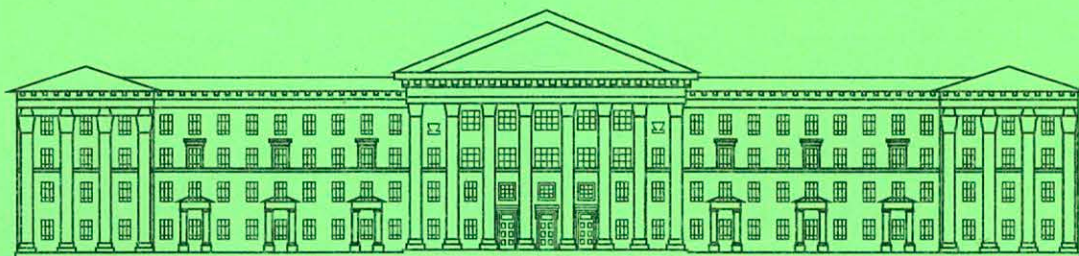




ISSN 2307-3489 (Print)
ISSN 2307-6666 (Online)



НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

3(63)

•• 2016 ••

*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

№ 3 (63) 2016

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
Інформаційно-комунікаційні технології та математичне моделювання
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

2016

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., Вакулєнко І. О., Власова Т. І., Волкова В. Є., Габринєць В. О., Гаврилук В. І., Гетьман Г. К., Главацький К. Ц., Гненний О. М., Головкова Л. С., Гончаров К. В., Горобець В. Л., Доценко О. М., Дудкіна В. В., Ейтутіс Г. Д., Жуковицький І. В., Заблудовський В. О., Казакевич М. І., Капіца М. І., Копитко В. І., Костін М. О., Кравець В. В., Краснюк А. В., Кривчик Г. Г., Кузнецов В. Г., Курган М. Б., Муха А. М., Мухіна Н. А., Настечик М. П., Нетеса М. І., Оковитий С. І., Очкасов О. Б., Петренко В. Д., Пічугов С. О., Пічурін В. В., Полішко Т. В., Радкевич А. В., Радченко М. О., Ракша С. В., Скалозуб В. В., Сніжко Л. О., Урсуляк Л. В., Штапенко Е. П., Яришкіна Л. О.

ІНОЗЕМНІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Анісімов П. С. (Московський державний університет шляхів сполучення, Російська Федерація); Бялонь А. (Інститут залізничного транспорту, Варшава, Республіка Польща); Вайчунас Г. (Вільнюський технічний університет ім. Гедімінаса, Литва); Васяк І. (Інститут електроенергетики Лодзинської політехніки, Республіка Польща); Гусєв Б. В. (Московський державний університет шляхів сполучення, Російська Федерація); Долежел І. (Університет Західної Богемії, Чеська Республіка); Зіммер К. (Інститут Електротехніки Варшавської політехніки, Республіка Польща); Куанишев Б. М. (Казахська академія транспорту і комунікацій, Республіка Казахстан); Лінгайтис В. Л. (Вільнюський технічний університет ім. Гедімінаса, Литва); Манашкін Л. А. («ALGAE ENERGY SOLUTION, LLC», США); Сладковські А. (Сілезька політехніка, Республіка Польща); 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 КВ № 19609-9409ПР від 29.12.2012 р.
Видання внесено до Переліку наукових фахових видань України наказом Міністерства освіти і науки України 29.12.2014 р. № 1528 (технічні науки).
Журнал зареєстровано: в міжнародних каталогах періодичних видань Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat; наукометричних системах Google Scholar, Global Impact Factor, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI.
Друкується за рішенням вченої ради університету від 25.04.2016 р., протокол № 9

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

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

Видання публікується з 1936 р.:

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

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА

ВЕСТНИК ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА В. ЛАЗАРЯНА

Научный журнал

№ 3 (63) 2016

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
Информационно-коммуникационные технологии и математическое моделирование
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

2016

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., Бобыр Д. В., Бобровский В. И., Боднар Б. Е., Босов А. А., Вакуленко И. А., Власова Т. И., Волкова В. Е., Габринцев В. А., Гаврилюк В. И., Гетьман Г. К., Главацкий К. Ц., Гненный О. Н., Головова Л. С., Гончаров К. В., Горобец В. Л., Доценко Е. Н., Дудкина В. В., Жуковичский И. В., Заблудовский В. А., Казакевич М. И., Капица М. И., Копытко В. И., Костин Н. А., Кравец В. В., Краснюк А. В., Кривчик Г. Г., Кузнецов В. Г., Курган Н. Б., Муха А. М., Мухина Н. А., Настечик М. П., Нетеса Н. И., Оковитый С. И., Очкасов А. Б., Петренко В. Д., Пичугов С. А., Пичурин В. В., Полишко Т. В., Радкевич А. В., Радченко Н. А., Ракша С. В., Скалозуб В. В., Снежко Л. А., Урсуляк Л. В., Штапенко Э. Ф., Эйтулис Г. Д., Яришкина Л. А.

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Анисимов П. С. (Московский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация); Бялонь А. (Институт железнодорожного транспорта, Варшава, Республика Польша); Вайчунас Г. (Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литва); Васяк И. (Институт электроэнергетики Лодзинской политехники, Республика Польша); Гусев Б. В. (Московский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация); Долежел И. (Университет Западной Богемии, Чешская Республика); Зиммер К. (Институт Электротехники Варшавской политехники, Республика Польша); Куанышев Б. М. (Казахская академия транспорта и коммуникаций, Республика Казахстан); Лингайтис В. Л. (Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литва); Манашкин Л. А. («ALGAE ENERGY SOLUTION, LLC», США); Сладковски А. (Силезская политехника, Республика Польша); Стржеleckи 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 25.04.2016 г., протокол № 9

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. 3 (63) 2016

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
Information and Communication Technologies and Mathematical Modeling
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

2016

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., Zhukovytzky I. V.

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

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

Journal was registered by the State Registration Service of the Ministry of Justice of Ukraine.
 Certificate of Registration KB no.19609-9409PR from 29.12.2012
 Edition is included in the list of scientific professional publications of Ukraine by the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine 29.12.2014 r. no. 1528 (technical sciences).
 Journal is registered: in the International Catalogue of periodicals Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat; research and metric systems Google Scholar, Global Impact Factor, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI.
 Published according to the Academic Council decision of the University from 25.04.2016, Protocol no. 9

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 629.45.048.3:[001.891:027.7]

Т. О. КОЛЕСНИКОВА^{1*}, О. В. ПОМІНОВА^{2*}, С. Р. КОЛЕСНИКОВ^{3*}

^{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.dit.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 (067) 996 50 93, ел. пошта olga_vp9@mail.ru, ORCID 0000-0002-5537-6617

^{3*}Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 19, ел. пошта blaze777@inbox.ru. ORCID 0000-0002-0487-9257

РОЗВИТОК НАПРЯМУ «КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ» НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ: НАУКОМЕТРИЧНИЙ АСПЕКТ

Мета. Дослідження спрямовано на отримання нових знань про розвиток напрямку «кондиціювання повітря» на залізничному транспорті з використанням продуктів і сервісів наукометричної бази даних Web of Science (WoS). Хронологічні рамки досліджуваних наукових статей – 2010–2015 рр. **Методика.** Для отримання релевантних емпіричних даних авторами проведений огляд світової літератури по темі роботи з використанням повнотекстових і реферативних баз даних. Розглянуто алгоритм «покрокових» дій у WoS щодо: 1) формування «ядра» публікацій; 2) окреслення найбільш «топових» тем; 3) виявлення найбільш інтелектуально продуктивних авторів; 4) визначення рівня представництва в WoS тематичних публікацій українських вчених; 5) наявності колаборацій вчених різних країн із досліджуваної теми. **Результати.** Авторами доведено: 1) топ-темами напрямку «кондиціювання повітря» на залізничному транспорті є: клімат-комфорт, енергоефективність, термо-комфорт; 2) українські вчені ще не залучились до світових процесів обміну тематичною науковою інформацією; 3) найбільш інтелектуально продуктивними авторами наукових статей є вчені Китаю; 4) міжнародні колаборації вчених із досліджуваної теми відсутні. **Наукова новизна.** Авторами вперше було проведено наукометричне дослідження в галузі залізничного транспорту (предметний напрямок «кондиціювання повітря») на основі продуктів і сервісів глобальної бази цитування WoS. **Практична значимість.** На основі отриманих результатів можливо як корегувати особисті дослідницькі розвідки окремих вчених чи колективів науковців, так і прогнозувати подальші перспективи розвитку предметного напрямку «air conditioning» на залізничному транспорті. Дані дослідження також можуть бути корисними при вивченні дисципліни «Система наукової інформації та наукометрія», організації науково-практичних семінарів, курсів підвищення кваліфікації тощо.

Ключові слова: кондиціювання повітря; залізничний транспорт; наукові статті; наукометричне дослідження; Web of Science; енергоефективність; клімат-комфорт; термо-комфорт

Вступ

Нова парадигма науки і технологій заохочує до співпраці уряду, університети і промисловість для стимулювання економічного зростання за рахунок інновацій. При цьому швидкий

і легкий доступ до знань та інформації розглядають як ключові компоненти інновацій [23].

Інноваційні науково-технічні розробки на залізничному транспорті є величезним ресурсом для підвищення ефективності залізничного

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

бізнесу, а також запорукою розвитку національної економіки [7]. Але оцінка результативності та ефективності науково-технічної діяльності, прогнозування подальшого перспективного розвитку наукових напрямів повинні спиратися на повну, достовірну та своєчасну інформацію.

Забезпечення комфортності на залізничному транспорті, в тому числі у залізничних транспортних засобах, неможливе без системи кондиціонування повітря. Нові стандарти різних держав встановлюють нові вимоги щодо комфортності клімату й систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря для пасажирського рухомого складу, враховуючи при цьому максимізацію ефективності використання енергії [2]. Так, стандарт «T HR RS 08001 ST Climate Comfort and HVAC on Passenger Rolling Stock. Version 2.0» (2014, New South Wales, Australia), враховуючи глобальні кліматичні зміни (наприклад, підвищення температури і рівня сонячної радіації) та зростання очікувань пасажирів щодо комфортності поїздок залізничним транспортом, встановлює заходи з оцінки продуктивності системи Клімат-комфорт (Climate comfort) [19]. Це стосується: безпеки системи, кліматичного контролю, споживання енергії та ефективності, надійності, доступності тощо.

Численні світові дослідження протягом останніх років свідчать про постійний інтерес вчених до різних аспектів розвитку системи Клімат-комфорт на залізничному транспорті, у тому числі в області кондиціонування повітря [2, 9, 10, 12, 14, 16–19]. Так, Google Scholar – безкоштовна пошукова система за повними текстами наукових публікацій з усіх галузей знань, видає результатом пошуку за словом «rail*», уточненням за ключовим словом «air conditioning» та хронологічними рамками – 2010–2015 рр. приблизно 17 400 документів (на 01.05.2016 р.). При цьому стратегічно важливому аспекту з цього масиву документів – «energy efficiency» – присвячено приблизно 7 100.

Як відомо, алгоритм виконання будь-якого дослідження передбачає аналіз документів, що відповідають тематиці досліджуваної проблеми, але були вже розглянуті раніше вченими з різних країн світу. Дослідники відбирають найбільш значимі першоджерела, які можуть мати вирішальне значення для ефективного

розв’язання завдань. Саме на цьому етапі, як правило, формується також певний перелік світових наукових журналів, в яких вчений планує розмістити авторську публікацію, що буде відображати результати його дослідження.

На етапі формування огляду світових наукових досягнень із певної проблеми мільйони дослідників звертаються до наукометричних баз даних Web of Science (WoS) та Scopus. Ресурси та сервіси цих глобальних баз цитування дозволяють визначати: 1) відносну цінність публікацій; 2) індекс впливу журналів; 3) відносний вклад авторів й організацій в розвиток науки; 4) і головне – виокремити тенденції та нові напрями в розвитку предметних областей науки [1].

В той же час вчені, розглядаючи можливі варіанти майбутнього для науки і техніки у все більш глобалізованому й нестабільному світі, стверджують, що інтелектуальний обмін і співробітництво поза межами дисциплінарних і географічних кордонів для отримання знань і людських ресурсів буде найважливішим завданням [23]. Японські вчені, виконуючи наукометричні дослідження з використанням статей в наукових журналах, патентів на винаходи і технології довели, що міжнаціональні публікації, як правило, більш широко розглядаються в наукових спільнотах і цитуються більш часто в наукових журналах, ніж ті, які написані тільки вітчизняними авторами [там же].

Так, наукометричне дослідження щодо розвитку світової науково-дослідної діяльності в напрямку сталого розвитку (у тому числі енергетики та транспорту), засноване на бібліометричному аналізі наукової літератури, виконувалося з використанням інформації бази даних Scopus за період 2000–2010 рр. [13]. Групою вчених з університетів Пакистану, Таїланду та Китаю вивчався дослідницький ландшафт на рівнях країн світу та інституцій за певними ключовими словами.

На жаль для більшості українських вчених робота з WoS та Scopus і досі залишається проблематичною як із фінансових причин (лише незначна частина ВНЗ України спроможна оплатити доступи до цих комерційних систем), так і з причин слабкої обізнаності та відсутності навиків користування різноманітними ресурсами / сервісами.

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

Сьогодні у вітчизняній науковій літературі ще не вистачає опублікованих результатів наукових досліджень з бібліо- та наукометрії, відпрацьованих й описаних методик дій в цих напрямках [5, 15].

У галузі залізничного транспорту вперше в Україні дослідження щодо вимірювання результативності наукових досліджень на основі даних Scopus і ScienceDirect (Elsevier) було виконано в 2015 р. Т. Колесниковою та О. Матвеєвою, вченими Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна [5]. Було 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.

Сьогодні в університетах та наукових установах України створюються нові концепції розвитку наукових періодичних видань, орієнтовані на міжнародні видавничі та етичні стандарти, а також необхідність інтеграції результатів наукових досліджень до світового наукового інфопростору [3, 6, 8].

Безумовно, що вітчизняні практики дослідження потоків наукових документів, у т.ч. із різних предметних областей залізничного транспорту, необхідно терміново розширювати.

Мета

Враховуючи вищезгадане, автори мають за мету отримання нових знань про розвиток наукового напрямку «air conditioning» (кондиціювання повітря) на залізничному транспорті, в т.ч. у залізничних транспортних засобах, із використанням продуктів і сервісів наукометричної бази даних Web of Science. Хронологічні рамки досліджуваних наукових статей – 2010–2015 рр.

Завдання дослідження спрямовані на розгляд алгоритму «покрокових» дій у WoS щодо: 1) формування «ядра» наукових статей; 2) окреслення найбільш «топових» тем; 3) виявлення найбільш інтелектуально продуктивних авторів публікацій; 4) визначення рівня представництва в WoS тематичних статей українських вчених; 5) наявності колаборації вчених різних країн із досліджуваної теми.

Методика

Для отримання релевантних емпіричних даних авторами виконано огляд світової літератури з теми дослідження із використанням повнотекстових і реферативних баз даних. Таким чином, теоретичною базою дослідження стали наукові статті (2010–2015 рр.), що висвітлюють: 1) питання кондиціювання повітря на залізничному транспорті, в тому числі в залізничних транспортних засобах; 2) досвід проведення наукометричних досліджень про розвиток окремих аспектів світової науково-дослідницької діяльності в напрямку залізничного транспорту.

Практична частина дослідження виконувалась за допомогою пошукової платформи Web of Science [21] (база даних Web of Science Core Collection, аналітичні інструменти, бібліографічна утиліта EndNote та ін.).

Із точки зору авторів, сьогоднішня політика Міністерства освіти і науки України не визначається чіткістю щодо оцінки результатів наукової діяльності. Так, наприклад, численні звіти орієнтують вчених на «гонку» за показниками, а не на наукові результати світового рівня. Незважаючи на спрямованість цієї роботи на виконання наукометричного аналізу з використанням бібліометричних методів, для авторів аксіомою є те, що потужним інформаційним інструментом підтримки розвитку науки є не тільки кількісні показники результативності наукових досліджень, а й якісний зміст, уможливлений науковим рецензуванням [5, 11, 22].

Аналіз літератури. Аналіз контенту світових наукових публікацій за темою «air conditioning» (кондиціювання повітря) на залізничному транспорті, у тому числі в залізничних транспортних засобах, дозволяє припустити, що для дослідників цікавими є питання: енергоефективності, кондиціювання як елементу клімат-комфورتу, зміни теплового навантаження у взаємозв'язку з навколишнім середовищем (температурою, вологістю, сонячною радіацією) тощо.

Так, наприклад, в 2006 р. споживання енергії системою кондиціювання повітря становило 60–70 % від загального споживання електроенергії в поїзді [18]. Намагаючись знизити ці показники, вчені різних країн досліджують числові аспекти взаємозв'язку «система Клімат-контроль – енергоефективність».

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

Обговорення можливості зниження затрат електричної енергії, що потрібна для пасажирських систем вентиляції та кондиціювання в періоди пікових тягових потреб, подано в матеріалах конференції American Society of Mechanical Engineers (ASME, 2015) [12]. Виконане дослідження показало, що запропонована вченими стратегія відключення навантаження може бути реалізована без негативного впливу на загальногалузеві стандарти комфорту пасажирів і виключення капітальних та експлуатаційних затрат, пов'язаних із головним силовим блоком (head-end power – HEP) поїзда.

Визначення теплового навантаження і розуміння його змін мають вирішальне значення для ефективного проектування транспортної системи кондиціювання повітря. В роботі [17] зміна теплового навантаження в купе вагона метро або залізничного вагона досліджена чисельно: стан навколишнього середовища, стан всередині, швидкість пересування транспортного засобу, об'єм свіжого повітря, сонячний час і кількість пасажирів беруться до уваги як ключові фактори для числового моделювання і аналізу системи кондиціювання повітря.

Наукові розвідки відбуваються також в напрямку дослідження залежності зниження енергетичного навантаження на системи кондиціювання повітря із теплоізоляційними характеристиками матеріалів, що використовувались при створенні вагонів високошвидкісного поїзда [10].

Розробка нових і удосконалення існуючих конструкцій кондиціонерів для рейкових транспортних засобів знаходяться в центрі уваги дослідників світу. Так, на основі методів і стандартів, що стосуються як внутрішнього, так і зовнішнього повітря, було розроблено випробувальний стенд і протестовано продуктивність нового блоку кондиціювання повітря [16]. Дослідниками доведено, що нова конструкція кондиціонера може заощадити 50–60 % споживання енергії.

Для пошуку публікацій українських вчених щодо кондиціювання повітря в залізничних транспортних засобах або спорудах (метро, вокзалах та ін.) за період 2010–2015 рр. авторами було використано пошукові ресурси – репозитарій НБУВ «Наукова періодика України» та система сайтів на УРАН «Наукова періодика

України». На жаль, наукові статті українських вчених у цих системах за даний період представлено лише одним автором – I.Yu. Khomenko (І.Ю. Хоменко) [9, 14].

Слід відмітити, що дослідження Т.О. Колесникової (2013 р.) [4] підтвердило актуальність для української науки проблеми недостатньої репрезентативності публікацій вчених, у тому числі – транспортників, у міжнародних індексах цитування. Виконаний аналіз довів неготовність більшості наукових періодичних видань України із залізничного транспорту до процедури реєстрації в міжнародних наукометричних системах, а також слабкий рівень представництва статей та авторів залізничних ВНЗ України в БД Scopus.

Вчені різних країн світу, вимірюючи результативність наукових досліджень, вивчають різні аспекти розвитку залізничного транспорту.

Так, наукометричний підхід у поєднанні з візуалізацією щільності зрівняння відображень було використано вченими університетів Німеччини для аналізу опублікованих даних, що стосуються галузі транспортної медицини в період з 1900 по 2008 рр. за даними WoS [20].

Наукометричне дослідження стану патентної діяльності з технологій контролю за скороченням вібрацій у високошвидкісних системах залізничного транспорту в Китаї проводилось університетськими вченими за методикою трикрокової стратегії пошуку даних та виокремлення патентного «ядра» [24]. Першим кроком у стратегії пошуку був відбір даних, які у назві патенту або його рефераті мали ключові слова «rail*», «vibration» та «reduction/attenuation/control/damping». За допомогою подальшого бібліометричного аналізу було сформоване «ядро» зі 193 патентів (отриманих до 2011 р.), на основі яких зроблена оцінка розвитку напрямку, виявлені найбільш інтелектуально активні установи та заявники тощо.

Використання продуктів і сервісів Web of Science. Для відповіді на питання, які ж ключові публікації (2010–2015 рр.) формують науковий предметний напрямок «air conditioning» на залізничному транспорті та визначають його перспективний розвиток, скористаємося, в першу чергу, пошуковими та аналітичними сервісами WoS. Комфортність роботи з цією системою для науковців більшості країн східної Єв-

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ропи підвищується завдяки створенню російського інтерфейсу (український інтерфейс поки що відсутній). В той же час, у WoS, незважаючи на російський інтерфейс, усі запити виконуються англійською мовою.

Наведемо покрокові дії.

Крок 1. Починаємо роботу з базою цитування WoS із переходу до ресурсів колекції «Web of Science Core Collection» та обмеженням хронологічних рамок (2010-2015 pp.). Оскільки нам потрібні наукові статті залізничної галузі, то в уточненні «ТЕМА» прописуємо ключове слово «rail*» (позначку *— ставимо для розширення можливих варіантів пошуку). Уточнення «ТЕМА» має на увазі використання цього слова в ключових словах, назві та анотації документа (рис. 1). В результаті цього пошуку знайдено 21 566 документів.

