются при соответствующих министерствах кибер-подразделения и «Интернет-войска». Поэтому разработчики под руководством Бернерса-Ли, основателя Веб, задумываются над созданием семантической WWW, а на государственном уровне во многих странах принимаются «защитные» законодательные акты и решения правительств.

Появление новой парадигмы наблюдается в наше время, когда пользователей не беспокоит быстрое действие систем и доступ к данным «здесь и сейчас», но проявляется растущая потребность в качестве ожидаемых данных, чтобы они обладали релевантностью, достоверностью и помогали бы в процессе принятия решений при лавинообразном увеличении объемов данных. В данном случае речь идет о реализации когнитивного интеллектуального интерфейса, идея которого была впервые предложена японцами в проекте стратегических вычислительных машин пятого поколения в 1982 году [17].

Такая машина была построена на основе моделей и методов искусственного интеллекта на базе сети из нескольких тысяч микропроцессоров. Новая система была изготовлена в одном экземпляре в 1992 году, но оказалась очень дорогой и невостребованной в начале 90-х, когда на рынке доминировали ПК. Сейчас эту систему можно рассматривать как прообраз современных Центров обработки данных (ЦОД).

В наше время стали активно проводиться работы по созданию компьютерных систем с элементами искусственного интеллекта, или интеллектуальных систем. В новой парадигме на первый план выходят вопросы создания «дружественного» интеллектуального интерфейса. Современные системы работают не с данными, а со знаниями. Их ИО представляется в виде Систем Управления Базами Знаний (СУБЗ) с интерфейсом, который учитывает последние достижения в области лингвистики

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

и психологии. В данном случае изменяется и распределение видов обеспечений в интеллектуальных системах, что показано на рис. 2.

Современная парадигма дополняется новой антропологической проблемой – *проблемой деинтеллектуализации в постинформационном обществе*. Если в тандеме «человек-машина» интеллектуальная машина начинает мыслить и принимать решения, то лишенный этого человек – деградирует.

Эту проблему дополняет противоположная проблема *агрессивного искусственного суперинтеллекта*. Основатель компании Microsoft Билл Гейтс заявил: «Я из тех людей, кто обеспечен перспективой развития суперинтеллекта. Сначала машины будут выполнять большую часть работы за нас, но не будут слишком умными. Через некоторое время машины поумнеют, и это может стать проблемой для человечества...». Такого же мнения придерживается и основатель компании Tesla Элон Маск, который назвал искусственный интеллект «главной экзистенциальной угрозой» и предложил инвестировать 10 млн долларов в поддержку «дружественного» искусственного интеллекта [4].

Практически все новые разрабатываемые системы от боевых вертолетов и танков до хлебоуборочных комбайнов и стиральных машин, создаются сейчас на основе применения математических моделей, методов и программ искусственного интеллекта [12, 15].

Перспектива решения многих проблем на железнодорожном транспорте – в переходе к интеллектуальному железнодорожному транспорту, включающему взаимодействие «умных» технологических объектов, поездов, локомотивов, технических систем и устройств [18, 19]. Интеллектуальные транспортные системы получают все большее распространение в мировой практике, их разработкой занимаются ведущие мировые фирмы. Создание и внедрение таких систем поддерживаются международными транспортными организациями. Интеллектуальные технические средства позволяют облегчить работу персонала, обеспечить логический контроль за его действиями в штатных и нештатных ситуациях. С их помощью есть возможность проводить расширенную и оперативную диагно-

стику работы оборудования и принимать решения по обеспечению надежности, безопасности и жизнеспособности процесса перевозок [1,9].

Научная новизна и практическая значимость

В работе определены основные антрополого-технологические признаки зарождения информационного общества, в качестве которых выступают массовый выпуск и использование персональных компьютеров и широкое внедрение сети WWW (1991 год).

Предложена *гносеологическая* модель эволюции парадигм компьютеризации/информатизации, состоящая из трех этапов развития – вычислительные системы (для *индустриального общества*), информационные системы (для *постиндустриального, информационного общества*) и интеллектуальные системы (для *постинформационного, интеллектуального общества*). Смена парадигм происходит на основе развития электронных нано-технологий и изменения антропологических аспектов взаимодействия человека с ЭВМ, которые представляются обобщённым понятием ИНТЕРФЕЙС (рис. 1).

Разработана семизвенная адаптивная антропоцентрическая иерархическая схема основных компонентов (видов обеспечения систем), которая называется АИС – архитектура информационной системы, в отличие от двухкомпонентной, которая включает только технические средства и программы (рис. 2). В этой структуре есть человеческое звено, которое с трансформацией парадигм приобретает все более активное и ответственное значение.

Для каждой парадигмы сформулированы антропологические проблемы, которые с эволюцией парадигм модифицируются и дополняются и в настоящее время приобретают *экзистенциальный* характер.

Выводы

Развитие информатизации общества, кроме очевидных преимуществ, таит в себе большое количество антропологических проблем, которые приводят к трансформации внутреннего мира человека, его сознания, интеллекта, потребностей и ценностей.