Крок 2. Для конкретизації даних пошуку виберемо додаткове уточнення результатів: в підполі «тип документа» – «articles» та отримуємо зменшення кількості публікацій майже вдвічі (13 663 док.).

Крок 3. Далі в підполі «направления исследования» вводимо «engineering» та конкретизуємо пошук ключовим словом «air conditioning» (рис. 2). В результаті аналізу інформації нами отримано дані про 19 статей.

Крок 4. Далі проводимо аналітичні розрахунки, використовуючи звіт цитування сервісів WoS (рис. 3 та 4).

Отримуємо кількість опублікованих документів за кожен рік: 2010 р. – 2 ст.; 2011 р. – 4 ст.; 2012 р. – 4 ст.; 2013 р. – 1 ст.; 2014 р. – 3 ст.; 2015 р. – 5 ст. (рис. 3).

Кількість цитувань в кожному році: 2012 р. – 1; 2013 р. – 16; 2014 р. – 26; 2015 р. – 50 (рис. 4). Незважаючи на обмежені хронологічні рамки (2010–2015 pp.), система WoS видає також метадані на 4 статті, що видано на початку 2016 р.

Крок 5. Виокремлюємо найбільш цитовані статті – «ядро», визначаємо афіліацію (за країнами) їх авторів, вказуємо вихідні дані статей та складаємо звіт із цитування (табл. 1).

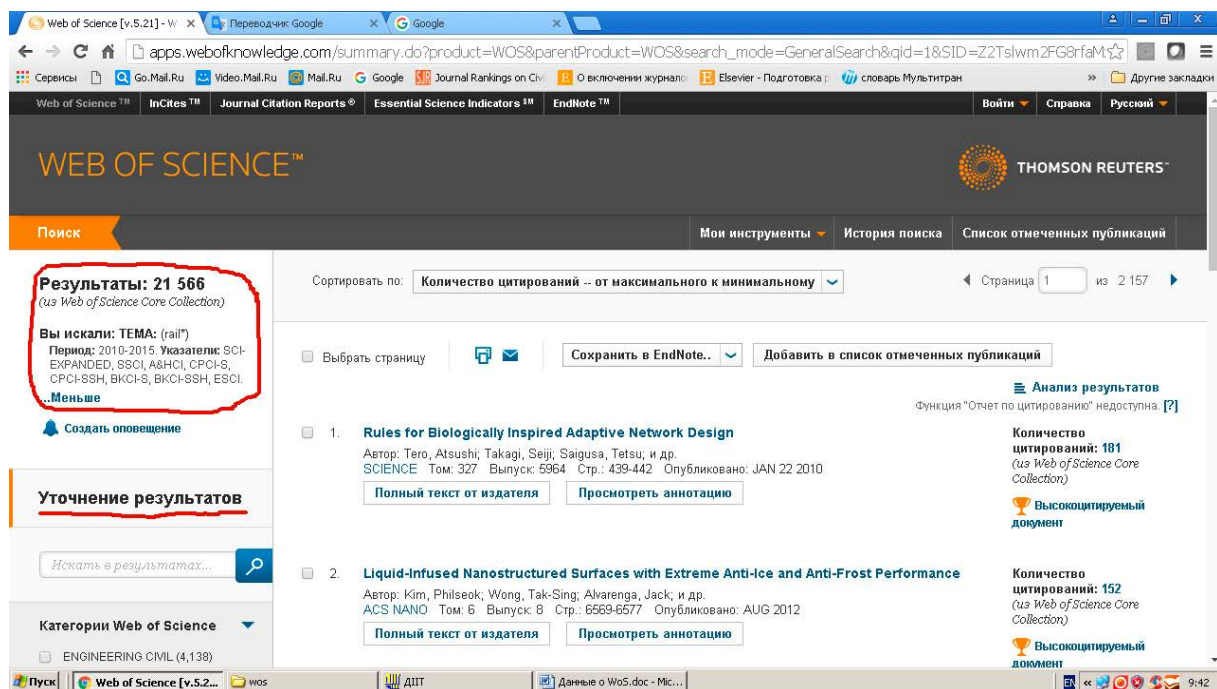


Рис. 1. Результат пошуку у підполі «Web of Science Core Collection», хронологією «з 2010 по 2015» та за ключовим словом «rail*»

Fig. 1. Search result in the subfield «Web of Science Core Collection», chronology «from 2010 till 2015» and by keyword «rail*»

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

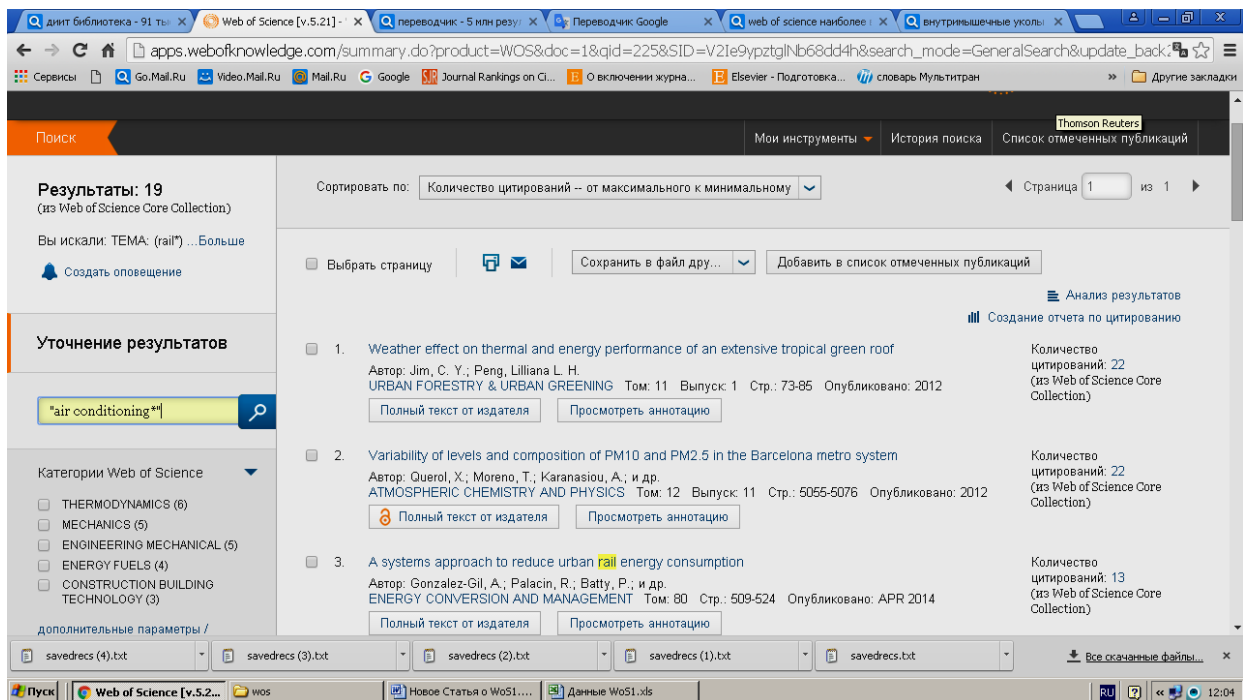


Рис. 2. Результат пошуку в підполі «Web of Science Core Collection»,
хронологією «з 2010 по 2015»,
за ключовим словом «rail*» та уточненням у підполях:
«articles», «engineering», «air conditioning»

Fig. 2. Search result in the subfield «Web of Science Core Collection»,
chronology «from 2010 till 2015»
by keyword «rail*» and detalization in subfields
«articles», «engineering», «air conditioning»

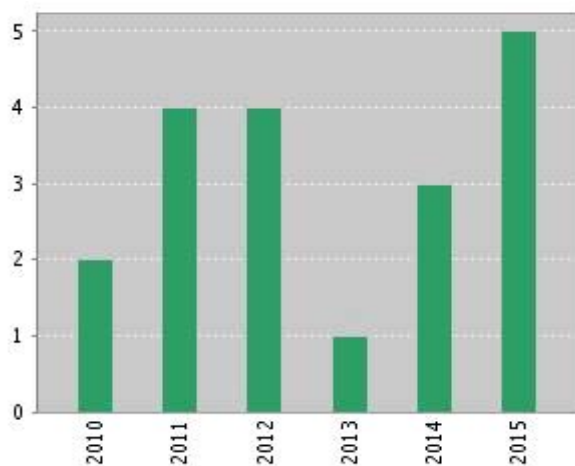


Рис. 3. Опубліковані за кожен рік документи
Fig. 3. Published documents per each year

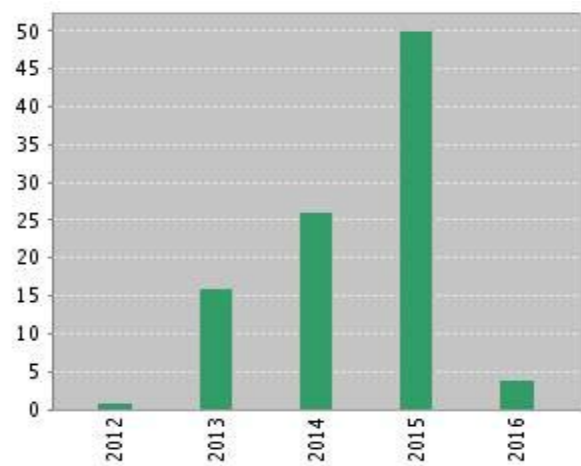


Рис. 4. Кількість цитувань у кожному році
Fig. 4. The number of citations in each year

Таблица 1

**Звіт з цитування: найбільш цитовані публікації
за ключовим словом «air conditioning»**

Table 1

**Citation report: most cited publications
by keyword «air conditioning»**

Автори	Назва статті	Назва журналу, рік та випуск публікації	Усього цитат / Середнє число цитування за рік
Querol, X.; Moreno, T.; Karanasiou, A.	Variability of levels and composition of PM10 and PM2.5 in the Barcelona metro system	ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS, 2012, 12 (11)	22/4,4
Gonzalez-Gil, A.; Palacin, R.; Batty, P.; Powell, J. P.	A systems approach to reduce urban rail energy consumption	ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT, 2014, 80	13/4,3
Chou, Pin-Fenn; Lu, Chin-Shan; Chang, Yu- Hern	Effects of service quality and customer satisfaction on customer loyalty in high-speed rail services in Taiwan	TRANSPORTMETRICA A-TRANSPORT SCIENCE, 2014, 10 (10)	6/2
Martins, Vania; Moreno, Teresa; Cruz Minguillon, M	Exposure to airborne particulate matter in the subway system	SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT, 2015, 511	5/2,5
Li, Wenhua; Sun, Jian	Numerical simulation and analysis of transport air conditioning system integrated with passenger compartment	APPLIED THERMAL ENGINEERING, 2013, 50 (1)	4/1

При цьому дані з афіліції найбільш інтелектуально продуктивних авторів наукових статей за країнами виглядають так, %:

Китай	26,3
Іспанія	10,5
Великобританія	10,5
США	10,5
Японія	10,5
Австрія	10,5

Результати

Контент-аналіз публікацій у напрямку «air conditioning» (кондиціонування повітря) на залізничному транспорті доводить численність до-

сліджуваних аспектів. Вчені вивчають питання енергоефективності, кондиціонування як елементу клімат-комфарту, зміни теплового навантаження у взаємозв'язку з навколишнім середовищем (температурою, вологістю, сонячною радіацією), удосконалення систем кондиціонування тощо.

Звернення до публікацій, що висвітлюють досвід виконання наукометричних досліджень у транспортній галузі, дозволив удосконалити методику роботи з продуктами і сервісами WoS та окреслити коло питань щодо визначення найбільш цитованих публікацій (2010–2015 рр.), які формують науковий предметний напрям «air conditioning» на залізничному транспорті та визначають його перспективний розвиток.

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

Дослідниками було отримано такі результати:

- за зазначеними параметрами знайдено дані про 19 статей, з яких «ядро» складають 5 документів;

- у всіх статтях проблематика кондиціювання на залізничному транспорті, в тому числі залізничних транспортних засобах, розглядається як елемент клімат-комфورتу – «climate comfort» (100 %);

- проблематика «енергоефективність» – «energy efficiency», в тому чи іншому аспекті, висвітлена в 56 % статей;

- питанню «термо-комфорт» – «thermal comfort» на залізничному транспорті, включаючи міський (метро, трамвай, міська електричка та ін.), присвячено 47,3 % публікацій;

- удосконалення конструкцій у транспортних засобах, що пов'язані із кондиціюванням, розглянуто у 26,3 % публікацій;

- найвищі показники середньої кількості цитувань на рік мають статті колективів авторів: X. Querol, T. Moreno, A. Karanasiou «Variability of levels and composition of PM10 and PM2.5 in the Barcelona metro system» (4,4) та A. Gonzalez-Gil, R. Palacin, P. Batty, J.P. Powell «A systems approach to reduce urban rail energy consumption» (4,3);

- найбільш цитовані статті опубліковано в журналах «ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS» та «ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT»;

- найбільш інтелектуально продуктивними авторами наукових статей є вчені Китаю (26,3 %);

- публікації українських вчених із теми дослідження відсутні;

- колаборацій вчених різних країн не виявлено.

Наукова новизна та практична значимість

Авторами цієї роботи на основі продуктів і сервісів наукометричної системи WoS вперше було виконано дослідження в галузі залізничного транспорту (предметний напрямок «air conditioning»). Аналіз метаданих «ядра» наукових статей (2010–2015 рр.) довів, що найбільш цікавими та перспективними («топовими») для подальших дослідницьких розвідок будуть теми, пов'язані з клімат-комфортом, енергоефективністю, термо-комфортом.

Визначено, що українські вчені та наукові колективи, які працюють над питанням кондиціювання повітря на залізничному транспорті, ще не залучились до світових процесів обміну науковою інформацією.

На основі отриманих в результаті дослідження даних можливо як корегувати особисті дослідницькі розвідки окремих вчених чи колективів науковців, так і прогнозувати подальші перспективи розвитку предметного напрямку «air conditioning» на залізничному транспорті. Науково-дослідні структури університетів та академічних установ мають підґрунтя для ефективного управління та планування наукової діяльності.

Результати цього дослідження можуть мати вплив на прийняття оптимального рішення з управління інформаційними ресурсами з метою вдосконалення процесів інформаційного забезпечення та обслуговування, в тому числі оцінки наукового впливу публікацій вчених і наукових журналів університетів (академічних установ). Вони також можуть бути корисними при вивченні дисципліни «Система наукової інформації та наукометрія», організації науково-практичних семінарів, курсів підвищення кваліфікації тощо.

Висновки

Розгляд алгоритму формування масиву наукових статей за період із 2010 по 2015 рр. у напрямку «air conditioning» (кондиціювання повітря) на залізничному транспорті, в тому числі у залізничних транспортних засобах, та виокремлення з них найбільш цитованих за даними глобальної наукометричної бази даних Web of Science, дозволив зробити висновки:

1. Можливість доступів до інформації наукометричних систем є одним із ключових компонентів інновацій. Тому передплата доступів до глобальних наукометричних систем WoS чи Scopus, незважаючи на складні фінансові умови університетів, є надзвичайно важливою як для вчених, так й адміністрації закладів. Робота з ресурсами та сервісами індексів цитування дозволяє вирішувати комплексні проблеми моніторингу, обліку, аналізу, оцінки якості та прогнозувати подальші перспективи розвитку наукової діяльності вчених, наукових колективів, окремих університетів (наукових установ) України та світу в цілому.

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

2. Доведено, що в напрямку кондиціювання повітря на залізничному транспорті найбільш цікавими та перспективними для подальших дослідницьких розвідок будуть теми, пов'язані з клімат-комфортом, енергоефективністю, термо-комфортом.

3. Визначено, що вчені та наукові колективи України, які працюють над різними аспектами кондиціювання повітря на залізничному транспорті, ще не залучились до світових процесів обміну науковою інформацією.

4. Українським вченим необхідно активніше включатися в процеси міжнародної колаборації науковців, бо міжнародні публікації, як правило, більш широко розглядаються науковими спільнотами і цитуються в наукових журналах частіше, ніж написані тільки вітчизняними авторами. Це також стосується міждисциплінарних досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гордукалова, Г. Ф. Индекс цитирования в науке: цели использования, основные разновидности и ограничения / Г. Ф. Гордукалова // Вестн. СПбГУКИ. – 2014. – № 2 (19). – С. 54–57.
2. Колесников, С. Р. Система «Термо-комфорт» як необхідний елемент залізничних транспортних засобів / С. Р. Колесников // Проблеми и перспективы развития ж.-д. транспорта : тез. докл. 76 Междунар. науч.-практ. конф. (19.05–20.05.2016) // Днепрпетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. – Днепрпетровск, 2016. – С. 41–43.
3. Колесникова, Т. А. Издание научной периодики в университетах: новые задачи, участники, технологии / Т. А. Колесникова, И. А. Ключник // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 6 (60). – С. 183–197. doi: 10.15802/stp2015/57105.
4. Колесникова, Т. А. Интеграция украинской отраслевой научной периодики в мировое научно-информационное пространство: проблемы и решения / Т. А. Колесникова // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 6 (48). – С. 7–22. doi: 10.15802/stp2013/19835.
5. Колесникова, Т. А. Оценка результативности научных исследований: библиометрия / Т. А. Колесникова, Е. В. Матвеева // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 4 (58). – С. 7–22. doi: 10.15802/stp2015/49190.
6. Кряжич, О. О. Особливості роботи з авторами – молодими науковцями / О. О. Кряжич // Наука України у світовому інформ. просторі. – Київ, 2015. – Вип. 11. – С. 36–42.
7. Мямлин, С. В. Прогресс транспорта – залог развития национальной экономики / С. В. Мямлин // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 1 (43). – С. 7–12. doi: 10.15802/stp2013/9786.
8. Тихонкова, І. О. Список літератури наукової статті – важливий індикатор якості статті (як не мати зайвого клопоту з його оформленням) / І. О. Тихонкова // Наука України у світовому інформ. просторі. – Київ, 2015. – Вип. 11. – С. 100–106.
9. Хоменко, І. Ю. Використання режиму теплового насоса для опалення плацкартних вагонів, після їх модернізації зі встановленням кондиціонера / І. Ю. Хоменко // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2013. – № 2 (191). – С. 121–124.
10. Calculation of Coach Body Heat Transfer Coefficient for the High-Speed Railway Train in China / S. Shi, H. X. Gao, M. Li, B. Liu // Advanced Materials Research. – 2013. – Vol. 805–806. – P. 562–569. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.805-806.562.
11. Beaver, D. deB. Quantity is only one of the qualities / D. deB. Beaver // Scientometrics. – 2012. – № 93. – P. 33–39. doi 10.1007/s11192-012-0657-1.
12. Feasibility of Load-Shedding to Improve Efficiency and Reduce Energy Consumption on Passenger Locomotives / M. Shurland, D. R. Andersen, A. Prabhakaran, S. P. Singh // Joint Rail Conference : Proc. of the ASME (23.03–26.03.2015), San Jose, California, USA / Mineta Transportat Inst. – New York, 2015. – JRC2015-5710. – P. V001T07A003; 6 p. doi:10.1115/JRC2015-5710.
13. Hassan, S.-U. A bibliometric study of the world's research activity in sustainable development and its sub-areas using scientific literature / S.-U. Hassan, P. Haddawy, J. Zhu // Scientometrics. – 2014. – Vol. 99. – Iss. 2 – P. 549–579. doi: 10.1007/s11192-013-1193-3.
14. Khomenko, I. Yu. Mathematical Modeling of Unsteady Heat Exchange in a Passenger Car / I. Yu. Khomenko // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 6 (48). – С. 147–155. doi: 10.15802/stp2013/19762.
15. Kolesnykova, T. O. The Role of the Ukrainian University Libraries in Increasing Representation of Ukrainian Science into Global Environment of Scientific Communications / T. O. Kolesnykova // Вісн. Одес. нац. ун-ту. Серія: Бібліотекознавство, бібліографознавство, книгознавство. – 2015. – Т. 20, вип. 1 (13). – С. 127–142.
16. Li, K. H. Design of Air Conditioning Unit Performance Test Bench for Rail Vehicles /

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

- K. H. Li, Sh. Chen // *Applied Mechanics and Materials*. – 2015. – Vol. 701–702. – P. 666–674. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.701-702.6-66.
17. Li, W. Numerical simulation and analysis of transport air conditioning system integrated with passenger compartment / W. Li, J. Sun // *Applied Thermal Engineering*. – 2013. – № 50. – P. 37–45. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2012.05.030.
 18. Liu, P. Issues & factors of train air-conditioning system design & Operation [Електронний ресурс] / P. Liu, D. Li // *HVAC Technologies for Energy Efficiency*. – 2006. – Vol. IV-7-1. – Режим доступу: <http://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/5247>. – Назва з екрана. – Перевірено : 24.06.2016.
 19. Technical Note – TN 084: 2015. Update to T HR RS 08001 ST Climate Comfort and HVAC on Passenger Rolling Stock [Електронний ресурс]. – V. 2.0. 2014. – 2015. – 27 p. – Режим доступу : <http://www.asa.transport.nsw.gov.au/sites/default/files/asa/asa-standards/t-hr-rs-08001-st.pdf>. – Назва з екрана. – Перевірено : 24.06.2016.
 20. Traffic medicine-related research: a scientometric analysis / B. Groneberg-Kloft, D. Klingelhofer, S. E. Zitnik, C. Scutaru // *BMC Public Health*. – 2013. – Vol. 13, № 541. doi: 10.1186 / 1471-2458-13-541.
 21. Web of Science™ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ipsience.thomsonreuters.com/product/web-of-science/>. – Назва з екрана. – Перевірено : 24.06.2016.
 22. White, L. Technology assessment from the stance of a medieval historian / L. White // *The American Historical Review*. – 1974. – Vol. 9. – Iss. 1. – P. 1–13.
 23. Yarime, M. Integrated Solutions to Complex Problems: Transforming Japanese Science and Technology / M. Yarime // *Japan: The Precarious Future* / Frank Baldwin, Anne Allison. – New York : New York University Press, 2015. – P. 213–235. doi:10.18574/nyu/9781479889389-003.0010.
 24. Zhang, F. Patent activity analysis of vibration-reduction control technology in high-speed railway vehicle systems in China / F. Zhang, X. Zhang // *Scientometrics*. – 2014. – Vol. 100. – Iss. 3. – P. 723–740. doi: 10.1007/s11192-014-1318-3.

Т. А. КОЛЕСНИКОВА, О. В. ПОМИНОВА, С. Р. КОЛЕСНИКОВ

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.dit.edu.ua, ORCID 0000-0002-4603-4375.

²* Научно-техническая библиотека, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (067) 996 50 93, эл. почта olga_vr9@mail.ru, ORCID 0000-0002-5537-6617.

³* Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 19, эл. почта blaze777@inbox.ru. ORCID 0000-0002-0487-9257

РАЗВИТИЕ НАПРАВЛЕНИЯ «КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА» НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ: НАУКОМЕТРИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

Цель. Исследование предполагает получение новых знаний о развитии направления «кондиционирование воздуха» на железнодорожном транспорте с использованием продуктов и сервисов наукометрической базы данных Web of Science (WoS). Хронологические рамки изучаемых научных статей – 2010–2015 гг. **Методика.** Для получения релевантных эмпирических данных авторами проведен обзор мировой литературы по теме работы с использованием полнотекстовых и реферативных баз данных. Рассмотрен алгоритм «пошаговых» действий в WoS по: 1) формированию «ядра» публикаций; 2) установлению наиболее «топовых» тем; 3) выявлению наиболее интеллектуально производительных авторов; 4) определению уровня представительства в WoS тематических публикаций украинских ученых; 5) наличию коллабораций ученых разных стран по исследуемой теме. **Результаты.** Авторами доказано: 1) топ-темами направления «кондиционирование воздуха» на железнодорожном транспорте являются: климат-комфорт, энергоэффективность, термо-комфорт; 2) украинские ученые еще не присоединились к мировым процессам обмена тематической научной информацией; 3) наиболее интеллектуально продуктивными авторами научных статей являются ученые Китая; 4) международные коллаборации ученых по исследуемой теме отсутствуют.

doi 10.15802/stp2016/74708

© Т. О. Колесникова, О. В. Помінова, С. Р. Колесников, 2016

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

Научная новизна. Авторами впервые было проведено наукометрическое исследование в области железнодорожного транспорта (предметное направление «кондиционирование воздуха») на основе продуктов и сервисов глобальной базы цитирования WoS. **Практическая значимость.** На основе полученных результатов можно как корректировать личные исследовательские разведки отдельных ученых или научных коллективов, так и прогнозировать дальнейшие перспективы развития предметного направления «кондиционирование воздуха» на железнодорожном транспорте. Данные исследования также могут быть полезными при изучении дисциплины «Система научной информации и наукометрия», организации научно-практических семинаров, курсов повышения квалификации и т. д.

Ключевые слова: кондиционирование воздуха; железнодорожный транспорт; научные статьи; наукометрическое исследование; Web of Science; энергоэффективность; климат-комфорт; термо-комфорт

T. O. KOLESNYKOVA^{1*}, O. V. POMINOVA^{2*}, S. R. KOLESNYKOV^{3*}

^{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

^{2*}Scientific and Technical Library, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 996 50 93, e-mail olga_vp9@mail.ru, ORCID 0000-0002-5537-6617

^{3*}Dep. «Cars and Car Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St. 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373-15-19, e-mail blaze777@inbox.ru, ORCID 0000-0002-0487-9257

OBTAINING OF NEW KNOWLEDGE IN CONCERNING «AIR CONDITIONING» AT THE RAILWAY TRANSPORT: SCIENTOMETRIC ASPECT

Purpose. The research aims at obtaining of new knowledge in «air conditioning» direction development at railway transport using products and services of Web of Science (WoS) scientometric database. Chronological frameworks of the studied scientific articles are – 2010-2015 years. **Methodology.** In order to obtain relevant empirical data the authors reviewed the world literature on the paper topic with the use of full-texts and abstract databases. The algorithm of «incremental» actions in WoS was considered according to: 1) forming the «core» of publications; 2) establishment of the most «top» issues; 3) identifying the most intellectually productive authors; 4) determining the representation level of thematic publications of Ukrainian scientists in WoS; 5) the presence of collaboration among scientists from different countries on the investigational subject. **Findings.** The authors proved: 1) climate comfort, energy efficiency and thermal comfort are the top-themes of «air conditioning» direction at railway transport; 2) Ukrainian scientists have not yet joined to the global processes in the thematic scientific information sharing; 3) the most intellectually productive authors of scientific articles are China's scientists; 4) there is no information about international collaboration of scientists on the investigational subject. **Originality.** The authors firstly conducted scientometric research in the field of railway transport (subject area «air conditioning») on the basis of products and services in the global WoS citation database. **Practical value.** Based on the results, one can correct personal exploration research of individual scientists or research teams as well as predict further prospects of the subject «air conditioning» direction at the railway transport. Survey data may also be useful in the study of the «Scientific information system and scientometrics» subject, organization of workshops, training courses, etc.

Keywords: air conditioning; railway transport; science articles; scientometric studies; Web of Science; energy efficiency; climate comfort; thermal comfort

REFERENCES

1. Gordukalova G.F. Indeks tsitirovaniya v nauke: tseli ispolzovaniya, osnovnyye raznovidnosti i ogranicheniya [Citation index in science: the purpose of use, the main varieties and limitations]. *Vestnik SPbGUKI – Bulletin of SPbUCA*, 2014, no. 2 (19), pp. 54-57.
2. Kolesnykov S.R. Systema «Termo-komfort» yak neobkhidnyi element zaliznychnykh transportnykh zasobiv [SG System «Thermo-comfort» as a necessary element of rail vehicles]. *Tezisy dokladov 76-y Mezhdunaradonoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Problemy i perspektivy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta*

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

- (19.05-20.05.2016) [Proc. of the 76th Intern. Scientific and Practical Conf. «Problems and prospects of railway transport development»]. Dnepropetrovsk, 2016, pp. 41-43.
3. Kolesnykova T.O., Klyushnik I.A. Izdaniye nauchnoy periodiki v universitetakh: novyye zadachi, uchastniki, tekhnologii [Publications of scientific periodicals at universities: new challenges, participants, technology]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 6 (60), pp. 183-197. doi: 10.15802/stp2015/57105.
 4. Kolesnykova T.O. 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 – Science and Transport Progress*, 2013, no. 6 (48), pp. 7-22. doi: 10.15802/stp2013/19835.
 5. Kolesnykova T.O., Matveyeva O.V. Otsenka rezultativnosti nauchnykh issledovaniy: bibliometriya [Performance assessment of the research: bibliometrics]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 4 (58), pp. 7-22. doi: 10.15802/stp2015/49190.
 6. Kriazhych O.O. Osoblyvosti roboty z avtoramy – molodymy naukovtsiamy [Working peculiarities with authors –young scientists]. *Nauka Ukrainy u svitovomu informatsiinomu prostori – Ukrainian science in the world information space*, 2015, issue 11, pp. 36-42.
 7. Myamlin S.V. Progres transporta – zalog razvitiya natsionalnoy ekonomiki [Transport progress as a pledge of national economy]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2013, no. 1 (43), pp. 7-12. doi: 10.15802/stp2013/9786.
 8. Tykhonkova I.O. Spysok literatury naukovoi statii – vazhlyvyi indykator yakosti statii (yak ne maty zaivoho klopotu z yoho oformlenniam) [References of the article – an important indicator of the article quality (how not to have troubles with its design)]. *Nauka Ukrainy u svitovomu informatsiinomu prostori – Ukrainian science in the world information space*, 2015, issue 11, pp. 100-106.
 9. Khomenko I.Yu. Vykorystannia rezhymu teplovoho nasosa dlia opalennia platskartnykh vahoniv, pislia yikh modernizatsii zi vstanovlenniam kondytsionera [Using the heat pump duty for parlor cars heating, after their upgrading with the air conditioner installing]. *Visnyk Skhidnoukraiinskoho natsionalnoho universytetu imeni V. Dalia* [East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl], 2013, no. 2 (191), pp. 121-124.
 10. Shi S., Gao H.X., Li M., Liu B. Calculation of Coach Body Heat Transfer Coefficient for the High-Speed Railway Train in China. *Advanced Materials Research*, 2013, volume 805–806, pp. 562-569. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.805-806.562.
 11. Beaver D.deB. Quantity is only one of the qualities. *Scientometrics*, 2012, no. 93, pp. 33-39. doi: 10.1007/s11192-012-0657-1.
 12. Shurland M., Andersen D. R., Prabhakaran A., Singh S. P. Feasibility of Load-Shedding to Improve Efficiency and Reduce Energy Consumption on Passenger Locomotives. Proc. of the ASME «Joint Rail Conference (23.03–26.03.2015)». San Jose, California, USA. Mineta Transportat Inst. New York, 2015, JRC2015-5710, p. V001T07A003; 6 p. doi:10.1115/JRC2015-5710.
 13. Hassan S.-U., Haddawy P., Zhu J. A bibliometric study of the world's research activity in sustainable development and its sub-areas using scientific literature. *Scientometrics*, 2014, volume 99, issue 2, pp. 549-579. doi: 10.1007/s11192-013-1193-3.
 14. Khomenko I.Yu. Mathematical Modeling of Unsteady Heat Exchange in a Passenger Car. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2013, no. 6 (48), pp. 147-155. doi: 10.15802/stp2013/19762.
 15. Kolesnykova T.O. The Role of the Ukrainian University Libraries in Increasing Representation of Ukrainian Science into Global Environment of Scientific Communications. *Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Bibliotekoznavstvo, bibliohrafoznnavstvo, knyhoznnavstvo* [Bulletin of Odesa National University. Series: Library science, bibliography, book science], 2015, volume 20, issue 1 (13), pp. 127-142.
 16. Li K. H., Chen Sh. Design of Air Conditioning Unit Performance Test Bench for Rail. *Applied Mechanics and Materials*, 2015, volume 701-702, pp. 666-674. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.701-702.666.
 17. Li W., Sun J. Numerical simulation and analysis of transport air conditioning system integrated with passenger compartment. *Applied Thermal Engineering*, 2013, no. 50, pp. 37-45. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2012.05.030.
 18. Liu P., Li D. Issues & factors of train air-conditioning system design & Operation. HVAC Technologies for Energy Efficiency, 2006, volume IV-7-1. Available at: <http://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/5247> (Accessed 24 June 2016).

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

19. Technical Note – TN 084: 2015. Update to T HR RS 08001 ST Climate Comfort and HVAC on Passenger Rolling Stock. V. 2.0. 2014. 2015. 27 p. Available at: <http://www.asa.transport.nsw.gov.au/sites/default/files/-asa/asa-standards/t-hr-rs-08001-st.pdf> (Accessed 24 June 2016).
20. Groneberg-Kloft B., Klingelhofer D., Zitnik S.E., Scutaru C. *Traffic medicine-related research: a scientometric analysis*. *BMC Public Health*, 2013, volume 13, no. 541. doi: 10.1186 / 1471-2458-13-541.
21. Web of Science™. Available at: <http://ipscience.thomsonreuters.com/product/web-of-science/> (Accessed 24 June 2016).
22. White L. Technology assessment from the stance of a medieval historian. *The American Historical Review*, 1974, volume 79, issue 1, p. 1. doi: 10.2307/1868313.
23. Yarime M. Integrated Solutions to Complex Problems: Transforming Japanese Science and Technology. Japan: The Precarious Future. Frank Baldwin, Anne Allison. New York, New York University Press, 2015. P. 213-235. doi:10.18574/nyu/9781479889389.003.0010.
24. Zhang F., Zhang X. Patent activity analysis of vibration-reduction control technology in high-speed railway vehicle systems in China. *Scientometrics*, 2014, volume 100, issue 3, pp. 723-740. doi: 10.1007/s11192-014-1318-3.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. О. Габрінцем (Україна); д.н. із соціальних комунікацій, проф. О. М. Кобєлевим (Україна)

Надійшла до редколегії: 29.03.2016

Прийнята до друку: 29.07.2016

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

UDC 656.259.1-026.66

A. BIAŁOŃ^{1*}, D. ADAMSKI^{2*}, JU. FURMAN^{3*}

^{1*}Instytut Kolejnictwa, ul. Chłopickiego, 50, Warsaw, Poland, 04-275, e-mail abialon@ikolej.pl,
ORCID 0000-0003-1648-0056

^{2*}Instytut Kolejnictwa, ul. Chłopickiego, 50, Warsaw, Poland, 04-275, e-mail dadamski@ikolej.pl,
ORCID 0000-0001-5897-579X

^{3*}Instytut Kolejnictwa, ul. Chłopickiego, 50, Warsaw, Poland, 04-275, e-mail jfurman@ikolej.pl,
ORCID 0000-0002-4160-3372

UNIFIED VERIFICATION METHOD OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY BETWEEN ROLLING STOCK AND TRAIN DETECTION SYSTEMS

Purpose. Axle counters are more and more often applied in train detection systems. The wheel sensor is a main part of each axle counter system. In parallel, more and more complex railway vehicles, especially traction ones, are a potential source of interferences influencing the operation of these train detection systems. It is the reason to verify the electromagnetic compatibility (EMC) between the signalling equipment, particularly train detection systems and new vehicles in the process of obtaining the permission for their exploitation. The measurement of interfering magnetic fields generated by vehicles is one of tests to be carried out. **Methodology.** For the simplification and unification purpose of the applied interference test methods the EN 50238 standard and TS 50238-3 technical specification were developed. The specification defines unified testing procedures. However, it is necessary to verify if it may replace different testing methods used in particular European states. It is the goal of the European research project financed from the TEN-T network resources. **Findings and originality.** This project is part of the larger project of facilitation and speeding up the ERTMS system deployment. One of nine measurement campaigns planned in the frame of this project was conducted in Poland by Railway Research Institute.

Keywords: signaling; interoperability; railway transport

Introduction

One of the basic functions performed by the railway signalling devices is track occupancy detection of the specified part of the railway network. It may be a section of main track, station track, junction or any other separated region which needs continuous occupancy detection in order to provide safe and uninterrupted rolling stock movement. In the past, this function was mostly realized by the various types of track circuits which primary operating principle is based on indicating electrical (galvanic) shunting of each rail with rolling stock

axles. Therefore such devices are detecting track occupancy continuously along all track circuit area under condition of preserving proper electrical isolation between rails. In addition as a side effect of above mentioned method diagnostic of rail cracks rail is possible due to the fact that rail continuity is required for track circuits operation. If rail is cracked or broken then automatically track circuit indicates track occupancy permanently. However difficulties in the application of track circuits and need to maintain necessary technical parameters of track and roadbed contributed to the development of alternative methods for track occupancy detection so called axle counters systems.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Axle counters detect passing of a trains between two points of a track via wheel sensors that are installed on each end of a supervised section. Each time train passes over wheel sensor with the first axle counting process starts. The same process takes place in the second counting point and if two counts have the same values the track is indicated as unoccupied and clear for next train. Each counting head consists of two independent wheel sensors therefore each device is able to detect speed and direction of a train. To improve the reliability axle counting systems are usually designed with redundancy that means at least two independent channels are used to generate information regarding track status.

Nowadays European railways are more often increasing the number of axle counters systems installations in relation to track circuits devices. Railway infrastructure managers exchanged a lot of track circuits for the axle counter systems, especially on the main lines of fundamental importance for the whole transport system. This is directly linked with the issue of ensuring the proper safe and uninterrupted operation of axle counting systems that are resistant to the interferences generated from the rolling stock. Wheel sensors must comply with requirements for sensitivity in order to reliably detect wheel passage. Moreover this parameter has to be reduced at the same time to avoid undesirable influence of external interferences which can cause for example erroneous counting of redundant axis. Wheel sensor is mechanically attached to rail and its circuit is separated from it. However, the influence of interfering magnetic fields cannot be avoided, since the sensors operate on the principle of coupling or damping magnetic field between the transmitter and receiver of the sensor through the axis of the vehicle. Wheel sensors operate in frequency bands characteristic for a different types of axle counters. The current flowing in the rails with frequency of a sensor or external magnetic field at this frequency will strongly affect the performance of a sensor. Magnetic field vector for currents in the rails has predictable direction, while the magnetic field vector has a direction depending on the location of interference source in relation to the wheel sensor. The impact of interference will be different for the sensor when there is no nearby axes and another when the axle will be located in the sens-

ing area. Therefore interferences due to their origin can be divided into: currents flowing in the rails (return traction current and resonance currents in catenary), magnetic fields (fixed and variable) generated by elements of the rolling stock (eg rail brakes, eddy current brakes, electric traction motors, converters). Providing the required reliability of axle counting with usage of wheel sensors on acceptable susceptibility level determines need of elaborating electromagnetic field limits generated from a rolling stock. This issue is called EMC Electromagnetic Compatibility of railway vehicles with signalling trackside devices in that case axle counters. There are number of different types of axle counting systems around the Europe and many more of rolling stock that is usually prepared and allowed to operate in a wider area of the rail network, which results in considerable complexity of the compatibility problem. Determining acceptable levels of interference for each frequency band of operation of wheel sensor is a subject of the so-called process of frequency management and it has been defined in the technical specification TS 50238-3.

Validation of the measurement method according to TS 50238-3. Validation of measurement method regarding permitted magnetic fields levels generated from the rolling stock has been made in the scope of European project WP11. Measurement campaign was performed according TS 50238-3 in following countries: Austria, Belgium, Netherlands, France, Germany, Poland, Switzerland, Great Britain and Italy.

Research was conducted on the basis of pre-agreed programs on selected sections of railroads or special test tracks for all traction supply systems, i.e. For 1.5 kV and 3 kV DC and 15 kV and 25 kV AC. Each measurement campaign included: measurements of magnetic fields generated from rolling stock performed in consistent manner in accordance with the technical specifications TS 50238-3, measurements in accordance with applicable national test procedures of axle counter response in case of magnetic field limit exceedances, post processing of collected data in order to compare interferences levels with existing national limits.

Measurement campaign in Poland. Railway Research Institute was responsible for performing Polish measurement campaign and representation

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

of the final results. In regard to abovementioned issues there was a need to set up test system for measuring magnetic field emissions generated by rolling stock. Railway Research Institute acquired all necessary components and build up complete measurement system that provides testing of both sides of vehicle at the same time. It was made according to the technical specification TS 50238-3 and the measurement is performed in three dimensions by specially designed antennas. The examination involves performing of a several test runs by the tested vehicle over the sensors and recording the levels of generated magnetic fields. In accordance to TS 50238-3 requirements measurement has to be conducted independently in three mutually perpendicular dimensions marked with letters: X, Y, Z. Location of each measurement direction is illustrated on Fig. 1.

In all stages of the Polish campaign measurements were carried out simultaneously using two antennas mounted on the inner side of rails in order to measure maximum level of disturbances generated from the examined rolling stock regardless of any asymmetry in the position of the interference source on the vehicle.

In the first phase of the project all participants elaborated measurement schedules. Polish campaign was planned to take place first on the Test Ring near Żmigród that belongs to Railway Research Institute and after that on a regular railway line with high density of train movement. The purpose of conducting measurements on the railway

line in service was to examine as many types of vehicles as it was possible. Through measurements performed on the Test Ring personnel had opportunity to familiarize with new research equipment, test procedures and processing of collected data according to TS 50238-3. Realization of the measurements on the Test Ring also allowed extending the range of examined vehicles. Second stage of Polish campaign was conducted on CMK line which is currently one and only line in Poland that allows trains to travel with a speed up to 200 km/h. Thus that fact there was possibility of performing measurements with a speed which was not possible to achieve on any other line in Poland. As it was mentioned before third stage was carried out on line with high density of railway traffic. Regarding project assumptions it was the most important phase and therefore measurements duration was the longest and number of tested vehicles was the largest. Data acquired during all phases of Polish measurement campaign after digital processing led to some conclusions regarding inferences levels generated from variety of rolling stock on 3 kV railway lines. Accuracy of measuring method and measurement equipment was confirmed on the basis of final results. After examination of the same vehicle within few days of the measurements it was visible that results were very similar to each other every time. Visual presentation of measurement is something like a footprint of particular vehicle and it is a unique like human fingerprints.

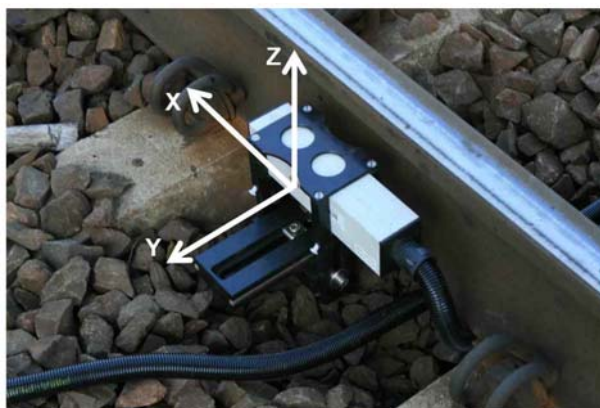


Fig. 1. Measurement directions

Fig. 2. Two measurement antennas mounted
to the rails

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Exemplary results of magnetic fields strength measurement are presented on Fig. 3, 4 and 5. Every time measurement was taking place it was automatically compared with the limit values set

out in technical specifications for each of the directions. Measured data are marked with blue color; red color represents limit values for each of the three directions.