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

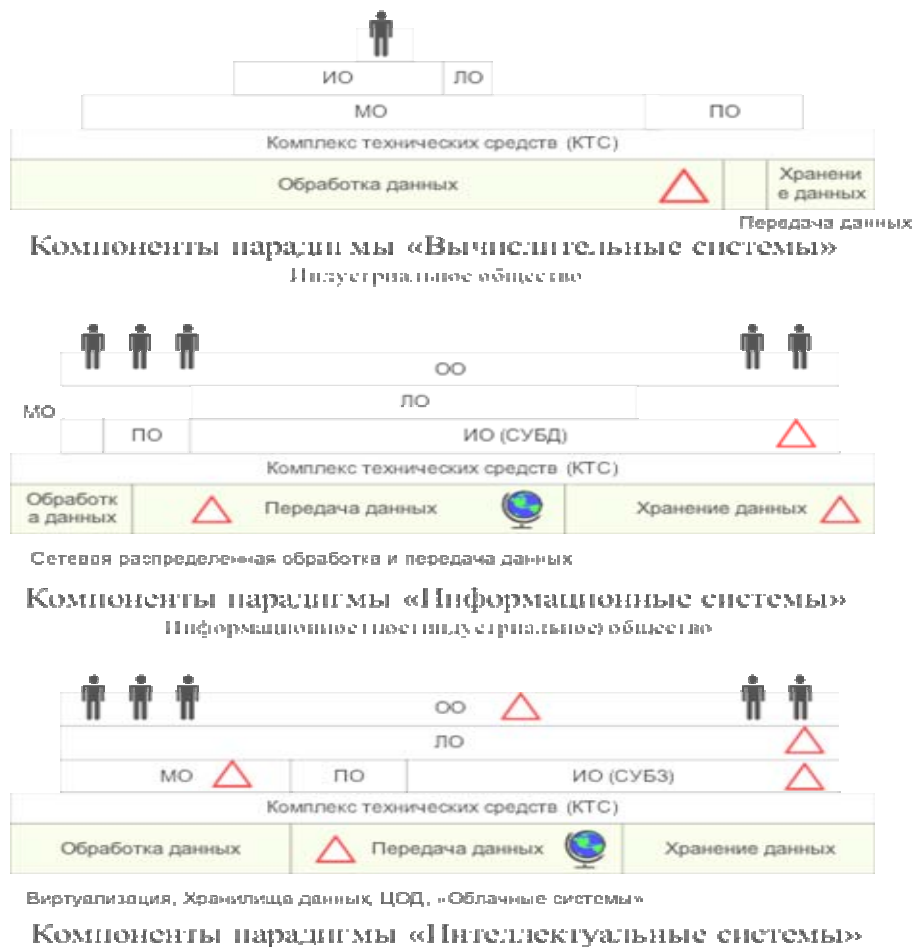


Рис. 2. Ресурсное обеспечение трех парадигм информатизации

Fig. 2. Resource support of three informatization paradigms

Человек, в условиях океанов информации, без умения ее осмысленной фильтрации, умения плавать, не сможет увидеть дальний берег своей гавани с истинно счастливой жизнью. Без способностей человека к рефлексии, к самостоятельному, креативному мышлению, без желания мыслить, а значит развиваться, постинформационное общество, когда у каждого человека будет по «голубому экрану», обречено. Поэтому, важными являются дальнейшие философско-антропологические исследования процессов информатизации и их последствий для человечества.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ададуров, С. Е. Интеллектуальный железнодорожный транспорт / С. Е. Ададуров // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 6. – С. 4–8.
2. Азимов, А. Избранное / А. Азимов ; [пер. С. Васильевой]. – Москва : Мир, 1989. – 528 с.
3. АСУ на промышленном предприятии: Методы создания : справочник. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 295 с.
4. Билл Гейтс считает искусственный интеллект угрозой человечества [Электронный ресурс] // Наблюдатель. – Режим доступа: <http://nablu-datel.od.ua/page/bill-geyts-schitaet-iskusstvenniy-intellekt-ugrozoy-dlya-chelovechestva>. – Загл. с экрана. – Проверено : 11. 06. 2015.

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

5. Казакевич, М. И. Противостояние технократической и гуманистической систем ценностей / М. И. Казакевич, И. И. Гузова // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 6 (48). – С. 156–167. doi:10.15802/stp2013/19764.
6. Караваев, Н. Л. Об антропологических проблемах информационного общества / Н. Л. Караваев // Философские пробл. информ. техн. и киберпространства. – 2013. – № 1. – С. 65–73.
7. Кастельс, М. Информационная эпоха: экономика, общество и культура / М. Кастельс : [пер. с англ.] ; под науч. ред. О. И. Шкаратана. – Москва : Гос. ун-т. высш. шк. экономики, 2000. – 606 с.
8. Кларк, А. Правила жизни [Электронный ресурс] / А. Кларк. – Режим доступа: <http://esquire.ru/wil/arthur-clarke>. – Загл. с экрана. – Проверено : 11. 06. 2015.
9. Ключевая роль транспорта в современном мире : монография / А. Л. Блохин, А. А. Косолапов, К. Ф. Борjak [и др.]. – Одесса : Купrienko CB, 2013. – 163 с.
10. Лаврухин, А. В. Формирование интеллектуальной модели функционирования железнодорожной станции при выполнении поездной работы // А. В. Лаврухин // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 1 (55). – С. 43–53. doi: 10.15802/stp2015/38239.
11. Ланир, Д. Вы не гаджет. Манифест / Д. Ланир. – Москва : Астрель, Corpus, 2011. – 317 с.
12. Норвиг, П. Искусственный интеллект. Современный подход. Руководство / П. Норвиг, С. Рассел. – Санкт–Петербург : Диалектика, Вильямс, 2015. – 1408 с.
13. Окинавская Хартия Глобального Информационного Общества // Дипломатич. вестн. – 2000. – № 8. – С. 51–56.
14. Соколова, К. В. Виртуальное пространство: новые феномены коммуникации / К. В. Соколова // Антропологічні виміри філософських досліджень : зб. наук. пр. – 2012. – Вип. 1. – С. 41–47.
15. Тим, Д. М. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / Д. М. Тим. – Москва : ДМК Пресс, 2013. – 312 с.
16. Уэбстер, Ф. Теории информационного общества / Ф. Уэбстер. – Москва : Аспект Пресс, 2004. – 400 с.
17. Andrew, A. M. The Fifth Generation Computers: The Japanese Challenge by Tohru Moto-Oka, Masaru Kitsuregawa / A. M. Andrew // Robotica. – 1986. – Vol. 4. – Iss. 3. – P. 207–208. doi: 10.1017/s0263574700009437.
18. Ezell, S. Intelligent Transportation Systems / S. Ezell // The Information Technology & Innovation Foundation. – 2010. – № 1. – P. 1–58.
19. Wang, Z. The Theory and Methods of Design and Optimization for Railway Intelligent Transportation Systems (RITS) / Z. Wang, J. Li-min. – Beijing, China : Bentham Science Publishers Ltd., 2011. – 149 p. doi: 10.2174/978160805138-01110101.

А. А. КОСОЛАПОВ^{1*}

^{1*}Каф. «Електронні обчислювальні машини», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (050) 575 05 32, ел. пошта gopkosalapov@i.ua, ORCID 0000-0001-8878-568X

ІНФОРМАТИЗАЦІЯ СУСПІЛЬСТВА: ФІЛОСОФСЬКО-АНТРОПОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ

Мета. Комп'ютеризація та інформатизація в останні десятиліття подарувала людству автоматизовані системи управління електронним документообігом, технологічними процесами на виробництві, Інтернет і мережу інформаційних ресурсів WWW, розширила комунікаційні можливості та призвела до глобалізації інформаційного суспільства. У той же час процеси інформатизації народжують ряд філософсько-антропологічних проблем, які набувають екзистенційного характеру. В дослідженні необхідно провести виявлення та осмислення цих проблем на основі формування гносеологічної моделі еволюції парадигм інформатизації та визначення їх головних системоутворюючих характеристик. **Методика.** У роботі використовувався системно-діяльнісний підхід, який дозволив виявити та проаналізувати вплив основних компонентів інформаційно-комунікаційних технологій (ІКомТ) на освітню діяльність. І далі – представити їх як єдину систему людської діяльності в умовах комп'ютеризації/інформатизації. У роботі використовувалися філософські принципи: всебічного розгляду предмета, єдності логічного та історичного, сходження від абстрактного до конкретного. Застосовувалися загальнонаукові принципи: системної єдності

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

та розвитку, декомпозиції та ієрархічності, індивідуалізації та кооперації, різноманіття й таксономії. **Результати.** Автором запропонована гносеологічна трьохетапна модель еволюції парадигм комп'ютеризації/інформатизації, яка спирається на три системні характеристики процесів інформатизації: швидкодія, інтерфейс, доступ до даних. Для кожної парадигми запропонована семиланцюгова антропоцентрична модель, яка названа архітектурою інформаційної системи (АІС), що описує зміни їх видів забезпечення. Для кожного з етапів трансформації сучасного інформаційного суспільства сформульовані філософсько-антропологічні проблеми, що негативно впливають на його розвиток. **Наукова новизна.** Запропоновано гносеологічну модель розвитку процесів інформатизації у вигляді трьох парадигм, які описуються трьома характеристиками. Для специфікації кожної парадигми використовується вдосконалена антропоцентрична модель АІС. Сформульовані та розкриті особливості філософсько-антропологічних проблем, які несуть в собі нові ІКомТ. **Практична значимість.** Запропонована модель еволюції парадигм інформаційного суспільства та знання супутніх проблем дозволять зменшити вплив негативних тенденцій у розвитку глобального інформаційного суспільства, в першу чергу, в сфері освіти та в науково-дослідній діяльності.

Ключові слова: філософсько-антропологічні проблеми; інформатизація; гносеологічна модель еволюції інформатизації; архітектура інформаційної системи; парадигми; інформаційне суспільство; негативні тенденції

A. A. KOSOLAPOV^{1*}

^{1*}Dep. «Computers», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 575 05 32, e-mail kosolapof@i.ua, ORCID 0000-0001-8878-568X

INFORMATIZATION: PHILOSOPHICAL AND ANTHROPOLOGICAL PROBLEMS

Purpose. Computerization and informatization in recent decades gave the mankind automated electronic document management systems, automated process of production, Internet and network information resources WWW, expanded the communications capabilities and led to the globalization of the information society. At the same time gives rise to a number of processes of informatization philosophical and anthropological problems, that has become an existential character. It is necessary to identify and understanding of these issues on the basis of the gnoseological model of the evolution informatization paradigms and determine their main characteristics. **Methodology.** The system-activity approach was used; it allowed identifying and analyzing the impact of the main components of information and communication technologies (ICT) for educational activities. And further to present them as a unified system of human activity in conditions computerization/informatization. The philosophical principles: a comprehensive review of the subject, the unity of the logical and historical, ascending from the abstract to the concrete was used. The general scientific principles: unity and development of the system, the decomposition hierarchy, individualization and cooperation, diversity and taxonomy were applied. **Findings.** The three-stage gnoseological model of the paradigms computerization/informatization evolution was proposed by the author. It is based on three information system characteristics: speed, interface and data access. The seven-bar anthrop-centric model, which is called the architecture of information systems (AIS), which describes the changes in their types of procuring, was proposed for each paradigm. The philosophical-anthropological problems that affect negatively its progress were formulated for each stage of modern information society transformation. **Originality.** The gnoseological model of development processes of informatization in the form of three paradigms that are described by three characteristics was proposed. The advanced anthrop-centric model of the AIS was used for each paradigm specification. Features of philosophical and anthropological problems, that have a new ICT are formulated and disclosed. **Practical value.** The proposed model of the evolution of information society paradigms and knowledge of related problems will allow reducing the impact of negative trends in the global information society especially in the field of education and research activities.