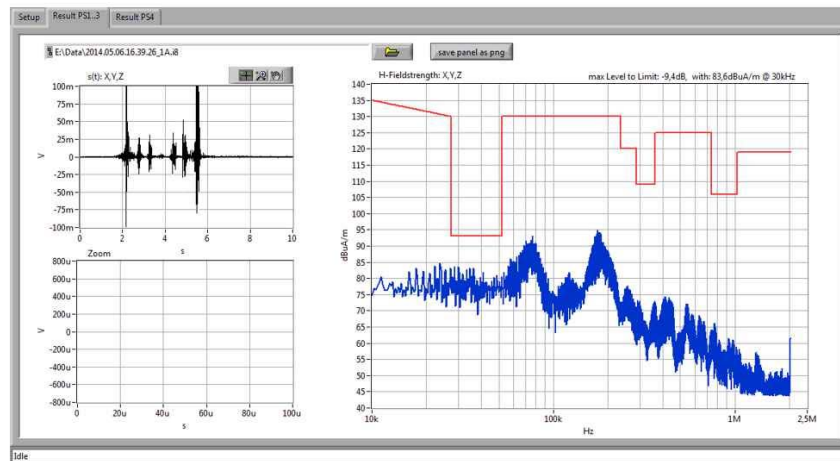


Fig. 3. Exemplary result of measurement in X direction

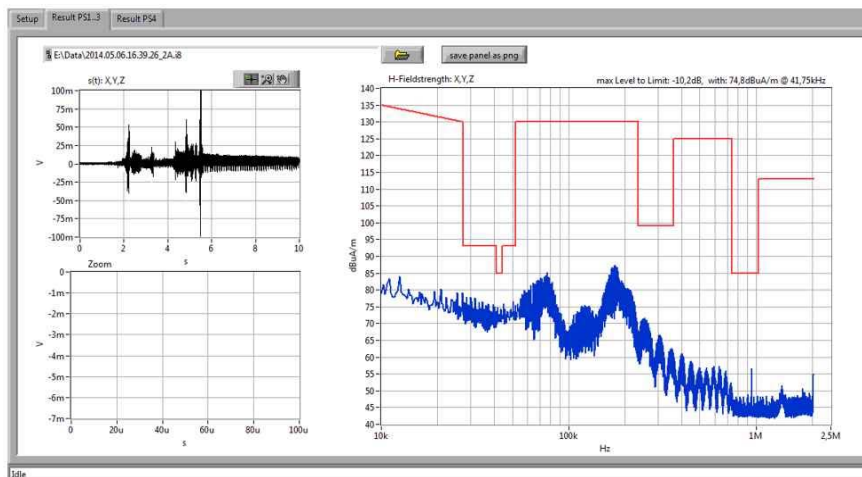


Fig. 4. Exemplary results of measurement in Y direction

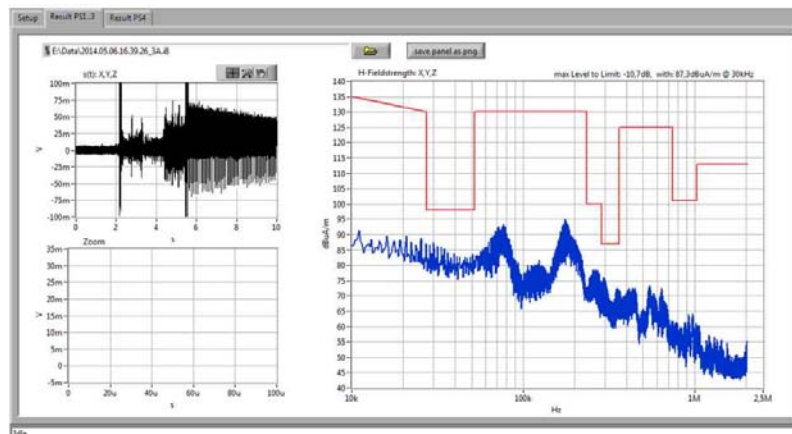


Fig. 5. Exemplary result of measurement in X direction

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Conclusions

Measurement method and used equipment provided repeatability of results on acceptable level what ensured reliability under condition of regular calibration of whole system according to procedures. Further conclusion concerning tests was that it is possible to distinguish some groups of vehicles regarding results types. First of all electric traction vehicles equipped with electro-mechanical traction converters generated significantly less disturbances than the newer generation vehicles equipped with electronic converters. Interference generated by diesel locomotives, which were even smaller and mostly did not exceed disturbance of a background noise. Moreover it was noticed that the higher values of magnetic fields were observed in Y and Z directions. Experience gained so far also indicates that the magnetic fields strength exceedances emitted by rolling stock generally concern the measurement plane Y. This is due to the mutual influence of magnetic fields generated from rail currents and from rolling stock in this direction. Results gathered during campaign in all countries that participated in the project may contribute to elaboration of uniform European measurement method of disturbances from rolling stock. This step will give opportunity to eliminate all sources of exceeded interferences on the stage of approval tests. Facing the general trend of introducing axle counters on new railway lines and replacing track circuits with them on modernized ones, the issue of testing the impact of magnetic fields on axle counters is essential and it should be carried out for the entire range of rolling stock that is operating on a rail network. Presented method of measuring magnetic field strength meets the requirements of the technical specifications of the TS 50238-3 and allows clear determination of whether the tested vehicle may affect the operation of the wheel sensors and consequently the axle counters. Such action would eliminate rolling stock that may affect the operation of axle counters, and thus will reduce disturbances in train movements allowing easier traffic management.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Про електромагнітну сумісність електрифікованих залізничних ліній постійного струму / І. В. Анохов, М. П. Бадьор, В. І. Гаврилюк, В. Г. Сиченко // Заліз. трансп. України. – 2000. – № 2. – С. 10–12.
2. Сиченко, В. Г. До питання розробки активного фільтра тягової підстанції постійного струму / В. Г. Сиченко, В. А. Зубенко, М. П. Бадьор // Заліз. трансп. України. – 2006. – № 5. – С. 39–41.
3. Сиченко, В. Г. Дослідження показників якості електричної енергії на тягових підстанціях постійного струму / В. Г. Сиченко // Гірн. електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб. / Нац. гірн. ун-т. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 81. – С. 53–60.
4. Сиченко, В. Г. Оцінка ефективності функціонування пасивних згладжуючих фільтрів тягових підстанцій постійного струму / В. Г. Сиченко, В. А. Зубенко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 25. – С. 63–69.
5. Białoń, A. Badanie kompatybilności elektromagnetycznej taboru z urządzeniami wykrywania pociągu z uwzględnieniem normy EN 50238 / A. Białoń, D. Adamski, P. Pajka // Problemy Kolejnictwa. – 2011. – Z. 152. – P. 43–49.
6. Cholewicki, T. Elektryczne linie długie i układy niejednorodne / T. Cholewicki. – Warszawa : PWN, 1978.
7. CLC/TS 50238-3:2013. Railway applications: compatibility between rolling stock and train detection systems. Pt. 3 : Compatibility with axle counters. – 2013. – 16 p.
8. Mariscotti, A. Determination of the Electrical Parameters of Railway Traction Lines: Calculation, Measurement and Reference Data / A. Mariscotti, P. Pozzobon // IEEE Trans. on Power Delivery. – 2004. – Vol. 19. – Iss. 4. – P. 1538–1546. doi: 10.1109/TPWRD.2004.835285.
9. Mariscotti, A. Synthesis of line impedance expressions for railway traction systems / A. Mariscotti, P. Pozzobon // IEEE Trans. on Vehicular Technology. – 2003. – Vol. 52. – Iss. 2. – P. 420–430. doi: 10.1109/TVT.2003.808750.
10. Model układu zasilania na torze doświadczalnym w Żmigrodzie / A. Białoń, A. Kazimierzczak, W. Zając, G. Skarpetowski // Drives and Supply Systems for Modern Electric Traction in Integrated XXIst Century Europe : 4th Int. Conf. (23.09–25.09.1999). – Warszawa, 1999.
11. Mutual design overhead transmission lines and railroad facilities : Report EPRI, EL-646 / Electric Power Research Institute. – Palo Alto, CA, 1989. – 166 p.
12. Określenie dopuszczalnych poziomów i parametrów zakłóceń dla urządzeń sterowania

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

- ruchem kolejowym : Praca IK 4430/10. – Warszawa, 2011. – 248 p.
13. Pawlik, M. Control command systems impact on the railway operational safety / M. Pawlik // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 2 (56). – С. 58–64. doi: [http://dx.doi.org/10.15802-stp2015/42160](http://dx.doi.org/10.15802/stp2015/42160).
 14. Szelać, A. Zagadnienia analizy i projektowania systemu trakcji elektrycznej prądu stałego z zastosowaniem technik modelowania i symulacji / A. Szelać // Prace Naukowe PW. Seria: Elektryka. – 2002. – Z. 123. – P. 178.
 15. Untersuchung der Beeinflussung von Glaisstromkreisen. Frage A 122. Bericht nr 9. Utecht, 1973. – 184 p.
 16. Żurkowski, A. Railway operation and transport. Control command and signalling / A. Żurkowski, M. Pawlik // Ruch i przewozy kolejowe. Sterowanie ruchem. – Warszawa, 2010. – P. 160.

А. БЯЛОНЬ^{1*}, Д. АДАМСКИ^{2*}, Ю. ФУРМАН^{3*}

^{1*}Залізничний інститут, вул. Хлопцівського, 50, Варшава, Польща, 04-275, ел. пошта abialon@ikolej.pl, ORCID 0000-0003-1648-0056

^{2*}Залізничний інститут, вул. Хлопцівського, 50, Варшава, Польща, 04-275, ел. пошта dadamski@ikolej.pl, ORCID 0000-0001-5897-579X

^{3*}Залізничний інститут, вул. Хлопцівського, 50, Варшава, Польща, 04-275, ел. пошта jfurman@ikolej.pl, ORCID 0000-0002-4160-3372

УНІФІКОВАНИЙ МЕТОД ПЕРЕВІРКИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ МІЖ РУХОМИМ СКЛАДОМ ТА СИСТЕМОЮ ВИЯВЛЕННЯ ПОЇЗДА

Мета. Лічильники осей все частіше і частіше застосовуються в системах виявлення поїзда. Датчик коліс є основною частиною кожної системи підрахунку осей. Паралельно з цим, все більш і більш складні залізничні транспортні засоби, особливо тягові, є потенційним джерелом перешкод, що впливають на роботу цих систем виявлення поїзда. Це є причиною для перевірки електромагнітної сумісності (ЕМС) між обладнанням зв'язку, зокрема, системами виявлення поїздів, і новими транспортними засобами у процесі отримання дозволу на їх експлуатацію. Вимірювання заважаючих магнітних полів, що генеруються транспортним засобом, повинне стати одним із випробувань. **Методика.** З метою спрощення та уніфікації застосовуваних методів випробувань були розроблені стандарт EN 50238 та технічна специфікація TS 50238-3. Специфікація визначає уніфіковані методи випробувань. Проте, необхідно перевірити, чи можуть вони замінити різні методи випробувань, що використовуються в інших країнах Європейського союзу. Це мета європейського дослідницького проекту, фінансованого з ресурсів мережі TEN-T. **Результати та наукова новизна.** Даний проект є частиною більшого проекту по спрощенню та прискоренню розгортання системи ERTMS. Одне із дев'яти експериментальних вимірювань, запланованих в рамках даного проекту, було проведено в Польщі Інститутом залізничного транспорту.

Ключові слова: сигналізація; сумісність; залізничний транспорт

А. БЯЛОНЬ^{1*}, Д. АДАМСКИ^{2*}, Ю. ФУРМАН^{3*}

^{1*}Железнодорожный институт, ул. Хлопицкого, 50, Варшава, Польша, 04-275, эл. почта abialon@ikolej.pl, ORCID 0000-0003-1648-0056

^{2*}Железнодорожный институт, ул. Хлопицкого, 50, Варшава, Польша, 04-275, эл. почта dadamski@ikolej.pl, ORCID 0000-0001-5897-579X

^{3*}Железнодорожный институт, ул. Хлопицкого, 50, Варшава, Польша, 04-275, эл. почта jfurman@ikolej.pl, ORCID 0000-0002-4160-3372

УНИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ПРОВЕРКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ МЕЖДУ ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ И СИСТЕМОЙ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЕЗДА

Цель. Счётчики осей все чаще и чаще применяются в системах обнаружения поезда. Датчик колес является основной частью каждой системы подсчёта осей. Параллельно с этим, все более и более сложные железнодорожные транспортные средства, особенно тяговые, являются потенциальным источником помех, влияющих на работу этих систем обнаружения поезда. Это является причиной для проверки электромагнитной совместимости (ЭМС) между оборудованием связи, в частности, системами обнаружения поездов, и новыми транспортными средствами в процессе получения разрешения на их эксплуатацию. Измерение мешающих магнитных полей, генерируемых транспортным средством, должно стать одним из испытаний. **Методика.** С целью упрощения и унификации применяемых методов испытаний были разработаны стандарт EN 50238 и техническая спецификация TS 50238-3. Спецификация определяет унифицированные методы испытаний. Тем не менее, необходимо проверить, могут ли они заменить различные методы испытаний, используемые в других странах Европейского союза. Это цель европейского исследовательского проекта, финансируемого из ресурсов сети TEN-T. **Результаты и научная новизна.** Данный проект является частью более крупного проекта по упрощению и ускорению развертывания системы ERTMS. Одно из девяти экспериментальных измерений, запланированных в рамках данного проекта, было проведено в Польше Институтом железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: сигнализация; совместимость; железнодорожный транспорт

REFERENCES

1. Anokhov I.V., Bador M.P., Havryliuk V.I., Sychenko V.H. Pro elektromahnitnu sumisnist elektryfikovanykh zaliznychnykh liniy postiinoho strumu [About EMC of electrified railways at DC]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2000, no. 2, pp. 10-12.
2. Sychenko V.H., Zubenko V.A., Bador M.P. Do pytannia rozrobky aktyvnoho filtra tiahovoi pidstantsii postiinoho strumu [On the issue of active filter development of DC railway substation]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2006, no. 5, pp. 39-41.
3. Sychenko V.H. Doslidzhennia pokaznykiv yakosti elektrychnoi enerhii na tiahovykh pidstantsiiakh postiinoho strumu [Research of quality indices of electricity for DC railway substations]. *Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk «Hirnycha elektromekhanika ta avtomatyka»* [Scientific and Technical Collection «Mining electrical engineering and automation»]. Dnipropetrovsk, 2008, issue 81, pp. 53-60.
4. Sychenko V.H., Zubenko V.A. Otsinka efektyvnosti funktsionuvannia pasyvykh zghladzhuichykh filtriv tiahovykh pidstantsii postiinoho strumu [The effectiveness evaluation of smoothing filters traction substations DC]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 25, pp. 63-69.
5. Białoń A., Adamski D., Pajka P. Badanie kompatybilności elektromagnetycznej taboru z urządzeniami wykrywania pociągu z uwzględnieniem normy EN 50238. *Problemy Kolejnictwa*, 2011, Z. 152, pp. 43–49.
6. Cholewicki T. Elektryczne linie długie i układy niejednorodne. Warszawa, PWN, 1978.
7. CLC/TS 50238-3:2013. Railway applications: compatibility between rolling stock and train detection systems. Pt. 3: Compatibility with axle counters. 2013, 16 p.
8. Mariscotti A., Pozzobon P. Determination of the Electrical Parameters of Railway Traction Lines: Calculation, Measurement and Reference Data. *IEEE Trans. on Power Delivery*, 2004, vol. 19, issue 4, pp. 1538-1546. doi: 10.1109/TPWRD.2004.835285.
9. Mariscotti A., Pozzobon P. Synthesis of line impedance expressions for railway traction systems. *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 2003, vol. 52, issue 2, pp. 420-430. doi: 10.1109/TVT.2003.808750.
10. Białoń A., Kazmierczak A., Zajac W., Skarpetowski G. Model układu zasilania na torze doświadczalnym w Żmigrodzie. Drives and Supply Systems for Modern Electric Traction in Integrated XXIst Century Europe: 4th Int. Conf. (23.09–25.09.1999). Warszawa, 1999.
11. Mutual design overhead transmission lines and railroad facilities: Report EPRI, EL-646. Electric Power Research Institute. Paolo Alto, CA, 1989. 166 p.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

12. Określenie dopuszczalnych poziomów i parametrów zakłóceń dla urządzeń sterowania ruchem kolejowym: Praca IK 4430/10. Warszawa, 2011. 248 p.
13. Pawlik M. Control command systems impact on the railway operational safety. *Nauka ta progres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 2 (56), pp. 58-64. doi: <http://dx.doi.org/10.15802/stp2015/42160>.
14. Szelağ A. Zagadnienia analizy i projektowania systemu trakcji elektrycznej prądu stałego z zastosowaniem technik modelowania i symulacji. *Prace Naukowe PW. Seria: Elektryka*, 2002, Z. 123, p. 178.
15. Untersuchung der Beeinflussung von Glaisstromkreisen. Frage A 122. Bericht nr 9. Utecht, 1973. 184 p.
16. Żurkowski A., Pawlik M. Railway operation and transport. Control command and signalling. *Ruch i przewozy kolejowe. Sterowanie ruchem*. Warszawa, 2010. P.160.

Prof. V. H. Sychenko, Sc. Tech. (Ukraine) recommended this article to be published

Received: Jan., 29. 2016

Accepted: March, 31. 2016

UDC 656.212.5:625.156.8

D. M. KOZACHENKO^{1*}, V. I. BOBROVSKYI^{2*}, S. V. GREVTSOV^{3*}, M. I. BEREZOVYI^{4*}^{1*}Research Department, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail kozachenko@upp.diit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350^{2*}Dep. «Stations and Junctions», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 444 63 95, e-mail bvi1973@yandex.ua, ORCID 0000-0001-8622-292^{3*}Lviv College of Transport Infrastructure at Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Snopkivska St., 47, Lviv, Ukraine, 79011, tel. +38 (032) 276 14 90, e-mail Grevtsov@ukr.net, ORCID 0000-0003-2925-4293^{4*}Dep. «Stations and Junctions», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 371 51 03, e-mail niber07@mail.ru, ORCID 0000-0001-6774-6737CONTROLLING THE SPEED OF ROLLING CUTS IN CONDITIONS
OF REDUCTION OF BRAKE POWER OF CAR RETARDERS

Purpose. The study aims to develop the requirements for organization of the marshalling process in the conditions when the power of retarder positions is less than the nominal one. **Methodology.** The research is carried out using the train traffic safety theory and mathematical modelling of hump processes. **Findings.** The current technical standard documents regulating the operational performance of humps do not contain direct instructions on how to proceed in the event of brake power loss by car retarders, thus creating threats to the traffic safety. This problem is quite acute for the Ukrainian railways in connection with a chronic shortage of funds for the repair and renewal of technical equipment, including the humps. At the same time, a significant drop in the volume of work leads to the fact that the hump required processing capacity can be provided in case of partial failure of retarders as well. Herewith the most important task is to ensure the breaking-up safety in conditions of parametric failures of retarders. The analysis of dangerous situations, the occurrence of which is possible at humps, as well as the modelling of cut rolling, allowed establishing the connection between the value of retarder tire pressing force on the car wheels and the breaking-up modes, providing the safety of marshalling process. The paper sets the application areas of such measures as the breaking-up speed reduction, breaking-up termination, the use of additional braking by block hangers. **Originality.** The originality of the work lies in the fact that it first obtained the complex of dependencies that determine the performance requirements for the power of hump retarders and allow the staff to enter the appropriate limits for breaking-up modes to ensure the marshalling process safety. **Practical value.** The results of the research can be used to supplement the «Instruction on the maintenance of facilities of mechanized and automated humps» in order to determine the limits of breaking-up modes when detecting the reduction of retarder power below the nominal one.

Keywords: hump; car retarder; traffic safety; marshalling process; breaking-up of trains

Introduction

One of the negative realities of present-day conditions of railway transport functioning in Ukraine is the critical deterioration of the basic technical equipment of the industry, which exceeds 85%, and a chronic shortage of funds for its upgrade. Also we should note a significant drop in traffic volumes, which led to the formation of a large reserve of worn-out technical equipment. In these circumstances, in different areas of the industry the following question arises quite often: «Is it possible to ensure the safe execution of processes using the worn-out technical facilities?»

The main technical means providing breaking up and making up of freight trains on the railways are humps. The humps are one of the most dangerous places in the stations, which are characterized by a significant number of injuries, car derailment, car and cargo damage. One of the acute problems of mechanized gravity humps is worn condition of car retarders, which as a result are fully or partially disabled or unable to implement regulatory brake power.

The problems of humping process safety are currently the subject of a large number of scientific papers. An analysis of humping process safety conditions is carried out in [10, 19, 23]. In particu-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

lar, the paper [10] stated that 88.1% of cases of traffic safety violation at humps occur when controlling the speed of rolling cuts. Breaking-up and formation of trains at humps is a major cause of damage to freight cars [16, 17]. According to the assessment, conducted in [19], in 2009 29 ths. of cars were damaged at Ukrainian humps.

The main directions of the humping process safety improvement are currently the mechanization and automation of humps [19, 22], the development of new methods of their design [13, 24, 19], improvement of methods of cut braking mode selection [18, 1, 6], improvement of the maintenance and service system of hump devices [15] improvement of hump technologies [12]. In these studies the tasks of train breaking-up control are solved in the conditions of functioning of hump technical facilities within the normative values. The problem of failures of individual devices at the hump is considered from the perspective of their early detection. At the same time, insufficient attention has been given to the problems of hump complexes functioning in the conditions of worn-out technical equipment and deviation of their parameters from the standard values.