Keywords: philosophical and anthropological problems; informatization; gnoseological model of the evolution of informatization; information system architecture; paradigm; information society; negative trends

REFERENCES

1. Adadurov S.Ye. *Intellektualnyy zheleznodorozhnyy transport* [Intelligent railway transport]. *Avtomatika, svyaz, informatika – Automation, Communication and Informatics*, 2011, no. 6, pp. 4-8.
2. Azimov A. *Izbrannoye* [Choose]. Moscow, Mir Publ., 1989. 528 p.
3. *ASU na promyshlennom predpriyatii: Metody sozdaniya* [ACS industrial enterprise: Methods for creating]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1989. 295 p.
4. Bill Geyts schitayet iskusstvennyy intellekt ugrozoy chelovechestva [Bill Gates believes artificial intelligence is a threat to humanity]. *Nablyudatel – Observer*. Available at: <http://nabludatel.od.ua/page/bill-geyts-schitaet-iskusstvennyy-intellekt-ugrozoy-dlya-chelovechestva> (Accessed 11 June 2015).
5. Kazakevich M.I., Guzova I.I. Protivostoyaniye tekhnokraticheskoy i gumanisticheskoy sistem tsennostey [Contradiction between technocratic and humanistic systems of values]. *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. 156-167. doi: 10.15802/stp2013/19764.
6. Karavayev N.L. Ob antropologicheskikh problemakh informatsionnogo obshchestva [About anthropological problems of the information society]. *Filosofskiye problemy informatsionnykh tekhnologiy i kiberprostranstva – Philosophical Problems of Information Technology and Cyberspace*, 2013, no. 1, pp. 65-73.
7. Kastels M., Shkaratana O.I. *Informatsionnaya epokha: ekonomika, obshchestvo i kultura* [The information age: economy, society and culture]. Moscow, Gosudarstvennyy Universitet. Vysshaya shkola ekonomiki Publ., 2000. 606 p.
8. Klark A. *Pravila zhizni* [Rules of life]. Available at: <http://esquire.ru/wil/arthur-clark> (Accessed 11 June 2015).
9. Blokhin A.L., Kosolapov A.A., Boryak K.F. *Klyuchevaya rol transporta v sovremennom mire* [The key role of transport in the modern world]. Odessa, Kupriyenko SV Publ., 2013. 163 p.
10. Lavrukhin A.V. Formirovaniye intellektualnoy modeli funktsionirovaniya zheleznodorozhnoy stantsii pri vypolnenii poyezdnoy raboty [Intellectual model formation of railway station work during the train operation execution]. *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. 43-53. doi: 10.15802/stp2015/38239.
11. Lanir D. *Vy ne gadzhet. Manifest* [You are not a gadget. Manifest]. Moscow, Astrel, Corpus Publ., 2011. 317 p.
12. Norvig P. *Iskusstvennyy intellekt. Sovremennyy podkhod. Rukovodstvo* [Artificial intelligence. The modern approach. Guide]. Saint-Petersburg, Dialektika, Vilyams Publ., 2015. 1408 p.
13. Okinavskaya Khartiya Globalnogo Informatsionnogo Obshchestva [Okinawa Charter on Global Information Society]. *Diplomaticheskyy vestnik – Diplomatic Bulletin*, 2000, no. 8, pp. 51-56.
14. Sokolova, K.V. Virtualnoye prostranstvo: novyye fenomeny kommunikatsii [Virtual space: new phenomena of communication.]. *Antropologichni vymiry filosofskykh doslidzhen: zbirnyk naukovykh prats* [Anthropological measurements of philosophical research: Proceedings], 2012, issue 1, pp. 41-47.
15. Tim D.M. *Programmirovaniye iskusstvennogo intellekta v prilozheniyakh* [Programming of artificial intelligence in applications]. Moscow, DMK Press Publ., 2013. 312 p.
16. Uebster F. *Teorii informatsionnogo obshchestva* [Theories of the information society]. Moscow, Aspekt Press Publ., 2004. 400 p.
17. Andrew A.M. The Fifth Generation Computers: The Japanese Challenge by Tohru Moto-Oka, Masaru Kitsu-regawa. *Robotica*, 1986, vol. 4, issue 3, pp. 207-208. doi: 10.1017/s0263574700009437.
18. Ezell S. Intelligent Transportation Systems. *The Information Technology & Innovation Foundation*, 2010, no. 1, pp. 1-58.
19. Wang Z., Li-min J. *The Theory and Methods of Design and Optimization for Railway Intelligent Transportation Systems (RITS)*. Beijing, China, Bentham Science Publishers Ltd. Publ., 2011. 149 p. doi: 10.2174/97816080513801110101.