Hump is a complex technological system. Violation of their operation conditions can lead to substantial material damage due to damaged cars and goods, and in some cases – to the loss of life and environmental disasters.

The methodological basis for solving the problem of the hump functioning in the condition of brake power loss by the retarders can be the traffic safety theory [8]. In accordance with the concept of this theory, the system may be in operational, non-operational safe and non-operational dangerous state. In operational state the functioning of technological systems takes place in the environment where its parameters comply with technical, technological and design documentation, as well as the performance values. In default of these terms the technological system is in non-operational condition. If there are adverse factors in this condition, it is considered unsafe, otherwise – safe condition. If the transition of the system into non-operational dangerous conditions is excluded with a high degree of probability, there is a technological system with protected conditions. With regard to the problem of controlling the speed of rolling cuts at humps it is necessary to find such processing limits whose application in the conditions of breaking-up

will allow the compliance with marshalling process safety requirements.

Additional limits when arranging the breaking-up and making up of trains leads to decrease in the processing capacity of humps. It should be noted that during the Soviet period with substantial traffic volume the humps were the elements limiting the station processing ability, and malfunction of their facilities was eliminated in the shortest possible time. Currently, the car processing volume is decreased significantly. For example, loading of an odd hump of Nizhnedneprovsk-Uzel station is 63%, and of an even one – 37%. As a result, from the economic point of view the long-term operation of humps in protected mode may be more appropriate.

Purpose

The purpose of this work is to develop the requirements for organization of the humping operation in the conditions when the power of retarder positions is less than the nominal one.

Methodology

Design of construction and modernization of humps was performed in accordance with the requirements [14], and starting from 2013 – in accordance with [3]. The works [3, 14] note that the number of brake positions of a hump, their location, capacity and equipment shall ensure the safe car marshalling with the set maximum breaking-up speed. Herewith the retarders shall ensure the allowable speed of cut entry into the second and third brake position, full stop of cuts on this position, as well as the allowable speed of cut approaching the cars on classification track.

The power of hump brake equipment is tested during its design by modelling the rolling of four-axle gondola car weighing 100 tons with the main resistance of 0.5 N/kN (BT roller). To ensure the reliability and survivability of the cut rolling speed regulation system the required power of brake position is calculated taking into account the factor of its increase $k_p=1.2$. At the same time the first brake position is equipped with an additional retarder; in addition rounding of the required number of retarders is performed upwards. As a result the humps must have brake position power reserves that can be used in case of retarder brake power reduction during their operation.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

It should be noted that at the design stage of some humps there were made significant deviations from the requirements [14] and the brake power reserves at such humps are minimal. The example is even hump of Nizhnedneprovsk-Uzel station, where the first brake position is equipped with one retarder instead of two, and the air network power is produced by the compressor station of the train depot, which provides a pressure of 0.5-0.56 MPa instead of 0.65 MPa. In this regard, the retarder brake power reserves have individual nature for each hump and may vary significantly.

The main cause of brake power loss by the retarders in the course of operation is their fault or the lack of pressure in the pneumatic circuit. The typical procedures for hump operators under such conditions are set forth in [9]. It is stated in [9] that if the pressure in the pneumatic circuit is less than 0.65 MPa, the breaking-up process must be discontinued. In case of failure of retarders and their switch-off for repair the breaking-up process can continue in the normal mode provided the switch-off of one retarder at the first brake position and with breaking-up speed reduction provided the switch-off of one retarder at the second brake position. When some retarders are switched-off, the breaking-up speed at the brake position decreases and the additional braking by block hangers can be used. When two retarders are switched-off at the same time on the rolling route, the breaking-up stops.

Maintenance of retarders at Ukrainian humps is carried out in accordance with [4]. In particular, [4] specifies the procedure to check the retarder tire pressing force onto the wheel and the tolerances to reduce these values. The measurement results are recorded in SHU-2 form log. However, the existing legal documents do not impose strict criteria on how to disable retarders for repairs due to insufficient brake power. In fact, in case of power loss by retarders the breaking-up speed and the cut weight are reduced. However, there is neither rationale for these measures nor the analysis of their efficiency.

The humps of Ukrainian railways use the beam retarders, providing car braking due to the wheel friction on the tires. Specific damped energy height, implemented by the retarder, is calculated by the formula:

$$h_B = \frac{z\mu P_w K_{re} n l_t}{Q}, \quad (1)$$

where z – number of friction surfaces (2 – for single-cut retarders and 4 – for two-cut ones); μ – coefficient of car wheel friction on the retarder tire; P_w – retarder braking tire pressure force on the wheel; K_{re} – reduction coefficient determined by the distance between the centre of gravity of the brake-tire-wheel adhesion area to the wheel supporting point and the wheel radius; n – number of axles of a cut; l_t – length of retarder tires; Q – cut weight.

To determine the energy height realized by the retarder during braking of particular car according to the formula (1) is rather difficult, because, first of all, the friction coefficient is a random value that varies within the range of 0.05 to 0.20 [5]; in addition, the height of wheel tires and the position of retarder tires also are random values, varying within tolerances. As a result, the energy height damped by the retarder is also a random variable in each case. The analysis of research reports of the Hump testing laboratory of the Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan shows that the brake power of new retarders was established on the basis of statistical data accumulated as a result of cut deceleration measurements under various conditions with a confidence level of at least 0.95.

An indicator of the humping process quality is the probability of ROR (Railway Operating Rules) set speed of cut approach to cars on classification tracks. However, there is no control of this requirement at the humps. It should be noted that the car collision over-speeding in each separate case does not cause accidents, but causes an increase in frequency of these events. The main result of this breach of the ROR requirements is the accumulation of fatigue changes in the design of cars, causing premature wear.

Given the above, assessment of the retarder power impact on humping process safety performance on the basis of experimental observations is quite a challenge, requiring large expenditures of time and resources for the accumulation of statistical material. Therefore, to determine the breaking-up modes, which comply with the traffic safety requirements, the study of the humping processes is conducted using cut rolling simulation [2].

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Findings

Analysis of the formula (1) shows that the actual brake position retarder power H_a can be determined by checking the pressing force of their tires on the wheel using the expression

$$H_a = \frac{H_{nom}}{rp_{nom}^{\min}} \sum_{j=1}^r p_j, \quad (2)$$

where p_j – measured in accordance with [4] tire pressing force on the lever axles; r – number of levers; H_{nom} – nominal brake power of the retarder; $p_{nom}^{\min}$ – minimum nominal pressing force of retarder tires on the wheel.

Sufficiency of the retarder set power is determined based on the analysis of fulfilment of the set of conditions.

Retarders of the first retarder position (RP1) shall provide entry of all cuts to the second braking position (RP2) with a permissible speed. This requirement is put forward in connection with the fact that the cuts entering RP2 at higher speed may damage the retarders.

The minimum required power of RP1 is determined by the results of BT roller rolling simulation in favourable conditions by the formula

$$H_{rp1} \geq \sum_{HT}^{brp2} i l 10^{-3} + \frac{V_{0,nom}^2 - V_{rp2}^2}{2g'_{btr}} - h_m^{brp2} - h_{pc}^{brp2} - h_{ew}^{brp2}, \quad (3)$$

where $\sum_{HT}^{brp2} i l 10^{-3}$ – profile height of the section from the hump top to the bundle retarder position entry; $V_{0,nom}$ – breaking-up speed; h_m^{brp2} , h_{pc}^{brp2} , h_{ew}^{brp2} – specific work of drag forces, respectively, the main one, of points and curves, of environment and wind at the section from the hump top to the bundle retarder position entry; g'_{bt} – acceleration of gravity subject to inertia of car steadying effect m/s^2 .

For the purpose of standardization, the expression (3) can be represented as

$$\sum_j^{r_1} p_j^{RP1} \geq C_1 \quad (4).$$

here the parameter C_1 , characterizing the minimal allowable value of the retarder tire pressing force on the wheel, is defined as

$$C_1 = \frac{rp_{nom}^{\min}}{H_{nom}} \left(\sum_{HT}^{brp2} i l 10^{-3} + \frac{V_{0,nom}^2 - V_{RP2}^2}{2g'_{btr}} - h_m^{brp2} - h_{pc}^{brp2} - h_{ew}^{brp2} \right);$$

$\sum_j^{r_1} p_j^{RP1}$ – sum of the measured values of BP1 retarder tire pressing force on the lever axles.

Given the fact that it is not possible to provide alternative ways for cut braking at this section of the hump, when the condition (4) is violated, the breaking-up shall be discontinued.

Retarders of RP1 and RP2 shall provide entry of all cuts to yard retarder position (YRP) with a permissible speed. The possibility of this condition is checked using the expression:

$$\sum_{i=1}^2 H_{rp,i} \geq \sum_{HT}^{ytp} i l 10^{-3} + \frac{V_{0,nom}^2 - V_{ytp}^2}{2g'_{btr}} - h_m^{ytp} - h_{pc}^{ytp} - h_{ew}^{ytp}, \quad (5)$$

where $\sum_{HT}^{ytp} i l 10^{-3}$ – profile height of the section from the hump top to the yard retarder position entry;

V_{ytp} – permissible speed of cut entry to the yard retarder position; h_m^{ytp} , h_{pc}^{ytp} , h_{ew}^{ytp} – specific work of drag forces, respectively, the main one, of points and curves, of environment and wind at the section from the hump top to YRP entry.

If the condition (5) is violated, the breaking-up shall be discontinued.

According to [3], the first and the second retarder positions together shall provide a cut stop at the second retarder position. This requirement is necessary to be able to stop the rolling cuts if there is any situation threatening the traffic safety within the point zone. The possibility of this condition is checked using the expression:

$$\sum_{i=1}^2 H_{rp,i} \geq \sum_{HT}^{rpe2} i l 10^{-3} + \frac{V_{0,nom}^2}{2g'_{btr}} - h_m^{rpe2} - h_{pc}^{rpe2} - h_{ew}^{rpe2}, \quad (6)$$

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

where $\sum_{HT}^{rpe2} i l 10^{-3}$ – profile height of the section from the hump top to RP2 exit; h_m^{rpe2} , h_{pc}^{rpe2} , h_{ew}^{rpe2} – specific work of drag forces, respectively, the main one, of points and curves, of environment and wind at the section from the hump top to RP2 exit.

Graphically safe modes of brake retarders operations can be presented as the feasible region of braking modes [20].

To illustrate the limits of 3, 5 and 6, they are represented on a coordinate plane $H_{RP1} O H_{RP2}$ in the Figure 1 in the form of lines U_1 , U_2 and U_3 which outline three areas Ω_1 , Ω_2 and Ω_3 . If the available powers of RP1 and BP2 correspond to Ω_1 area, the breaking-up is performed in the normal mode, if to Ω_2 area – with restrictions, if to Ω_3 area – breaking-up is discontinued.

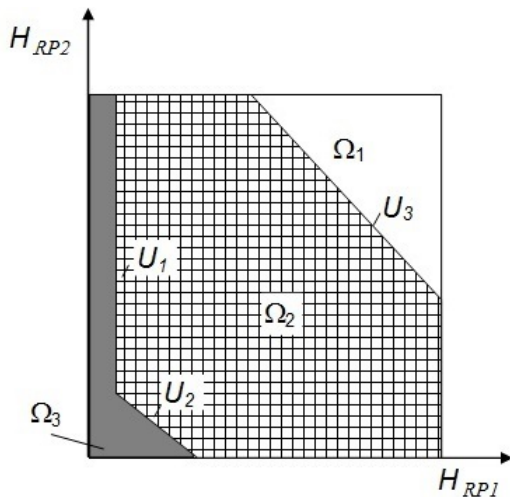


Fig. 1. Graphical representation of the retarder position power limits of the hump lowering section

Resistance of the environment and wind, as well as of points and curves depends on the cut movement speed. Therefore, the effect of the first and the second retarder positions on the car energy height loss is not equivalent. In this connection, the conditions (5) and (6) are represented as

$$\sum_j^{r_1} p_j^{RP1} + k_1 \sum_j^{r_2} p_j^{RP2} \geq C_2, \quad (7)$$

$$\sum_j^{r_1} p_j^{RP1} + k_2 \sum_j^{r_2} p_j^{RP2} \geq C_3. \quad (8)$$

where $\sum_j^{r_2} p_j^{RP2}$ – sum of the measured values of RP2 retarder tire pressing force on the lever axles.

The left side of expressions (7) and (8) corresponds to the actual pressing force of retarder tires on the wheel, subject to different degrees of their influence on the damped energy height value characterized by coefficients $k_1 > 1$ and $k_2 > 1$. The parameters C_2 and C_3 characterize the minimum acceptable value of the retarder tire pressing force on the wheel for which the conditions (5) and (6) are fulfilled. The values of coefficients k_1, k_2 , and the parameters C_2, C_3 are determined on the basis of cut rolling simulation.

In case of failure to meet the requirement (8) the process of interval regulation of the cut rolling speed shall be transferred to a secure state. The power loss of the hump lowering section may result in increased probability of un-broken cuts as well as hazards associated with the cut in the points zone. Herewith the secure states of the humping process can be realized due to the interrupted breaking-up for separation of unfavourable combinations of cuts in the bundles and due to the interrupted breaking-up for separation of the cuts following into one section. The use of the first mode is allowed subject to the possibility of adequate intervals on the separating elements arranged before RP2, in the calculated combination of rollers [3]. Herewith the ability to separate the light slow and the heavy fast rollers is determined by the condition

$$\sum_j^{r_1} p_j^{RP1} \geq C_4, \quad (9)$$

and the power of RP2 and of the yard retarder position (YRP) allows partial use of RP1 for separation of heavy slow and light fast rollers. This condition is formulated as

$$\left(\sum_j^{r_2} p_j^{RP2} + k_3 \sum_j^{r_3} p_j^{YRP} \right) / k_H \geq C_5. \quad (10)$$

where $\sum_j^{r_3} p_j^{YRP}$ – sum of the measured values of YRP retarder tire pressing force on the lever axles.

The values of the coefficient k_3 , and the pa-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

rameters C_4, C_5 are determined on the basis of cut rolling simulation.

In the protected state of interval cut rolling speed regulation the duty operator of the hump prior to breaking-up based on the analysis of train structure and classification tracks state shall single out the unfavourable combinations of cuts and determine the screening tracks. During the breaking-up process the power of the first retarder position should be used as much as possible, and that of the second position – depending on the needs of the target regulation of cut rolling speed. Pushing of cars stopped in the point zone is prohibited.

The power of retarders on the hump lowering section and classification tracks shall meet the requirements of the target regulation of the cut rolling speed, which specifies the cut rolling till cars in the marshalling yard with ROR-set speed $V_{tp} = 5$ km/h. Herewith the design target point is assumed the point at a distance of 50 m from the yard braking position [3]. It should be noted that the longitudinal profiles of a significant number of classification tracks of Ukrainian railway stations have accelerating gradients. In such circumstances, the retarders shall provide a cut stop at YRP, i.e. the calculation point is assumed the YRP exit point, and $V_{tp} = 0$. In general, the target regulation requirements are represented by the following condition:

$$\sum_{i=1}^3 H_{tp,i} \geq \sum_{HT}^{tp} i l 10^{-3} + \frac{V_{0,nom}^2 - V_{tp}^2}{2g'_{btr}} - h_m^{tp} - h_{pc}^{tp} - h_{ew}^{tp} \quad (11)$$

where $\sum_{HT}^{tp} i l 10^{-3}$ – section profile height from the hump top to the calculation point; $h_m^{tp}, h_{pc}^{tp}, h_{ew}^{tp}$ – specific work of drag forces, respectively, the main one, of points and curves, of environment and wind at the section from the hump top to the calculation point.

Condition (11) can be represented as

$$\sum_j^{r_1} p_j^{RP1} + k_4 \sum_j^{r_2} p_j^{RP2} + k_5 \sum_j^{r_3} p_j^{YRP} \geq C_6. \quad (12)$$

The values of coefficients k_4, k_5 , and parameters C_6 are determined on the basis of cut rolling simulation.

If this condition is not fulfilled, then the process of impact regulation of cut rolling speed is transferred to the protected state using additional braking by block hangers on the classification tracks. The use of this state is possible if the retarder position power along the rolling route provides the allowable block hanger entry speed of cuts $V_{t6} \leq 4.5$ m/s. This condition is formulated using the following expression

$$\sum_{i=1}^3 H_{tp,i} \geq \sum_{HT}^{BHRP} i l 10^{-3} + \frac{V_{0,nom}^2 - V_{bhe}^2}{2g'_{btr}} - h_m^{BHRP} - h_{pc}^{BHRP} - h_{ew}^{BHRP} \quad (13)$$

where $\sum_{HT}^{BHRP} i l 10^{-3}$ – section profile height from the hump top to the block hanger retarder position; $h_m^{BHRP}, h_{pc}^{BHRP}, h_{ew}^{BHRP}$ – specific work of drag forces, respectively, the main one, of points and curves, of environment and wind at the section from the hump top to the block hanger retarder position.

Condition (13) can be represented as

$$\sum_j^{r_1} p_j^{RP1} + k_6 \sum_j^{r_2} p_j^{RP2} + k_7 \sum_j^{r_3} p_j^{YRP} \geq C_7. \quad (14)$$

The values of coefficients k_6, k_7 , and parameters C_7 are determined on the basis of cut rolling simulation.

In the protected state of interval cut rolling speed regulation the breaking-up rate shall allow the car speed controllers to perform the cut braking. In case of sequential rolling of cuts designated for the track serviced by one controller, the breaking-up shall be interrupted. The length of the free ends of the classification tracks shall enable cut braking to the safe speed of its approach to the cars standing on the tracks. Pushing of cars at the section to block hanger kicker is prohibited.

In general, based on the analysis of the hump retarder power the following breaking-up modes can be selected:

- regular mode;
- protected mode ensuring the requirements of

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

interval regulation of cut rolling speed, which is realized by reducing humping speed and the breaking-up interruption when predicting dangerous situations on the hump lowering section;

- protected mode ensuring the requirements of the impact regulation of cut rolling speed, which is implemented due to additional braking by cut block hangers on the classification tracks, breaking-up interruption to allow for sequential braking of cuts by car rolling speed controllers on different tracks and performing additional work to prepare the tracks for breaking-up;

- ban on car rolling from the hump onto specific tracks without a locomotive.

In accordance with the established methodology it is possible to assess the impact of currently used limits for breaking-up speed and cut weight on the humping process safety.

Permissible values of train breaking-up speed for humps of different capacities are installed in [3]. In particular, for high capacity humps the calculation of longitudinal profile and brake equipment power is performed at a maximum speed of 2.2 m/s, for medium capacity humps – 1.9 m/s. The minimum breaking-up speed can be accepted as 0.8 m/s, set as the nominal speed for non-mechanized small capacity humps. Thus, the additional value of the damped energetic height to be implemented by retardants in case of excess of the minimum breaking-up speed makes 0.23-0.16 m. of en. h. This value is insignificant compared to the power of braking positions at high and medium capacity humps. In this regard, the train breaking-up speed has not essential influence on the required power of braking position retarders. The main effect that is achieved by breaking-up speed reduction is the increase in time slack at the separating elements up to 11 sec., which guarantees the separation of cuts at railway points located before BP2. Given that more than 70% of separations fall to these points, humping speed reduction significantly decreases the number of breaking-up interruptions and provides resource saving during train acceleration and deceleration.

Brake power loss by retarders restricts the ability of persons, who control the cut rolling process, to react to dangerous situations on the hump lowering section and also leads to increased work-load of the controllers of car speed on classification tracks. The value of additional time slack achieved by breaking-up speed reduction does not ensure the

management of these dangerous situations and, in case of their occurrence, the humping process safety should be ensured not by low breaking-up speed, but due to planning of intervals in breaking-up process to avoid hazardous situations.

When rolling the multi-car cuts it is necessary to consider a number of features of their movement.

The consequence of increased number of cars in a cut is its reduced acceleration at the hump rapid section. As an example, Fig. 2 shows the relations $V = f(S)$ for one- and ten-car cuts. Here-with, the low BP1 entry speed of the latter may lead to the errors of a hump operator when choosing a cut braking mode as well as the retarder power loss due to admittance of cars without braking.

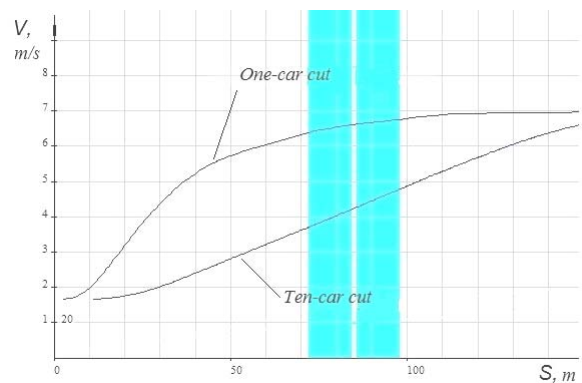


Fig. 2. Curves of rolling speed for one- and ten-car cut

At some humps, for example, at the odd hump of Nizhnedneprovsk-Uzel station, the RP1 retarders close location to the hump top may result in the stop of long cuts already at RP1 and their run down by approaching train. Such a situation may cause car derailment and damaged retarders.

The research conducted in [16, 17] show that at speeds lower than 5 km/h there occurs the above-standard voltage in the side frames of bogies, leading to premature wear of the latter. To ensure the normal operation of cars, [16] recommended the retarder entry speed for cars to be min 10-15 km/h. In this regard, it may be advisable to limit the cut length so that the RP1 entry speed in adverse conditions would make min 3 m/s.