Статья рекомендована к публикации д.филос.н., проф. В. В. Хмелем (Украина); д.т.н., проф. А. И. Михалевым (Украина)

Поступила в редколлегию 30.03.2015

Принята к печати 30.07.2015

ЗМІСТ

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

Т. О. КОЛЕСНИКОВА, О. В. МАТВЄЄВА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ: БІБЛІОМЕТРІЯ	7
В. Г. КУЗНЕЦОВ, П. О. ПІШНЬКО, І. В. КЛИМЕНКО, А. В. ГУМЕНЮК, С. М. ЗАГОРУЛЬКО ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТУРИЗМУ УКРАЇНИ НА ВУЗЬКОКОЛІЙНИХ ЛІНІЯХ ЗАКАРПАТТЯ.....	23

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

М. М. БІЛЯЄВ, В. А. КОЗАЧИНА ЧИСЕЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК РОБОТИ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ВІДСТІЙНИКІВ	34
--	----

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Ю. С. БАРАШ, Х. В. КРАВЧЕНКО, М. Ф. ЗЕНЧУК МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ІНФРАСТРУКТУРНОЇ СКЛАДОВОЇ ВИТРАТ НА КУРСУВАННЯ ОКРЕМОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ПОЇЗДА	44
---	----

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Ю. Л. БОЛЬШАКОВ, А. В. АНТОНОВ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ВУГІЛЬНИХ СТРУМОЗНИМАЛЬНИХ ВСТАВОК СТРУМОПРИЙМАЧІВ ШВИДКІСНОГО ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	57
--	----

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

О. В. АГАРКОВ, Р. М. ЙОСИФОВИЧ ВИЗНАЧЕННЯ КОНТАКТНИХ НАПРУЖЕНЬ В РЕЙКАХ ТИПУ Р50, ЯКІ ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ В МЕТРОПОЛІТЕНІ	71
І. О. БОНДАРЕНКО ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДЕФОРМАТИВНОЇ РОБОТИ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ	87
Д. М. КУРГАН МОДЕЛЮВАННЯ НАКОПИЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ НА ОСНОВІ ЕНТРОПІЇ СИСТЕМИ	99
М. П. НАСТЕЧИК, Р. В. МАРКУЛЬ, В. В. САВИЦЬКИЙ ВПЛИВ ПРУЖНИХ ДЕФОРМАЦІЙ В ЕЛЕМЕНТАХ СКРІПЛЕННЯ ТИПУ КПП-5 НА ВЕЛИЧИНУ СИЛИ ПРИТИСКАННЯ РЕЙКИ ДО ПІДРЕЙКОВОЇ ОСНОВИ	110
О. М. ПАТЛАСОВ, С. О. ТОКАРЄВ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ НЕРІВНОСТЕЙ У ПЛАНІ	121

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Ю. П. ГУЛЬ, А. В. ІВЧЕНКО, П. В. КОНДРАТЕНКО, Г. І. ПЕРЧУН ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОМПЛЕКСУ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ, ОТРИМАНИХ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ ГОТОВИХ БОЛТІВ ТА ОБТОЧЕНИХ ЗРАЗКІВ	132
--	-----

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Н. В. ХАЛПОВА ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МІЖНАРОДНИХ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ.....	142
---	-----

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Л. М. БОНДАРЕНКО, С. О. ЯКОВЛЕВ, І. Є. КРАМАР, О. І. ШАПТАЛА ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ГАСИТЕЛІВ КОЛИВАНЬ ТЕРТЯМ КОЧЕННЯ.....	153
Н. Ю. НАУМЕНКО, І. Ю. ХИЖА МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ЕКІПАЖІВ ПАСАЖИРСЬКОГО ПОЇЗДА, ОБЛАДНАНОГО СИСТЕМОЮ ПАСИВНОЇ БЕЗПЕКИ, ПРИ АВАРІЙНОМУ ЗІТКНЕННІ З ПЕРЕШКОДОЮ	163

А. О. ШВЕЦЬ, К. І. ЖЕЛІЗНОВ, А. С. АКУЛОВ, О. М. ЗАБОЛОТНИЙ, Є. В. ЧАБАНЮК

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ПОРОЖНІХ ВАГОНІВ

ВІД ВИЧАВЛЮВАННЯ ЇХ ПОЗДОВЖНІМИ СИЛАМИ У ВАНТАЖНИХ ПОТЯГАХ175

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

К. К. МІРОШНИЧЕНКО

ВИКОРИСТАННЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ЗМІШУВАЧІВ ТЕЛЕСКОПІЧНОЇ КОНСТРУКЦІЇ190

В. Д. ПЕТРЕНКО, І. О. СВЯТКО

МОДЕЛЮВАННЯ НАСИПУ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА СЛАБКІЙ ОСНОВІ198

А. В. РАДКЕВИЧ, К. М. НЕТЕСА

ВИЗНАЧЕННЯ АСПЕКТІВ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ

ФАСАДНИХ СИСТЕМ ІЗ ТОЧКИ ЗОРУ EUROCODE.....205

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

А. А. КОСОЛАПОВ

ІНФОРМАТИЗАЦІЯ СУСПІЛЬСТВА: ФІЛОСОФСЬКО-АНТРОПОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ.....213

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА

Т. А. КОЛЕСНИКОВА, Е. В. МАТВЕЕВА

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ: БИБЛИОМЕТРИЯ7

В. Г. КУЗНЕЦОВ, П. А. ПШИНЬКО, И. В. КЛИМЕНКО, А. В. ГУМЕНЮК, С. М. ЗАГОРУЛЬКО

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТУРИЗМА УКРАИНЫ
НА УЗКОКОЛЕЙНЫХ ЛИНИЯХ ЗАКАРПАТЬЯ23

ЭКОЛОГИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

Н. Н. БЕЛЯЕВ, В. А. КОЗАЧИНА

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ РАБОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ОТСТОЙНИКОВ34

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Ю. С. БАРАШ, К. В. КРАВЧЕНКО, М. Ф. ЗЕНЧУК

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИНФРАСТРУКТУРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ
РАСХОДОВ НА КУРСИРОВАНИЕ ОТДЕЛЬНОГО ПАССАЖИРСКОГО ПОЕЗДА44

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

Ю. Л. БОЛЬШАКОВ, А. В. АНТОНОВ

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА УГОЛЬНЫХ ТОКОСЪЕМНЫХ ВСТАВОК ТОКОПРИЕМНИКОВ
СКОРОСТНОГО ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ57

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ

А. В. АГАРКОВ, Р. Н. ЙОСИФОВИЧ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В РЕЛЬСАХ ТИПА Р50,
КОТОРЫЕ ЭКСПЛУАТИРУЮТСЯ В МЕТРОПОЛИТЕНЕ71

И. А. БОНДАРЕНКО

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАТИВНОЙ РАБОТЫ
ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ.....87

Д. Н. КУРГАН

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ НА ОСНОВЕ ЭНТРОПИИ СИСТЕМЫ.....99

М. П. НАСТЕЧИК, Р. В. МАРКУЛЬ, В. В. САВИЦКИЙ

ВЛИЯНИЕ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ СКРЕПЛЕНИЯ ТИПА КПП- 5
НА ВЕЛИЧИНУ СИЛЫ ПРИЖАТИЯ РЕЛЬСА К ПОДРЕЛЬСОВОМУ ОСНОВАНИЮ110

А. М. ПАТЛАСОВ, С. А. ТОКАРЕВ

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ
ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НЕРОВНОСТЕЙ В ПЛАНЕ121

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Ю. П. ГУЛЬ, А. В. ИВЧЕНКО, П. В. КОНДРАТЕНКО, Г. И. ПЕРЧУН

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПЛЕКСА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ,
ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ГОТОВЫХ БОЛТОВ И ОБТОЧЕННЫХ ОБРАЗЦОВ.....132

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТА И ЭКОНОМИКИ

Н. В. ХАЛИПОВА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ
МЕЖДУНАРОДНЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ142

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ТЯГА ПОЕЗДОВ

Л. Н. БОНДАРЕНКО, С. А. ЯКОВЛЕВ, И. Е. КРАМАР, А. И. ШАПТАЛА

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГАСИТЕЛЕЙ КОЛЕБАНИЙ ТРЕНИЕМ КАЧЕНИЯ153

Н. Е. НАУМЕНКО, И. Ю. ХИЖА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭКИПАЖЕЙ

ПАССАЖИРСКОГО ПОЕЗДА, ОБОРУДОВАННОГО СИСТЕМОЙ

ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, ПРИ АВАРИЙНОМ СТОЛКНОВЕНИИ С ПРЕПЯТСТВИЕМ.....163

А. А. ШВЕЦ, К. И. ЖЕЛЕЗНОВ, А. С. АКУЛОВ, А. Н. ЗАБОЛОТНЫЙ, Е. В. ЧАБАНИЮК

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОЖНИХ ВАГОНОВ

ОТ ВЫЖИМАНИЯ ИХ ПРОДОЛЬНЫМИ СИЛАМИ В ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДАХ.....175

ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

К. К. МИРОШНИЧЕНКО

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СМЕСИТЕЛЕЙ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ190

В. Д. ПЕТРЕНКО, И. О. СВЯТКО

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАСЫПИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА СЛАБОМ ОСНОВАНИИ198

А. В. РАДКЕВИЧ, К. Н. НЕТЕСА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АСПЕКТОВ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ

ФАСАДНЫХ СИСТЕМ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ EUROCODE.....205

РАЗВИТИЕ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

А. А. КОСОЛАПОВ

ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБЩЕСТВА: ФИЛОСОФСКО-АНТРОПОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ.....213

CONTENTS

SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS

T. O. KOLESNYKOVA, O. V. MATVEYEVA

PERFORMANCE ASSESMENT OF THE RESEARCH: BIBLIOMETRICS7

V. G. KUZNETSOV, P. O. PSHINKO, I. V. KLIMENKO, A. V. GUMENYUK, S. M. ZAHORULKO

PERSPECTIVES OF UKRAINIAN RAILWAY TOURISM DEVELOPMENT
ON NARROW-GAUGE LINES OF ZAKARPATTIA23

TRANSPORT ECOLOGY

M. M. BILIAIEV, V. A. KOZACHYNA

NUMERICAL DETERMINATION OF HORIZONTAL SETTLERS PERFORMANCE34

ECONOMICS AND MANAGEMENT

YU. S. BARASH, KH. V. KRAVCHENKO, M. F. ZIANCHUK

METHODICAL APPROACH TO DEFINING INFRASTRUCTURE COMPONENT
OF THE COSTS FOR THE PARTICULAR PASSENGER TRAIN TRAFFIC44

ELECTRIC TRANSPORT

Y. L. BOLSHAKOV, A. V. ANTONOV

INCREASE THE RESOURCE OF CURRENT COLLECTOR ELEMENTS OF THE ELECTRIFIED
HIGH-SPEED TRANSPORT IN OPERATING CONDITIONS57

RAILWAY TRACK

O. V. AGARKOV, R. M. YOSUFOVUCH

DETERMINATION OF CONTACT STRESSES IN THE RAILS P50,
WHICH ARE OPERATED IN THE METRO71

I. O. BONDARENKO

FEATURES OF THE RESEARCH WORK ELEMENTS DEFORMABILITY OF RAILWAY TRACK87

D. M. KURHAN

ACCUMULATED DEFORMATION MODELING
OF PERMANENT WAY BASED ON ENTROPY SYSTEM99

N. P. NASTECHIK, R.V. MARCUL, V. V. SAVYTSKYI

ELASTIC DEFORMATIONS IMPACT IN ELEMENTS OF THE RAIL FASTENING,
TYPE КПП-5 ON A SIZE OF PRESSING FORCE OF THE RAIL TO THE SUBRAIL BASIS110