The specific work of the retarder brake forces is proportional to braking axle-meters. Therefore, during braking to a full stop the multi-car cuts shall pass a longer way than the one-car cuts. In this regard, the preparation of the classification tracks for breaking-up shall include the provision of the track

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

length sufficient to reduce the multi-car cut speed to an acceptable level. If additional braking by block hangers is used on the track, this distance shall be determined from the block hanger kicker. [7] recommends to limit the cut length on the assumption of providing the exit of their first cars from YRP with ROR-set speed of cut approach to the cars standing on the classification tracks of 5 km/h. Analysis of the causes of dangerous situation at the hump, requiring the introduction of such restrictions, shows that it is connected not with the multi-car rolling but with pushing of the cars that stop after the yard braking position with the help of multi-car cut. Due to poor predictability of movement of cars at low speeds, as well as their connection with the standing cars, such pushing may lead to cut stop on the hump lowering section and is not permissible. Therefore, the breaking-up safety shall be ensured by way of advance preparation of track for multi-car cut rolling or by breaking-up interruption and taking measures to eliminate a dangerous situation.

These dangerous situations are peculiar both for regular modes of the hump operation and for emergency modes caused by retarder brake power loss. Therefore, we can conclude that the problem of multi-car cut rolling requires more research; however there is no direct connection between humping process safety and multi-car cut rolling in the conditions of power loss by retarders.

Originality and practical value

The originality of the work lies in the fact that it first obtained the complex of dependencies that determine the performance requirements for the power of hump retarders and allow the staff to enter the appropriate limits for breaking-up modes to ensure the humping process safety.

The results of the research can be used to supplement the instruction [4] in order to determine the limits of breaking-up modes when detecting the reduction of retarder power below the nominal one.

The values of coefficients $k_1 - k_7$, $C_1 - C_7$ are individual for each hump and depend a lot on the local conditions. The calculation of their values shall be carried out after the construction or reconstruction of the hump, and after repair work that resulted in the change of its height. As an example, below there is a list of expressions to assess the brake position capacities of the hump given in [11].

Ensuring allowable speed of cut entry to BP2 (4):

$$\sum_j^{24} p_j^{RP1} \geq 630 \text{ kN}. \quad (15)$$

Ensuring allowable speed of cut entry to YRP (7):

$$\sum_j^{24} p_j^{RP1} + 1.074 \sum_j^{24} p_j^{RP2} \geq 1020 \text{ kN}. \quad (16)$$

Enabling cut stop on RP2 (8):

$$\sum_j^{24} p_j^{RP1} + 1.096 \sum_j^{24} p_j^{RP2} \geq 3660 \text{ kN}. \quad (17)$$

Enabling cut separation on point switches before RP2 (9) and (10):

$$\sum_j^{24} p_j^{RP1} \geq 0, \quad (18)$$

$$\sum_j^{24} p_j^{RP2} + 0.431 \sum_j^{24} p_j^{YRP} \geq 3670 \text{ kN}. \quad (19)$$

Ensuring allowable cut speed at the TP (12):

$$\begin{aligned} \sum_j^{24} p_j^{RP1} + 1.087 \sum_j^{24} p_j^{RP2} + \\ + 0.469 \sum_j^{24} p_j^{YRP} \geq 3990 \text{ kN}. \end{aligned} \quad (20)$$

Ensuring allowable speed of cut entry to block hangers (14):

$$\begin{aligned} \sum_j^{24} p_j^{RP1} + 1.090 \sum_j^{24} p_j^{RP2} + \\ + 0.464 \sum_j^{24} p_j^{YRP} \geq 2540 \text{ kN}. \end{aligned} \quad (21)$$

During hump operation upon completing the measurement of the tire pressing force onto the wheel, fulfilment of the conditions (15) – (21) must be checked and according to the check results the breaking-up modes must be set.

Conclusions

The conducted research led to the following conclusions.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

1. The current railways regulatory documentation does not set the strict criteria for disabling retarders for repairs due to insufficient brake power, as well as the scientifically based methods of hump operation in such conditions. It results in more likely violations of ROR requirements and the occurrence of accidents at humps.

2. To ensure the humping operation safety in the conditions of brake power loss by retarders it is possible to take the measures based on breaking-up speed reduction, breaking-up termination, using of additional block hanger braking, more frequent pulling and taking-up of cars during track preparation for breaking-up. The article presents a methodology that allows setting the limit values of tire pressing force onto the wheel, which indicate the necessity to carry out the transition into the various secure states of the humping operation.

LIST OF REFERENCE LINKS

- Бобровский, В. И. Анализ эффективности режимов торможения отцепов на сортировочных горках / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Н. В. Рогов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 11. – С. 103–111.
- Бобровский, В. И. Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Н. П. Божко [и др.]. – Днепропетровск : Маковецкий, 2012. – 236 с.
- ГБН В.2.3-37472062-1:2012. Споруди транспорту. Сортивальні пристрої залізниць. Норми проектування : затв. наказом М-ва інфраструктури України 17.01.2013 р. № 25. – Київ : М-во інфраструктури України, 2012. – 112 с.
- Інструкція з технічного обслуговування пристроїв механізованих і автоматизованих сортувальних гірок на залізницях України : ЦШ-0048 : затв. наказом Укрзалізниці 12.012. 2006 р. №491-Ц. – Київ, 2007. – 153 с.
- Кобзев, В. А. Направление совершенствования исполнительных устройств горочных замедлителей / В. А. Кобзев // Автоматика, телемеханика и связь. – 1996. – № 10. – С. 30–33.
- Козаченко, Д. Н. Устойчивость вагонов при торможении замедлителями / Д. Н. Козаченко, С. О. Пожидаев, К. И. Железнов // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – Вип. 10. – С. 57–63.
- Куценко, М. Ю. Визначення максимальної довжини відчепа на сортувальних гірках Південної залізниці в умовах використання нових уповільнювачів / М. Ю. Куценко, Ю. Ю. Єфіменко, В. В. Ворона, Н. М. Куріліна // Зб. наук. пр. / Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Харків, 2014. – Вип. 146. – С. 38–42.
- Лисенков, В. М. Статистическая теория безопасности движения поездов : учебник для вузов / В. М. Лисенков. – Москва : ВИНТИ РАН, 1999. – 332 с.
- Методичні рекомендації операторам сортувальних гірок щодо управління пристроями на механізованих і автоматизованих сортувальних гірках : затв. наказом Укрзалізниці від 22.02.2013 р. № 042-Ц/од. – Київ : Інпрес, 2013. – 108 с.
- Модин, Н. К. Безопасность функционирования горочных устройств / Н. К. Модин. – Москва : Транспорт, 1995. – 173 с.
- Муха, Ю. А. Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств / Ю. А. Муха, Л. Б. Тишков, В. П. Шейкин [и др.]. – Москва : Транспорт, 1994. – 220 с.
- Островский, А. М. Пропуск вагонов с опасными грузами через сортировочные горки / А. М. Островский, А. М. Лисютин // Науч. тр. SWorld. – Иваново, 2012. – Т. 2, № 1. – С. 38–41.
- Пожидаев, С. А. Автоматизированное проектирование плана горочной горловины с учётом обеспечения безопасного взаимодействия длиннобазного подвижного состава / С. А. Пожидаев, Е. А. Филатов, Е. Н. Иванов // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 6. – С. 82–85.
- Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР : ВСН 207–89. – Москва : Транспорт, 1992. – 104 с.
- Сачко, В. И. Специализированная система поддержки принятия решений по техническому обслуживанию и ремонту горочного оборудования / В. И. Сачко, В. А. Тартынский // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. – 2010. – № 3 (39). – С. 188–122.
- Сенько, В. И. Анализ причин повреждения и возможности продления срока службы боковых рам тележек грузовых вагонов / В. И. Сенько, М. И. Пастухов, С. В. Макеев,

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

- И. Ф. Пастухов // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2010. – № 4. – С. 13–18.
17. Харитонов, Б. В. Пути снижения повреждаемости боковых рам тележек грузовых вагонов на сортировочных горках : дис. ... канд. техн. наук / Харитонов Борис Владимирович ; ВНИИЖТ. – Москва, 1999. – 132 с.
 18. Шабельников, А. Н. Управление тормозными средствами сортировочных горок: повышение качества и эффективности / А. Н. Шабельников, И. А. Ольгейзер, С. А. Рогов // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. – 2015. – № 2. – С. 74–79.
 19. Шиш, В. О. Автоматизація та механізація технологічних процесів на сортувальних станціях / В. О. Шиш // Залізн. транспорт України. – 2011. – № 3. – С. 44–47.
 20. Bobrovskiy, V. Probabilistic Approach for the Determination of Cuts Permissible Braking Modes on the Gravity Humps / V. Bobrovskiy, D. Kozachenko, A. Dorosh [et al.] // Transport problems. Problemy transportu. – 2016. – Vol. 11. – Iss. 1. – P. 147–155. doi: 10.20858/tp.-2016.11.1.14.
 21. Prokop, J. Design of Hump Profile in Railroad Classification Yard / J. Prokop, Sh. Myojin // Memoirs of the Faculty of Engineering, Okayama University. – 1993. – Vol. 27, № 2. – P. 41–58.
 22. Zarecky, S. The newest trends in marshalling yards automation / S. Zarecky, J. Grun, J. Zilka // Transport Problems. – 2008. – T. 3, vol. 4, pt. 1. – P. 87–95.
 23. Zhang, C. Analysis of Hump Automation in China / C. Zhang, Y. Wei, G. Xiao [et al.] // Proc. of Second Intern. Conf. on Transportation and Traffic Studies. – 2000. – P. 285–290. doi: 10.1061/40503(277)45.
 24. Zhang, C. Research on Multi-objective Optimization of Vertical Section of the Hump Pushing Zone / C. Zhang, Y. Li // Optoelectronics and Image Processing (ICOIP) : Proc. of Intern. Conf. (11.11–12.11.2010). – Haiko, 2010. – Vol. 2. – P. 262–265. doi: 10.1109/ICOIP.2010.274.

Д. М. КОЗАЧЕНКО^{1*}, В. І. БОБРОВСЬКИЙ^{2*}, С. В. ГРЕВЦОВ^{3*}, М. І. БЕРЕЗОВИЙ^{4*}

^{1*}Науково-дослідна частина, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта kozachenko@upr.dit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

^{2*}Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (066) 444 63 95, ел. пошта bvi1973@yandex.ua, ORCID 0000-0001-8622-2920

^{3*}Львівський коледж транспортної інфраструктури, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Снопківська, 47, Львів, Україна, 79011, тел. +38 (032) 27614 90, ел. пошта Grevtsov@ukr.net, ORCID 0000-0003-2925-4293

^{4*}Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 03, ел. пошта niber07@mail.ru, ORCID 0000-0001-6774-6737

УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПІВ ПРИ ЗМЕНШЕННІ ГАЛЬМІВНОЇ ПОТУЖНОСТІ УПОВІЛЬНЮВАЧІВ

Мета. Дослідження спрямовано на розробку вимог до організації сортувального процесу в умовах, коли потужність гальмівних позицій є меншою за номінальну. **Методика.** Дослідження виконані з використанням методів теорії безпеки руху поїздів та математичного моделювання гіркових процесів. **Результати.** Чинні нормативно-технічні документи, що регламентують експлуатаційну роботу сортувальних гірок, не містять прямих вказівок про порядок дій у разі втрати вагонними уповільнювачами гальмівної потужності, в результаті чого виникають загрози безпеці руху. Зазначена проблема досить гостро стоїть перед залізницями України у зв'язку з хронічним дефіцитом коштів на ремонт і оновлення технічних засобів, в тому числі й сортувальних гірок. У той же час суттєве падіння обсягів роботи призводить до того, що необхідна переробна спроможність гірок може бути забезпечена і при часткових відмовах уповільнювачів. Найважливішим завданням при цьому є забезпечення безпеки розпуску в умовах параметричних відмов уповільнювачів. На підставі аналізу небезпечних ситуацій, виникнення яких можливе на сортувальній гірці, а також моделювання скочування відцепів встановлено зв'язок між величиною зусиль натискання шин уповільнювачів на колеса вагонів та режимами розпуску, що забезпечують безпеку сортувального процесу. Встановлено облас-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

ті застосування таких заходів, як зниження швидкості розпуску, переривання розпуску, використання додаткового гальмування башмаками. **Наукова новизна.** Вперше отриманий комплекс залежностей, що визначають експлуатаційні вимоги до потужності сповільнювачів сортувальних гірок і дозволяють експлуатаційному персоналу вводити обґрунтовані обмеження режимів розпуску для забезпечення безпеки сортувального процесу. **Практична значимість.** Результати виконаних досліджень можуть бути використані для доповнення «Інструкції з технічного обслуговування пристроїв механізованих і автоматизованих сортувальних гірок» із метою визначення обмежень режимів розпуску при виявленні зменшення потужності уповільнювачів нижче номінальної.

Ключові слова: сортувальна гірка; вагонний уповільнювач; безпека руху поїздів; сортувальний процес; розформування составів

Д. Н. КОЗАЧЕНКО^{1*}, В. И. БОБРОВСКИЙ^{2*}, С. В. ГРЕВЦОВ^{3*}, Н. И. БЕРЕЗОВЫЙ^{4*}

^{1*}Научно-исследовательская часть, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта kozachenko@upr.dnuit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

^{2*}Каф. «Станции и узлы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени акад. В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (066) 444 63 95, эл. почта bvi1973@yandex.ua, ORCID 0000-0001-8622-2920

^{3*}Львовский колледж транспортной инфраструктуры, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Снопковская, 47, Львов, Украина, 79011, тел. +38 (032) 27614 90, эл. почта Grevtsov@ukr.net, ORCID 0000-0003-2925-4293

^{4*}Каф. «Станции и узлы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 371 51 03, эл. почта niber07@mail.ru, ORCID 0000-0001-6774-6737

УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТЬЮ СКАТЫВАНИЯ ОТЦЕПОВ ПРИ УМЕНЬШЕНИИ ТОРМОЗНОЙ МОЩНОСТИ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ

Цель. Исследование направлено на разработку требований к организации сортировочного процесса в условиях, когда мощность тормозных позиций является меньше номинальной. **Методика.** Исследования выполнены с использованием методов теории безопасности движения поездов и математического моделирования горочных процессов. **Результаты.** Действующие нормативно-технические документы, регламентирующие эксплуатационную работу сортировочных горок, не содержат прямых указаний о порядке действий в случае потери вагонными замедлителями тормозной мощности, в результате чего возникают угрозы безопасности движения. Указанная проблема достаточно остро стоит перед железными дорогами Украины в связи с хроническим дефицитом средств на ремонт и обновление технического оборудования, в том числе и сортировочных горок. В то же время существенное падение объемов работы приводит к тому, что нужная перерабатывающая способность горок может быть обеспечена и при частичных отказах замедлителей. Важнейшей задачей при этом является обеспечение безопасности роспуска в условиях параметрических отказов замедлителей. На основе анализа опасных ситуаций, возникновение которых возможно на сортировочной горке, а также моделирования скатывания отцепов установлена связь между величиной усилий нажатия шин замедлителей на колеса вагонов и режимами роспуска, обеспечивающими безопасность сортировочного процесса. Установлены области применения таких мероприятий, как снижение скорости роспуска, прерывание роспуска, использование дополнительного торможения башмаками. **Научная новизна.** Впервые получен комплекс зависимостей, определяющих эксплуатационные требования к мощности замедлителей сортировочных горок и позволяющих эксплуатационному персоналу вводить обоснованные ограничения режимов роспуска для обеспечения безопасности сортировочного процесса. **Практическая значимость.** Результаты выполненных исследований могут быть использованы для дополнения «Инструкции по техническому обслуживанию устройств механизированных и автоматизированных сортировочных горок» с целью определения необходимых ограничений режимов роспуска при обнаружении уменьшения мощности замедлителей ниже номинальной.

Ключевые слова: сортировочная горка; вагонный замедлитель; безопасность движения поездов; сортировочный процесс; расформирование составов

REFERENCES

1. Bobrovskiy V.I., Kozachenko D.N., Rogov N.V. Analiz effektivnosti rezhimov tormozheniya ottsefov na sortirovochnykh gorkakh [Analysis of the effectiveness of the braking modes of cuts on humps]. *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 11, pp. 103-111.
2. Bobrovskiy V.I., Kozachenko D.N., Bozhko N.P., Rogov N.V., Berezovyy N.I., Kudryashov A.V. *Optimizatsiya rezhimov tormozheniya ottsefov na sortirovochnykh gorkakh* [Optimization of Braking Modes on Gravity Hump Yard]. Dnepropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2012. 236 p.
3. GBN V.2.3-37472062-1:2012. *Sporudy transportu. Sortuvalni prystroi zaliznyts. Normy proektuvannia* [Transport facilities. Sorting devices of railways. Design standards]. Kyiv, M-vo infrastruktury Ukrainy Publ., 2012. 112 p.
4. *Instruktsiia z tekhnichnoho obsluhovuvannia prystroiv mekhanizovanykh i avtomatyzovanykh sortuvalnykh hirok na zaliznytsiakh Ukrainy: TsSh-0048* [Manual for devices maintenance of mechanized and automated humps on the Railways of Ukraine]. Kyiv, 2007. 153 p.
5. Kobzev V.A. Napravleniye sovershenstvovaniya ispolnitelnykh ustroystv gorochnykh zamedlitley [Improvement direction of actuating devices of hump retarders]. *Avtomatika, telemekhanika i svyaz – Automation, Telemechanics and Communication*, 1996, no. 10, pp. 30-33.
6. Kozachenko D.N., Pozhidayev S.O., Zheleznov K.I. Ustoychivost vagonov pri tormozhenii zamedlitleyami [Stability of rail cars when they braking by retarders]. *Transportni systemy ta tekhnolohii perevezhen: zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Transport systems and transportation technologies: Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2015, issue 10, pp. 57-63.
7. Kutsenko M.Yu., Yefimenko Yu.Yu., Vorona V.V., Kurilina N.M. *Vyznachennia maksimalnoi dovezhyny vidchepa na sortuvalnykh hirkakh Pivdennoi zaliznytsi v umovakh vykorystannia novykh upovilniuvachiv: zbirnyk naukovykh prats* [Determination of the maximum length of a cut on humps at the Southern Railway in conditions of new retarders usage]. Kharkiv, 2014, issue 146, pp. 38-42.
8. Lisenkov V.M. *Statisticheskaya teoriya bezopasnosti dvizheniya poyezdov* [Statistical theory of traffic safety]. Moscow, RISTI RAS Publ., 1999. 332 p.
9. *Metodychni rekomendatsii operatoram sortuvalnykh hirok shchodo upravlinnia prystroiamy na mekhanizovanykh i avtomatyzovanykh sortuvalnykh hirkakh* [Guidelines for operators of hump yards upon devices management at automated and mechanized hump yards]. Kyiv, Inpres Publ., 2013. 108 p.
10. Modin N.K. *Bezopasnost funktsionirovaniya gorochnykh ustroystv* [Function safety of hump devices]. Moscow, Transport Publ., 1995. 173 p.
11. Mukha Yu.A., Tishkov L.B., Sheykin V.P. *Posobiye po primeneniyu Pravil i norm proyektirovaniya sortirovochnykh ustroystv* [Guide for application of rules and norms of sorters designing]. Moscow, Transport Publ., 1994. 220 p.
12. Ostrovskiy A.M., Lisyutin A.M. Propusk vagonov s opasnymi gruzami cherez sortirovochnyye gorki [Handling of cars with dangerous freight through hump yards]. *Nauchnyye trudy SWorld* [Scholarly works SWorld], 2012, vol. 2, no. 1, pp. 38-41.
13. Pozhidayev S.A., Filatov Ye.A., Ivanov Ye.N. Avtomatizirovannoye proyektirovaniye plana gorochnoy gorloviny s uchetom obespecheniya bezopasnogo vzaimodeystviya dlinnobaznogo podvizhnogo sostava [Automated design plan yard the neckline, taking into account secure the long-wheelbase interaction of rolling stock]. *Transportni systemy ta tekhnolohii perevezhen: zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Transport systems and transportation technologies: Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2013, issue 6, pp. 82-85.
14. *Pravila i normy proyektirovaniya sortirovochnykh ustroystv na zheleznykh dorogakh Soyuzs SSR: VSN 207–89* [Rules and design standards of sorters on the railways of the USSR]. Moscow, Transport Publ., 1992. 104 p.
15. Sachko V.I., Tartynskiy V.A. Spetsializirovannaya sistema podderzhki prinyatiya resheniy po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu gorochnogo oborudovaniya [Specialized decision support system for the maintenance and repair of hump equipment]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universitetata putey soobshcheniya* [Bulletin of Rostov State Transport University], 2010, no. 3 (39), pp. 188-122.
16. Senko V.I., Pastukhov M.I., Makeyev S.V., Pastukhov I.F. Analiz prichin povrezhdeniya i vozmozhnosti prodleniya sroka sluzhby bokovykh ram telezhok gruzovykh vagonov [Analysis of damages and possibility of

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

- extending the service life of the side frames in freight car bogies]. *Vestnik GGTU im. P. O. Sukhogo* [Bulletin of Gomel State Technical University named after Sukhoi], 2010, no. 4, pp. 13-18.
17. Kharitonov B.V. *Puti snizheniya povrezhdayemosti bokovykh ram telezhek gruzovykh vagonov na sortirovochnykh gorkakh*. Kand.Diss. [Ways to reduce the damage of the side frames in freight car bogies on humps. Cand. Diss.]. Moscow, 1999. 132 p.
 18. Shabelnikov A.N., Olgezyer I.A., Rogov S.A. Upravleniye tormoznymi sredstvami sortirovochnykh gorok: povysheniye kachestva i effektivnosti [Braking means controlling of marshalling yards: improving the quality and effectiveness]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of Rostov State Transport University], 2015, no. 2, pp. 74-79.
 19. Shysh V.O. Avtomatyzatsiia ta mekhanizatsiia tekhnolohichnykh protsesiv na sortovalnykh stantsiiakh [Automation and mechanization of processes for sorting stations]. *Zaliznychnyi Transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2011, no. 3, pp. 44-47.
 20. Bobrovskiy V., Kozachenko D., Dorosh A., Demchenko E., Bolvanovska T., Kolesnik A. Probabilistic Approach for the Determination of Cuts Permissible Braking Modes on the Gravity Humps. *Transport Problems. Problemy Transportu*, 2016, vol. 11, issue 1, pp. 147-155. doi: 10.20858/tp.2016.11.1.14.
 21. Prokop J., Myojin Sh. Design of Hump Profile in Railroad Classification Yard. *Memoirs of the Faculty of Engineering*, 1993, vol. 27, no. 2, pp. 41-58.
 22. Zarecky S., Grun J., Zilka J. The newest trends in marshalling yards automation. *Transport Problems. Problemy Transportu*, 2008. Vol. 3, vol. 4, pt. 1, pp. 87-95.
 23. Zhang C. Wei Y., Xiao G., Wang Z., Fu J. Analysis of Hump Automation in China. Proc. of Second Intern. Conf. on Transportation and Traffic Studies, 2000, pp. 285-290. doi: 10.1061/40503(277)45.
 24. Zhang C., Li Y. Research on Multi-objective Optimization of Vertical Section of the Hump Pushing Zone. Proc. of Intern Conf. «Optoelectronics and Image Processing (ICOIP)». Haiko, 2010, vol. 2, pp. 262-265. doi: 10.1109/ICOIP.2010.274.