O. M. PATLASOV, S. O. TOKARIEV

THE MEASUREMENT METHODOLOGY IMPROVEMENT
OF THE HORIZONTAL IRREGULARITIES IN PLAN121

MATERIAL SCIENCE

Y. P. GUL, A. V. IVCHENKO, P. V. KONDRATENKO, G. I. PERCHUN

COMPARATIVE ANALYSIS OF COMPLEX MECHANICAL
PROPERTIES OBTAINED IN TESTS ON FINISHED BOLTS AND TURNED SAMPLES132

TRANSPORT AND ECONOMIC TASKS MODELING

N. V. KHALIPOVA

INTERNATIONAL LOGISTICS SYSTEMS DESIGN
AND EFFECTIVENESS EVALUATION142

ROLLING STOCK AND TRAIN TRACTION

L. M. BONDARENKO, S. A. YAKOVLEV, I. E. KRAMAR, A. I. SHAPTALA

THE THEORETICAL FOUNDATIONS OF VIBRATION DAMPERS BY ROLLING FRICTION153

N. YE. NAUMENKO, I. YU. KHYZHA

MODELING OF INTERACTION OF THE PASSENGER TRAIN VEHICLES,
EQUIPPED BY PASSIVE SAFETY, AT ACCIDENTAL COLLISION WITH OBSTACLE163

A. O. SHVETS, K. I. ZHELIEZNOV, A. S. AKULOV, O. M. ZABOLOTNYI, E. V. CHABANIUK SOME ASPECTS OF THE DEFINITION OF EMPTY CARS STABILITY FROM SQUEEZING THEIR LONGITUDINAL FORCES IN THE FREIGHT TRAIN.....	175
--	-----

TRANSPORT CONSTRUCTION

K. K. MIROSHNYCHENKO USING THE GEOMETRIC SIMULATION AT PLANNING OF MIXERS OF TELESCOPIC CONSTRUCTION.....	190
--	-----

V. D. PETRENKO, I. O. SVIATKO SIMULATION OF SUBGRADE EMBANKMENT ON WEAK BASE.....	198
---	-----

A. V. RADKEYCH, K. M. NETESA ASPECTS DEFINITION OF RELIABILITY EVALUATION FACADE SYSTEMS FROM THE VIEW POINT OF EUROCODE.....	205
--	-----

HIGH SCHOOL DEVELOPMENT

A. A. KOSOLAPOV INFORMATIZATION: PHILOSOPHICAL AND ANTHROPOLOGICAL PROBLEMS.....	213
--	-----

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

До публікації в журналі приймаються статті українською, російською або англійською мовами проблемного, узагальнюючого, методичного характеру, оригінальні наукові, практичні дослідження, які раніше ніде не видавалися.

Матеріали необхідно надавати в друкованому та електронному вигляді у програмі Microsoft Word 2003 або більш ранній версії – файли *.doc (файли *.docx, *.docm не приймаються). Для набору формул використовується MathType 5.

Наукова стаття повинна відповідати вимогам п. 3 Постанови ВАК України № 7-05/1 від 15.01.2003 року.

Матеріали рецензуються членами редакційної колегії журналу та сторонніми незалежними експертами, виходячи з принципу об'єктивності та з позицій вищих міжнародних академічних стандартів якості, та редагуються. Редакція залишає за собою право на стилістичну правку рукопису.

Вимоги щодо обсягу наукових статей, повідомлень, відгуків та рецензій:

- оглядові та проблемні статті – до 45 000 знаків з пробілами (7–10 с.);
- загальні статті за рубриками видання – до 30 000 знаків з пробілами (5–7 с.);
- наукове повідомлення – до 8 000 знаків з пробілами (до 2,5 с.);
- відгук або рецензія – до 6 000 знаків з пробілами (до 2 с.).

Матеріал надається у форматі А4, враховуючи таблиці, ілюстрації, список використаних джерел. Статті, більші за обсягом, можуть бути прийняті до розгляду на підставі рішення редколегії.

Увага! Згідно з міжнародними стандартами якості наукових публікацій необхідним є наявність авторських розширених і структурованих резюме (рефератів – abstracts), у т.ч. англійською мовою, рецензій, пристатейних списків літератури в романському алфавіті тощо.

Рекомендуємо скористатися правилами до оформлення статей журналу: <http://library.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 3х4.

АСПІРАНТУРА

№	Спеціальність	Шифр
1	Фізика твердого тіла	01.04.07
2	Теоретичні основи інформатики та кібернетики	01.05.01
3	Математичне моделювання та обчислювальні методи	01.05.02
4	Неорганічна хімія	02.00.01
5	Управління проектами і програмами	05.13.22
6	Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика	05.14.06
7	Залізнична колія	05.22.06
8	Рухомий склад залізниць і тяга поїздів	05.22.07
9	Електротранспорт	05.22.09
10	Експлуатація та ремонт засобів транспорту	05.22.20
11	Основи і фундаменти	05.23.02
12	Будівельні конструкції, будівлі та споруди	05.23.01
13	Будівельні матеріали та вироби	05.23.05
14	Технологія та організація промислового та цивільного будівництва	05.23.08
15	Економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності)	08.00.04
16	Історія філософії	09.00.05
17	Екологічна безпека	21.06.01

На підставі угод, що укладаються з аспірантом і керівником вищого навчального закладу, до аспірантури приймаються громадяни України, які мають вищу освіту і кваліфікацію спеціаліста.

Строк навчання в аспірантурі з відривом від виробництва – 3 роки, без відриву від виробництва – 4 роки.

Особи, допущені до вступних іспитів у аспірантуру, складають три іспити за програмою вищого навчального закладу:

- спеціальну дисципліну,
- філософію,
- іноземну мову.

За консультаціями звертатися на відповідні кафедри університету.

Особи, що вступають до аспірантури, подають:

- заяву на ім'я ректора,
- письмовий висновок передбачуваного наукового керівника про можливість навчання в аспірантурі,
- рекомендацію вченої ради вищого навчального закладу до вступу в аспірантуру (для випускників поточного року),
- копію першої сторінки паспорта,
- особистий листок з обліку кадрів з фотокарткою, який засвідчено відділом кадрів за місцем основної роботи,
- витяг з трудової книжки,
- довідку про заробітну платню,
- засвідчену копію диплома про закінчення вищого навчального закладу,
- посвідчення про складання кандидатських іспитів (за їх наявності),
- список опублікованих наукових праць та винаходів або реферат з обраної наукової спеціальності з рецензією передбачуваного наукового керівника,
- медичну довідку про стан здоров'я за формою № 286-у,
- ідентифікаційний код,
- одну фотокартку розміром 3×4.

Прийом документів до докторантури та аспірантури з 01.09 по 30.09 щорічно.

Вступні іспити до аспірантури з 10.10 по 30.10 щорічно.

Початок занять з 01.12 щорічно.

За інформацією звертатися:

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту,
вул. Лазаряна, 2,
м. Дніпропетровськ,
Україна,
49010.

Тел. : (056) 373-15-44 – ректор, проф. Пшінько Олександр Миколайович, приймальня;
(056) 373-15-29 – проректор з наукової роботи, проф. Мямлін Сергій Віталійович;
(056) 373-15-63 – завідувача аспірантурою та докторантурою Лахнова Ірина Анатоліївна,
(кімн. 320).

Інформація про спеціалізовані вчені ради університету

В університеті працює три спеціалізовані вчені ради із захисту докторських та кандидатських дисертацій за спеціальностями:

- Д 08.820.01 – залізнична колія (05.22.06) та електротранспорт (05.22.09); 05.22.12 – промисловий транспорт.
- Д08.820.02 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів (05.22.07) і експлуатація та ремонт засобів транспорту (05.22.20); транспортні системи (05.22.01);
- К08.820.03 – економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності).

Для нотаток

.

Наукове видання

**НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ.
ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА
№ 4 (58) 2015**

(українською, російською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск – А. І. Миргородська
Комп'ютерне верстання – Л. А. Кобулія
Літературна обробка – О. М. Врублевська

Формат 60×84¹/₄. Ум. друк. арк. 26,97. Тираж 300 пр. Зам. № 596.

**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.dnupetrovsk.ua, visnik@dnupetrovsk.ua

Адреса ділянки 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)
№ 4 (58) 2015**

(на украинском, русском и английском языках)

Ответственный за выпуск – А. И. Миргородская
Компьютерная верстка – Л. А. Кобулия
Литературная обработка – О. М. Врублевская

Формат 60×84¹/₄. Ус. печат. лист. 26,97. Тираж 300 экз. Зак. № 596.

**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.dnupetrovsk.ua, visnik@dnupetrovsk.ua

Адрес участка оперативной полиграфии:

ул. Лазаряна, 2, ком. 1201, г. Днепропетровск, 49010, Украина

Тел.: +38 (056) 47-19-66, факс: +38 (056) 47-19-83



Scientific Edition

**NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU. VISNIK DNIPROPETROVS'KOGO NACIONAL'NOGO
UNIVERSITETU ZALIZNICHNOGO TRANSPORTU**

**(SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS. BULLETIN OF DNIPROPETROVSK NATIONAL
UNIVERSITY OF RAILWAY TRANSPORT NAMED AFTER ACADEMICIAN V. LAZARYAN)
No. 4 (58) 2015**

(in Ukrainian, Russian and English languages)

Responsible for issue – A. I. Myrhorodska
Computer makeup – L. A. Kobuliya
Redaction – O. M. Vrublevska

Format 60×84¹/₄. Conventional printed sheet 26,97. Circulation 300. Order no. 596.

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.dnupetrovsk.ua, visnik@dnupetrovsk.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



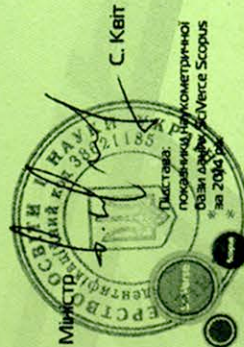
СУЧАСНІ ЗАКЛАДИ ОСВІТИ - 2015
Шоста Міжнародна виставка

CERTIFICATE

якості наукових публікацій
УДОСТОЄНИЙ

**Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна**

Міністерство освіти і науки України



С. Кейт

Національна академія
педагогічних наук України

Президент



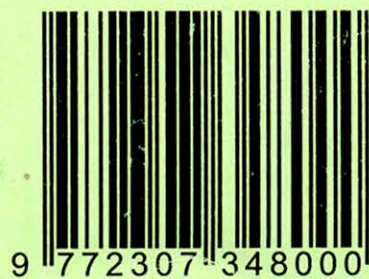
В. Кремень

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. 4(58). 1-232