Prof. V. I. Havryliuk, Dr. Sc. (Phys. and Math.) (Ukraine); Prof. V. Ya. Negrey, Dr. Sc. (Tech) (Byelorussia) recommended this article to be published

Received: Jan. 14, 2016

Accepted: May 12, 2016

UDC 656.25

M. KYCKO^{1*}

^{1*}Dep. «Quality and Certificatio Division», Railway Institute, Chłopickiego Józefa St., 50, Warsaw, Poland,
04-275, tel. +48 (84) 473 10 71, e-mail mkycko@ikolej.pl, ORCID 0000-0002-8447-2472

COMMAND – CONTROL AND SIGNALING SYSTEM DOCUMENTATION AND ITS SAFETY

Purpose. The publication presents the importance and influence of railway traffic control system documentation on its safety. Furthermore, it presents certain selected issues of formal and semi-formal description. **Methodology.** Development of correct and complete descriptions of the informal, semi-formal and formal becomes important in terms of safety requirements. Background documentation and forms of command-control and signaling system description are the base documents of proof of safety. It seems necessary to implement the analysis of the design, manufacture process and operation of safety-related equipment into the work of the Polish railways. Firstly, this applies to traffic control devices. **Findings.** This publication also shows the importance of risk analysis, which is essential when deciding on the implementation of signaling systems to operate, which require both in the regulations and making rational decisions about the implementation of the systems. **Originality.** Presented a problem changes the approach to certain records and makes us aware of their validity. **Practical value.** The presented problems can help understand certain legal requirements.

Keywords: control systems; formal description; risk; safety; informal description.

Introduction

Safety is the basis of any rail transport and signaling system. Risk analysis is a key element of safety management systems in rail transport. The method used, good practices, practical and diligent approach to risk analysis largely determine the efficiency of activities and effectiveness of measures designated to improve railway safety. The importance of safety may be analyzed in terms of a wide range of factors.

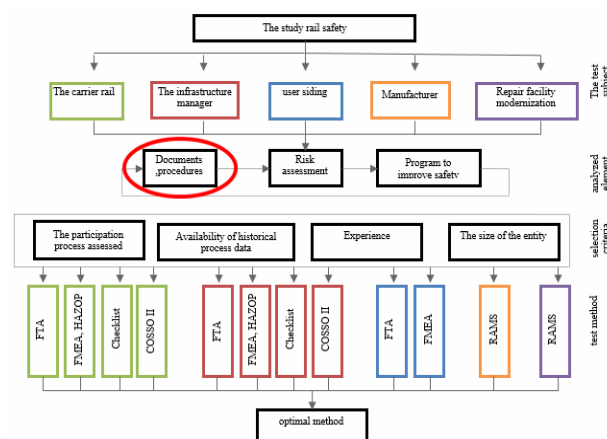


Fig. 1. Safety components and test methods
for rail transport

The diagram (Fig. 1) shows that documentation is an important element of the safety components.

Within the RTC systems, safety is the key factor which qualifies a particular system for release to service. Following Poland's accession to the EU structures within the area of safety, the following standards have become applicable: PN-EN 50126, EN 50128 and EN 50129]. PN-EN 50126 standard determines the reliability, availability, maintainability and safety (RAMS), as a process based on the system life-cycle. This process defines particular stages of the system and procedures for approval before moving on to the next stage (requirement specification, design, implementation, etc.). Standard EN 50128 specifies the procedures and technical requirements for designing software for secure electronic system of railway control and security [8]. It should be noted that this standard is not fully obligatory. Standard EN 50129 defines the requirements for the design, testing, commissioning and approval of electronic systems, subsystems and related signaling devices with security in railway applications.

Purpose

The introduction of electronic systems in the field of railway traffic control into the railway transport required defining the rules which would replace or supplemented the fail-safe principle. To this end, the safety integrity levels (SIL) were de-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

finied. The fact that they are in use means that the ail-safe principle is applied at the system function or module levels, and at the hardware lever, an analysis is carried out concerning the security measures preventing random and systemic damage, where the occurrence of random damage is associated with defects of memory, processors, etc. and the occurrence of systemic damage is associated with human errors throughout the entire system life cycle, which means that these also include, among other things, its design and maintenance.

Neither the fail-safe principle nor a high level of SIL, usually SIL4, which are interpreted as a guarantee of full security, do not ensure complete elimination of accidents and events in rail transport. According to the Community law, security means the absence of unacceptable risk (i.e. no hazard). In order to achieve security, according to the prevailing approach, in accordance with the Community law, it is necessary to manage security through security monitoring following respective risk management. Risk management involves scheduled application of management policies, procedures and practices in the field of risk analysis, risk valuation and hazard recording by infrastructure managers and railway carriers. Security monitoring is the systematic application of management strategies, priorities and plans by the same managers and carriers in order to maintain security.

Methodology

The process of designing, manufacturing, deployment and operation of computerized control-command and signalling systems due to the complexity and compliance with the safety requirements while maintaining the conditions of integrity of the structure of hardware and software SIL 4 requires application of specific rules and procedures. In the area of knowledge relating to this process, there are a number of different standards developed by individual centres, academic and industrial societies which develop their own standards and do not meet the mutual compatibility requirements. Regardless of any individually developed methods, the process of control-command and signalling system development may proceed methodically based on the recommended scheme called the V cycle, taking into account the assumptions of the RAMS analysis.

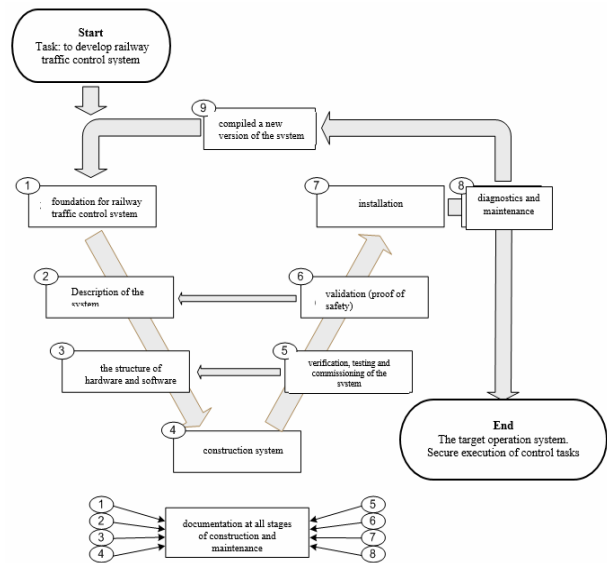


Fig. 2. Cycle V signaling system construction

The diagram (Fig. 2) shows the scheme of the control-command and signalling system implementation process which lists each step of the process and shows that it is important to create records of every stage of the system development. Creation of the said records at every stage is intended to mitigate the number of errors committed in the course of the system development, thus increasing the level of security of such systems. The system design and development begin with the control-command and signalling system assumptions development which include informal description documents. In the Polish design and investment reality, these may include documents prepared at the stage of orders, e.g. Specification of Material Terms and Conditions of Order, Ordered Item Description and other informal documents, including an informal analysis of the specifications or documents specifying additional control-command and signalling system requirements completed a detailed formulation of principles of the control-command and signalling system. Documents such as the Specification of Material Terms and Conditions of Order, Ordered Item Description form the basis of performed tasks, which is why it is important that they contain clear and accurate information.

Once the informal documents are gathered, semi-formal description documents are designed. Based on the semi-formal description formal description is prepared which contains specification of data bases and the dependency relationship. On

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

the basis of the formal specifications algorithms and software are developed. The process of creating the semi-formal and formal descriptions may also be automated by use of information systems. A sample description of the sequential formation of the specifications related to the drivers, confirming the adopted principle of applying the subsequent stages of design, was presented e.g. in [3], in accordance with IEC 61131 standard. In the process of creating a control system involves engineers and experts of different specialties including specialists who prepare the informal descriptions in natural language, specialists in control technique and technology as well as IT specialists and programmers. The knowledge and experience of the people involved in the system development is essential, otherwise confusion or errors may arise, which ultimately has material adverse impact on the safety level.

The informal control-command and signalling system description documents include, but are not limited to:

- the above-said Specification of Material Terms and Conditions of Order, Ordered Item Description;
- instructions, e.g. [4] and other specific documents, depending on the specific requirements and objectives for which the control-command and signalling system is developed;
- station work description (station work technology)
- control-command and signalling equipment scheme.

The formal and semi-formal documents include, but are not limited to conduct ways specification within the station area with the demonstration of the way objects and safety facilities;

- dependency table and/or other related documents;
- scheme and table of inter-relations of a station track scheme (so-called track system model)
- conducts runs cards;
- contradictory runs table.

The formal description documents are collections of data and relations expressed, depending on the accepted standards, by more or less advanced syntactic and editorial forms. The sequence of development of the control-command and signalling system descriptions is shown in Fig. 3.

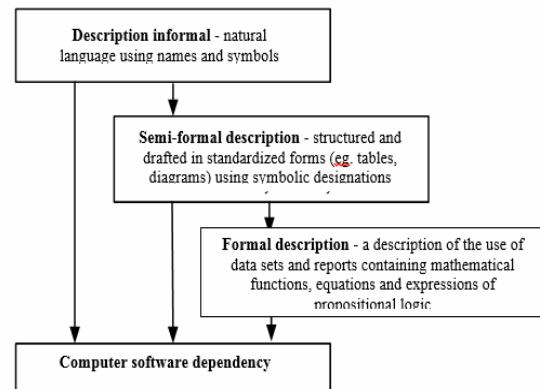


Fig. 3. Descriptions of the control-command and signalling system

Development of informal, semi-formal and formal (i-s-f) descriptions, and consequently the system designing should be in particular consistent with the assumptions and guidelines of many documents and regulations. The beginning of the design process is determined by the informal description documentation underlying the semi-formal description, which in turn becomes the basis for a formal description, which, as the only form of description, enables algorithmization and development of dependency computer software. This means that any errors committed or not detected at the first stage of the process, i.e. in the course of development of informal records, are usually reproduced in subsequent process stages. All forms of «i-s-f» description are mandatory documents also used i.a. for the purposes of validation, i.e. conformity (consistency) verification, assumptions and testing review. However, despite the clearly formulated guidelines for the design principles, in practice, there is no indication of all the substantive description elements. This enables the designers to achieve the various control-command and signalling system concepts. Certain conditions that should be fulfilled by any «i-s-f» descriptions were indicated. These conditions include clarity of information, completeness of documentation and the principle of generation of the subsequent document on the basis of algorithmization he previously developed documents.

The system documentation greatly influences the level of safety of a particular railway traffic control system. The most important documents of the control-command and signalling system include certification documents that are required un-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

der Directive 2008/57/EC of 17 June 2008, and the technical specifications for interoperability (TSI). In accordance with the above Directive, in order to be put into service, each subsystem or interoperability constituent shall receive an EC verification certificate, which is issued by the notified body. The notified body selected by the project contractor will be able to issue the certificate of EC verification after it has checked and confirmed that the subsystem or interoperability constituent meet all relevant Technical Specifications for Interoperability. The TSI requirements are checked at various stages of investment, i.e. at the design, construction and final testing stages.

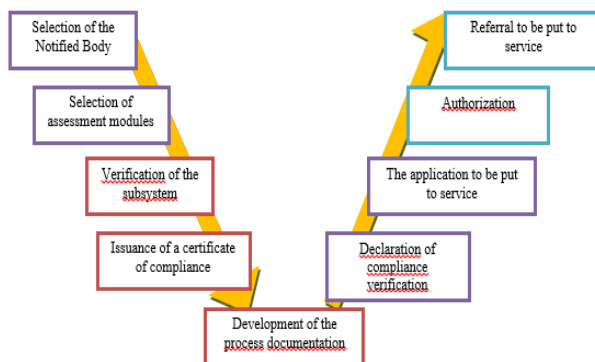


Fig. 4. Stages of the process of obtaining approval to be put to service [5]

In order to be put to service, the documentation of a given control-command and signaling system must be complete and in accordance with the requirements and standards cited in the TSI (Decision 2012/88/EU, as amended), namely also with the safety standards, i.e. PN-EN 50126, BS EN 50128 and BS EN 50129 standards.

The control-company subsystem must be built and installed in accordance with the Community law, and at the same time it must be compatible with the existing railway system to which it is activated. The notified bodies are responsible for the examination of the subsystem conformity with the essential requirements of the Community. On the other hand, the bodies authorized by the Member State of the European Union where the subsystem is to be placed in service, perform the tasks related to verification of compliance of the subsystem with the national regulations.

The certification process is based largely on an assessment of the correctness and consistency of

documentation which is not always so obvious. The certification process is designed to increase safety, or to exclude unacceptable risks in the manufactured command-control and signaling system.

Findings

The approach to the safety of rail transport in Poland and in Europe undergoes significant modification. These changes were initiated in 2004 under the provisions of the Directive on rail safety. This Directive makes it clear that all operators of railway systems, infrastructure managers and railway carriers should bear full liability for the security of the system, each one to their respective extent. This issue is a novelty in the rail industry and causes a lot of confusion of interpretation disputes, in particular due to the fact that it falls within the overlapping areas of technical and management sciences. The units assessing the adequacy of the risk management process in railway transport were forced to undertake activities under the Commission Regulation (EC) No 352/2009 [10] on the adoption of a common safety method on risk evaluation and assessment, and the Commission Implementing Regulation (EU) No 402/2013 on the common safety method for risk evaluation and repealing Regulation (EC) No 352/2009. The introduction of the provisions of these regulations created the need for a systematic approach to risk management processes, including risk evaluation and assessment, which apply to all changes of the railway system considered significant. Risk analysis and risk are inherently connected to the security of the system, therefore they are one of the important elements in deciding on the application of the system.

The provisions of Polish and European standards require that the risk analysis be carried out not only with respect to the safety analysis, but also require that the risk analysis be a mandatory part of the decision-making process concerning the implementation of the system into service. The command-control and signaling system documentation should be prepared at every stage of the manufacturing, implementation or operation process. With the development of appropriate documentation, especially at the stage of the concept and design, the system can be considered safe.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Currently, a lot of risk analysis methods are applied such as E.g. the event tree analysis, fault tree analysis, or analysis of the types and effects of unfitness. The IEC 60300-3-9 standard recommends a risk analysis in the following order:

- scope delineation (area);
- identification of hazards and their consequences;
- risk assessment (impact and frequency);
- review
- documentation;
- updated analysis.

Originality

The infrastructure managers and railway carriers, by making changes in their activities, and accepting changes in subcontractors, regardless of whether these changes are of a technical nature, whether operational or organizational, are obliged to perform risk valuation, which is assessing the acceptability of risk introduced by the amendment. Such an assessment it is also required from the contracting entities and producers and contractors if they engage a notified body to carry out the EC verification procedure of the subsystem. This requirement means a commitment of contracting entities, manufacturers and contractors to carry out the assessment of the acceptability of risk introduced by the construction, modernization, renewal of the subsystem. Based on the criteria of risk acceptability, the acceptability of a specific risk is assessed; these criteria are used to determine whether the level of risk is low enough not to make it necessary to take immediate action to reduce it. The risk assessment resulting from a significant change, is carried out by verification of application of codes of practice or by comparison with similar systems or by open risk estimation. The choice of method is left to the infrastructure manager, the carrier, the contracting entity, manufacturer or contractor who conducts evaluation of the acceptability of risks arising from the significant changes and cannot be imposed by an independent Assessment Unit. In the event of any significant change it is required to carry out an independent assessment of the adequacy of the risk management process and its results, conducted by the Assessment Unit. With each change into the system or of any risk analysis must be created by appropriate documentation, which would later be

assessed by the competent assessment bodies.

At each stage of creating a command-control and signaling system errors may occur, which then affect the proper operation of the system or its safety. The diagram (Fig. 5) shows an example of the cause of errors which, at a certain stage of development of the system, may cause a decrease the level of security.

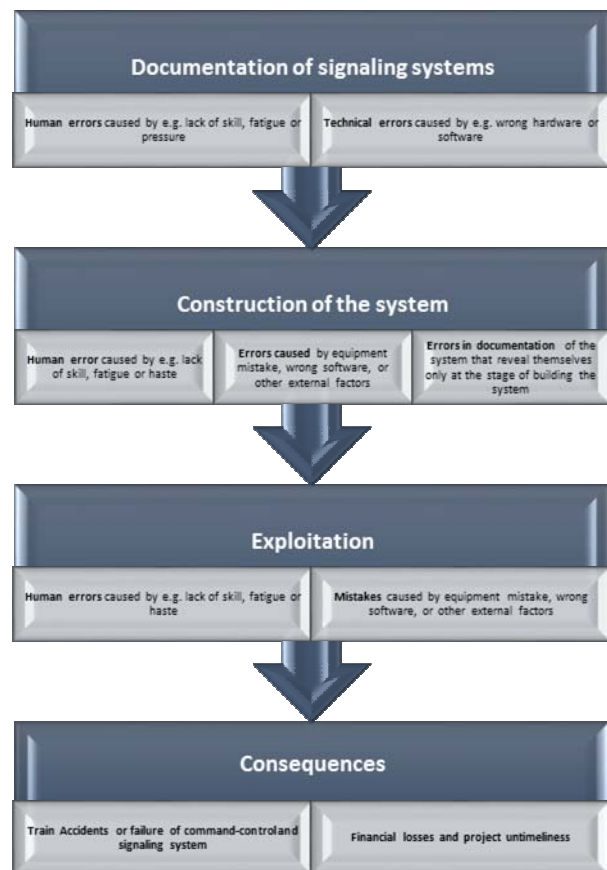


Fig. 5. Scheme of errors and their causes during the construction of the command-control and signaling system

The main factor in reducing the level of security is the human factor. Often at the first stage of the creation of the system documentation errors arise due to lack of knowledge and training among the staff, which at the later stages can lead to serious financial losses, and more. The organization of the competence of personnel of all stakeholders is certainly a difficult challenge.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Conclusion

The influence of the command-control and signaling system documentation on the safety of such systems, as presented in this publication, demonstrates the importance of correct documentation created in the process of release to service. Preparation of informal and semi-formal description documents is obligatory, but nevertheless they must comply with the relevant requirements and should be analyzed in terms of risk assessment. The formal description documents enable algorithmization by developing a series of tools relevant to the design documentation for the command-control and signaling system of under safe conditions, that is, i.a. the development of the safety confirmation. The question of formalizing the description of signaling systems, although a number of secure computer systems have been developed, is still valid. The search for new forms of standardization of documentation – descriptions of signaling systems, and including the formalization of the description, is used to minimize the risk to preserving the condition of the integrity of the system-level design process. When creating informal or formal documents it is crucial that they are prepared by competent personnel which have a large impact on the correctness of these documents, which of course also results in an increase in the level of security of the system.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Białoń, A. Problemy certyfikacji urządzeń srk na przykładzie ERTMS / A. Białoń, P. Gradowski, A. Toruń // Problemy kolejnictwa. – Warszawa, 2011. – P. 81–85.
2. Białoń A. Bezpieczeństwo i ryzyko na przykładzie urządzeń sterowania ruchem kolejowym Problemy kolejnictwa / A. Białoń, M. Pawlik. – Warszawa, 2014. – Z. 163. – P. 27–28.
3. Dyrektywa 2008/57/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 czerwca 2008 r. w sprawie interoperacyjności systemu kolei we Wspólnocie. – P. 8–14.
4. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/110/WE z dnia 16 grudnia 2008 r. zmieniająca dyrektywę 2004/49/WE w sprawie bezpieczeństwa kolei wspólnotowych.
5. Fischer, S. Systematic Specification of a Logic Controller for a Delayed Coking Drum / S. Fischer, H. Teixeira, S. Engell // Proc. of the 11th Intern. Symposium on Process Systems Engineering. – Singapore, 2012. – Vol. 31. – P. 355–359. doi:10.1016/B978-0-444-59507-2.50063-9.
6. Gradowski, P. Aktualne problem certyfikacji urządzeń sterowania ruchem kolejowym / P. Gradowski, A. Białoń. – Logistyka. – 2014. – № 3. – P. 2183–2184.
7. Instrukcja o prowadzeniu ruchu pociągów Ir-1 (R-1), tekst ujednolicony przyjęty uchwałą Nr 176/2008 oraz zarządzeniami Nr 3/2011 i Nr 13/2014 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.
8. Kycko, M. Koncepcja metody oceny i wyboru rozwiązania ERTMS/ETCS dla linii kolejowej o zadanych parametrach ruchowo – przewozowych, praca magisterska / M. Kycko. – Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Warszawa, 2015. – P. 39–58.
9. Maciejewski, W. Basis of the Formalization and the Algorithmization of the Control Functions in ATC Systems / M. Maciejewski, W. Zabłocki // Communications in Computer and Information Science. Transport Systems Telematics. – 2010. – Vol. 104. – P. 253–262. doi: 10.1007/978-3-642-16472-9_28.
10. PN EN 50129:2007. Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Safety related electronic systems for signaling. – P. 20–27.
11. PN EN 50128:2011. Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Software for railway control and protection systems. – P. 15–16.
12. PN EN 50126:2002. Railway applications – The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety. – P. 7–10.
13. Rozporządzenie Komisji (WE) nr 352/2009 w sprawie przyjęcia wspólnej metody oceny bezpieczeństwa w zakresie wyceny i oceny ryzyka. – P. 10–17.
14. Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) nr 402/2013 w sprawie wspólnej metody oceny bezpieczeństwa w zakresie oceny i wyceny ryzyka i uchylające rozporządzenie nr 352/2009. – P. 13–15.
15. Wymagania bezpieczeństwa dla urządzeń sterowania ruchem kolejowym – DG PKP KA nr KA2b-5400-01/98 z dnia 06.02.1998 r.
16. Wytyczne techniczne budowy urządzeń sterowania ruchem kolejowym Ie-4 (WTB-E10), Załącznik do zarządzenia Nr 1/2014 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 14 stycznia 2014. – P. 100–107.
17. Zabłocki, W. Podstawy opisu formalnego zależności stacyjnych / W. Zabłocki // TRANSPORT: Prace naukowe / Politechnika Warszawska. – Warszawa, 2007. – Z. 62. – P. 2–6.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

М. КИЦКО^{1*}

^{1*}Каф. «Відділ якості та сертифікації», Залізничний інститут, вул. Хлопцького Юзефа, 50, Варшава, Польща, 04-275, тел. +48 (84) 473 10 71, ел. пошта mkycko@ikolej.pl, ORCID 0000-0002-8447-2472

**УПРАВЛІННЯ, КОНТРОЛЬ, ДОКУМЕНТАЦІЯ
СИСТЕМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ЇЇ БЕЗПЕКА**

Мета. В науковій статті необхідно розглянути важливість використання документації системи управління рухом поїздів та її вплив на безпеку руху. Крім того, треба висвітлити певні виборчі питання формального і напівофіційного опису цієї документації. **Методика.** Розробка правильних та повних неофіційних, напівофіційних і офіційних описів стає важливою з точки зору вимог безпеки. Пояснювальна документація, форми управління-контролю та опису системи сигналізації є основними документами доказу її безпеки. Необхідним є здійснення аналізу проектування, процесу виробництва та експлуатації обладнання, пов'язаного з безпекою руху в роботі польських залізниць. Перш за все, це відноситься до пристроїв управління дорожнім рухом. **Результати.** Дана публікація показує важливість аналізу ризику, який має суттєве значення для прийняття рішення щодо впровадження систем сигналізації у роботу. Ці результати потрібні також для нормативних актів. **Наукова новизна.** Вирішення представлених проблем змінює підхід до певних даних і доводить до відома про їх дійсність. **Практична значимість.** Розглянуті в статті питання допомагають зрозуміти певні юридичні вимоги.

Ключові слова: системи управління; формальний опис; ризик; безпека; неформальний опис

М. КИЦКО^{1*}

^{1*}Каф. «Отдел качества и сертификации», Железнодорожный институт, ул. Хлопицкого Юзефа, 50, Варшава, Польша, 04-275, тел. +48 (84) 473 10 71, эл. почта mkycko@ikolej.pl., ORCID 0000-0002-8447-2472

**УПРАВЛЕНИЕ, КОНТРОЛЬ, ДОКУМЕНТАЦИЯ
СИСТЕМЫ СИГНАЛИЗАЦИИ И ЕЕ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Цель. В научной статье необходимо рассмотреть важность использования документации системы управления движением поездов и ее влияние на безопасность движения. Кроме того, надо осветить определенные избирательные вопросы формального и полуофициального описания этой документации. **Методика.** Разработка правильных и полных неофициальных, полуофициальных и официальных описаний становится важной с точки зрения требований безопасности. Пояснительная документация, формы управления контролем и описания системы сигнализации являются основными документами доказательства ее безопасности. Необходимо проведение анализа проектирования, процесса производства и эксплуатации оборудования, связанного с безопасностью движения в работе польских железных дорог. Прежде всего, это относится к устройствам управления дорожным движением. **Результаты.** Данная публикация показывает важность анализа риска, который имеет существенное значение для принятия решения по внедрению систем сигнализации в работу. Эти результаты нужны также для нормативных актов. **Научная новизна.** Решение представленных проблем меняет подход к определенным данным и доводит до сведения об их действительности. **Практическая значимость.** Рассмотренные в статье вопросы помогают понять определенные юридические требования.

Ключевые слова: системы управления; формальное описание; риск; безопасность; неформальное описание

Prof. V. G. Sychenko, D. Sc. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Accessed: Feb., 29. 2016

Received: May, 31. 2016

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК [504.5 : 691.212 – 047.36] : 378.091.6

Л. Ф. ДОЛИНА^{1*}, В. П. КІЛЬОВИЙ^{2*}, Д. В. АСТАХОВ^{3*}, М. В. КАЛИМБЕТ^{4*}

^{1*}Каф. «Гідравліка та водопостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010, тел. +38 (056) 373 15 09, ел. пошта gdravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0001-6082-7091

^{2*}Штаб цивільного захисту, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010, тел. +38(0562) 47 19 72, ел. пошта shtabcz@rr.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-2223-3951

^{3*}Фак. «Промислове та цивільне будівництво», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010, тел. +38 (056) 373 15 09, ел. пошта demian2803@mail.ru, ORCID 0000-0002-7654-2207

^{4*}Фак. «Промислове та цивільне будівництво», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010, тел. +38 (056) 373 15 09, ел. пошта megusta.ua@yandex.ua, ORCID 0000-0002-2209-6395

МОНІТОРИНГ РАДІОАКТИВНОСТІ СТУДЕНТСЬКОГО МІСТЕЧКА ДНУЗТ

Мета. Робота спрямована на визначення радіоактивного забруднення на території студентського містечка Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ). **Методика.** Дозиметрами вимірювалось радіоактивне забруднення у різних місцях (точках) студентського містечка ДНУЗТ, особлива увага приділялася місцям скупчення людей. Центрами вимірів стали студентські гуртожитки, пам'ятники, зупинки, головні входи в новий та старий корпуси, аудиторії, підвали, басейн, котельня та інші. **Результати.** На основі дозиметричного контролю вперше в історії університету виявлені джерела радіоактивного забруднення студентського містечка та території ДНУЗТ. Найбільший радіаційний фон спостерігається у трьох точках, а саме: постаменті пам'ятника М. І. Калініну, пам'ятнику студентам-воїнам, головному входу у новий корпус (колони). Це можна пояснити наявністю гранітових матеріалів, із яких зроблені постаменти та сходи. **Наукова новизна.** Найбільший вклад у величину сумарної річної ефективної дози опромінення людей вносять джерела іонізуючого випромінювання (ДІВ) будівельних матеріалів (до 65–70 %). Рівень радіоактивності будівельних матеріалів визначається вмістом у них природних радіонуклідів, які входять в урано-радієвий та торієвий ряди розпаду (18 і 12 радіонуклідів), а також калія-40. Радіоактивність будівельних матеріалів оцінюється вмістом в них домінуючих радіонуклідів радія-226, торія-232 і калія-40. Їх домінуюча роль пояснюється тим, що ці довгоживучі високоенергетичні α , β , μ -випромінювачі є продуктами розпаду радія-226 в урановому ряду і радія-224 у торієвому ряду з виділенням радіоактивних газів (радон-222 та радон-220). Радіоактивні гази збираються у підвалах навчальних корпусів, їх розпад супроводжується 100 % альфа-випромінюванням, який є найбільш небезпечним. **Практична значимість.** За результатами дослідження зроблені наступні висновки: біля об'єктів із підвищеним радіоактивним випромінюванням слід поставити покажчики радіоактивності та попередження щодо небезпеки для дітей і молоді. З метою зменшення радіоактивного впливу радону на студентів та співробітників в університеті слід зробити більш ефективну вентиляцію підвалів навчальних корпусів, басейну та гуртожитків.

Ключові слова: радіоактивне опромінювання; моніторинг; студентське містечко ВНЗ; будівельні матеріали; радон

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Вступ

Радіоекологічний моніторинг є складовою загального екологічного моніторингу. Радіоекологічний моніторинг – комплексна інформаційна технічна система спостережень, досліджень, оцінювання й прогнозування радіаційного стану біосфери, територій поблизу АЕС і потерпілих вод від радіаційних аварій [3, 4]. Серед різноманітних видів іонізуючих випромінювань надзвичайно важливими під час вивчення безпеки здоров'я і життя людини є випромінювання, що виникають в результаті розпаду ядер радіоактивних елементів, тобто радіоактивне випромінювання. Природний радіаційний фон є результатом свідомої діяльності людини.

Радіаційна безпека – це забезпечення захисту від іонізуючого опромінення окремих осіб, їх потомства і людства в цілому, і в той же час створення відповідних умов для необхідної практичної діяльності людини, в процесі якої вона може потрапляти під дію іонізуючих випромінювань. Дозиметричний контроль забруднених і незабруднених територій здійснюють для своєчасного отримання даних про дози опромінення людей та ступінь зараження місцевості, техніки тощо, для вжиття заходів щодо зменшення небезпеки радіаційного ураження.

Мета

Метою роботи є визначення радіоактивного забруднення на території студентського містечка Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. «У період будівельного буму через відсутність нормативних вимог щодо обов'язкового радіологічного контролю в місто Дніпро була завезена значна кількість будівельних конструкцій, облицювального каменю і щебеню (в основному з Токівського кар'єру) з підвищеною радіоактивністю. У результаті радіаційний фон у місті підвищився до 24 мкР/год, і він уже вважається нормальним (природний 7–15 мкР/год)» [5]. Ці слова можуть бути віднесені не тільки до Дніпропетровська, але й до багатьох міст і селищ України. Раніше та деколи й зараз під час ухвалення рішень з проектування й будівництва

економічні інтереси превалюють над екологічними. Водночас «житло людини зобов'язане мати екологічну цінність і, подібно до людини з дипломатичним паспортом, імунітет екологічної безпеки» [5].

Екологія житла – комплекс архітектурно-будівельних, географічних, фізико-хімічних та інженерно-технічних напрямків, які в рамках екології людини вивчають взаємодію і взаємовплив невиробничої і виробничої діяльності людини й природних процесів, що відбуваються в умовах живої екосистеми на території міст, навчальних закладів (як приклад, ДНУЗТ), і зони їх впливу [1, 13, 15].

Вибух реактора №4 на Чорнобильській АЕС 26 квітня 1986 року вкрай негативно вплинув на навколишнє середовище і об'єктивною реальністю наших днів є те, що мільйони людей в Україні змушені жити на забрудненій радіонуклідами території. Також у наші будинки з-під землі безперервно надходить радіоактивний газ радон.

Залежно від дії на живий організм опромінення поділяють на зовнішнє і внутрішнє [16]. Зовнішнє опромінення припускає, що джерело дії перебуває поза організмом. Це опромінення формується трьома складовими:

- космічним випромінюванням;
- випромінюванням радіонуклідів, розсіяних у біосфері;
- випромінюванням матеріалів і споруд, створених людиною.

У випадку, якщо радіоактивні речовини з їжею, водою або вдихуванням повітрям потрапляють всередину організму, з'являється джерело внутрішнього опромінення.

У людини, ссавців, птахів та інших аеробіонтів, які мають легеневи́й апарат, внутрішнє опромінення формується двома складовими: радіонуклідами, які відклалися в тканинах, і радіонуклідами, що затримались в слизовій оболонці органів дихання (радон та ін.).

Для людини середня тканинна доза зумовлена продуктами розпаду радону й торію, при концентрації в повітрі еманцій близько 11,1 Бк/м³ дорівнює $2,5 \times 10^{-5}$ Дж/кг за рік. Доза опромінення базальних літок бронхіального епітелію внаслідок переважного осідання на ньому дочірніх продуктів розпаду еманцій приблизно в 5 разів більше ніж доза опромі-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

нення альвеолярного епітелію. Поглинена доза в тілі людини від природних джерел випромінювання на більшій частині суші становить в середньому близько 10^{-3} Дж/кг за рік, 70–80 % цієї величини створює випромінювання, решта припадає на внутрішнє опромінення [12].

Природні променеві навантаження на людину, особливо ті, що зумовлені:

– випромінюванням, пов'язані з радіаційним фоном будов, який визначається трьома складовими:

- вторинним космічним випромінюванням;
- випромінювання будівельних матеріалів;
- радіоактивністю аерозолів.

Доза вторинного космічного випромінювання прямо залежить від географічного положення населеного пункту й типу будови житла.

В основному дозу зовнішнього опромінювання становлять випромінювачі нукліди: свинець-214, вісмут-214, торій-228, актиній-228, а також калій-40, що знаходиться в основному у верхньому шарі ґрунту.

Внутрішнє опромінення людини здійснюється радіонуклідами, які потрапляють всередину організму з повітрям, водою, їжею. Найбільше впливають радон, калій, радій, полоній та ін.

Річна доза залежить від геологічних, ґрунтових, атмосферних та інших умов. В районах з нормальним фоном (ДНУЗТ) річна ефективна еквівалентна доза внутрішнього опромінювання майже вдвічі більше ніж доза зовнішнього опромінювання: вони становлять відповідно близько 1,35 мЗв (135 мрем) і 0,65 мЗв (65 мрем), з них 0,3 мЗв (30 мрем) припадає на космічне випромінювання.

Слід зазначити, що під час природного іонізуючого випромінювання річна доза опромінювання дитячого організму в 1,5 разу вища, ніж для дорослих. Це пояснюється особливістю фізіології дитячого організму. Так, діти одержують у середньому 3 мЗв (300 мрем) продуктів розпаду радону з повітрям, що вдихається. У той же час період напіввиведення цезію-137 у дорослих становить 70–140 (у середньому 110) діб, а у дітей, залежно від віку – від 50 до 20 діб (діти, залежно від віку, мають різні терміни метаболічних (обмінних) процесів. Чим молодший організм, тим швидше за інших рів-

них умов очищується від інкорпорованих радіонуклідів.

У природних умовах радіонукліди потрапляють у воду, ґрунт, живі й рослинні організми. Тому питання щодо характеру розподілу радіонуклідів у середовищі становить певний інтерес [13].

Середні частки повної активності радіонуклідів у воді становлять 27, у піщаному ґрунті – 43, у біомасі – 28 %.

Незважаючи на малу адсорбцію піску, основна частка середньої активності припадає саме на цей матеріал, що повинно враховуватися під час виготовлення будівельних матеріалів і виробів.

Одним із факторів, які впливають на розподіл радіонуклідів у різних середовищах, є соловий склад води.

Установлено, що із збільшенням вмісту кальцію у воді водоймища відбувається перехід активності стронцію Sr-90 з ґрунту (донних відкладень) у біомасу води [12]. Це має важливе значення як при отриманні питної води, так і при використанні таких вод у будівництві.

Методика

Дослідження з виявлення еквівалентної дози (ЕД) і потужності амбітного еквівалента дози (ПЕД) гамма – випромінювання, а також оцінки поверхневої забрудненості бета-радіонуклідами були виконані за допомогою приладів-дозиметрів радіометрів типу МКС-0,5 «Терра-П» (рис. 1).

Дозиметрами вимірювалось радіоактивне забруднення у різних місцях (точках) студентського містечка ДНУЗТ, особлива увага приділялась місцям скупчення людей (рис. 2). Центрами вимірів стали студентські гуртожитки, пам'ятники, зупинки, головні входи в новий та старий корпус, аудиторії, підвали, басейн, котельня та ін.

Вплив будівельних матеріалів на радіоактивність середовища. Випромінювання, що створюється будівельними матеріалами, зумовлене наявністю в їхньому складі головним чином радіонуклідів: радію (^{226}Ra) – $3,7 \times 10^{-4}$ Бк/г, торію (^{232}Th) – $2,59 \times 10^{-4}$ Бк/г і калію (^{40}K) – $48,1 \times 10^{-4}$ Бк/г. [9, 15]. Крім того, у будматеріалах можуть бути в різних концентраціях уран, фосфор та ін. Для порівняльних оцінок радіоак-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

тивності різних будівельних матеріалів застосовують ефективну питому активність.



Рис. 1. Дозиметр-радіометр МКС-0,5 «Терра-П»

Fig. 1. Dosimeter-radiometr MKS-0.5 «Terra-P»

Згідно з Нормами радіаційної безпеки України (НРБУ-97) [10, 11] усі будівельні матеріали за ефективною питомою активністю поділяють на три класи (табл. 1).

Якщо будівельні матеріали мають ефективну питому активність >1350 Бк/кг, то питання щодо використання їх у будівництві вирішується в кожному випадку окремо з дозволу Міністерства охорони здоров'я України.

Вибіркові дослідження показали, що середня ефективна питома активність будівельних матеріалів України становить 105,1 Бк/кг, що дещо більше, ніж для будівельних матеріалів колишнього СРСР (93,5 Бк/кг) [12]. Територія України, в тому числі і територія ДНУЗТ, розташована на кристалічному щиті з наявністю великих родовищ гірських порід (граніту, габро, мармуру, вапняку тощо), що містять природні радіонукліди, із яких виготовляють різні будівельні матеріали.

Значущість внеску природних радіонуклідів (ПРН) у використовуваних будівельних матеріалів і підстильних ґрунтах під будівлями у величину дози опромінення визначається тим, що дія даних джерел випромінювань має систематичний характер (людина проводить у приміщеннях будівель до 80 % часу), і тому особливості дії – опромінення в приміщенні відбувається в геометрії 4п (на відкритому повітрі – 2п).

Таблиця 1

Класифікація будівельних матеріалів за ефективною питомою активністю

Table 1

Classification of construction materials accordingly the effective specific activity

Клас будівельних матеріалів	Ефективна питома активність		Сфери можливого використання в будівництві
	Бк/кг	Ки/кг	
I	≤ 370	$\leq 1 \times 10^{-8}$	Без обмежень у всіх видах будівництва
II	370.... 740	1×10^{-8} 2×10^{-8}	Тільки для промислового й дорожнього будівництва в межах населених пунктів
III	740.... 1 350	2×10^{-8} $3,65 \times 10^{-8}$	Тільки для дорожнього будівництва поза населеними пунктами; у населених пунктах – для будівництва підземних споруд

Концентрація ПРН у використовуваних будівельних матеріалах визначає величину зовнішньої і внутрішньої складових дози опромінювання. Тому НРБУ-97 встановлюють допустимі рівні ефективної питомої активності ПРН у будівельній сировині, матеріалах, виробках, які контролюються на етапах: добування будівельної сировини (матеріалів) і виробництва будівельних матеріалів (виробів).

Розглянуті питання показують можливість управління рівнем радіаційної безпеки об'єктів будівництва на основі встановлення рівнів регулювання контрольованих параметрів будівельного виробництва.

Газ радон у нашому житті. За даними американських дослідників, з тисячі людей, які нині живуть, 3–4 людини загинуть від раку легень, викликаного радоном, притому що середня концентрація радону в будинках дорівнює 25 Бк/м^3 . Але рівень концентрації радону в по-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

вітрянному середовищі приміщень навіть двох розташованих поруч будинків може сильно відрізнятись. При концентрації радону 200 Бк/м^3 приречені захворіти раком вже 3–4 людини із сотні мешканців [11, 12, 18].

Радон-222 – невидимий радіоактивний інертний газ, який у 7,5 разу важче ніж за повітря, не має запаху, смаку й кольору. Є дочірнім продуктом радіоактивного розпаду торію-232, а той у свою чергу – продуктом розпаду урану-238. Газ радон надходить у повітря з-під землі всюди, але найбільш високі його концентрації спостерігаються в зонах розломів, поблизу виходу радіоактивних порід (гранітів та ін.), уранових шахт і кар’єрів. Ми часто не розуміємо, чому раптом тіснить дихання в підвальних приміщеннях або погано провітрюваних приміщеннях першого поверху, тяжчають повіки, стає розсіяною увага. І медицина довгий час не могла дати відповідь, чому в певних районах або навіть в окремих будинках набагато вищий відсоток злоякісних пухлин. У непровітрюваних герметичних спорудах концентрація радону може досягти значних величин і становити потенційну небезпеку для здоров’я людей. У середньому 50 % фону в приміщеннях зумовлено радоном і продуктами його розпаду.

Швидкість виділення радону з поверхні землі називається ексхалляцією ($\text{мБк/м}^2 \times \text{с}$) [13, 14, 19]. Ексхалляція залежить від багатьох чинників: типу ґрунтів, підстильних порід, часу доби, сезону, кліматичних умов та ін. (табл. 2).

Таблиця 2

**Ексхалляція радону
в різних населених пунктах (5)**

Table 2

**Exfoliation radon
in different localities (5)**

Міста і райони	Тип ґрунту	Ексхалляція, $\text{мБк/м}^2 \times \text{с}$
м. Дніпро лівий беріг правий беріг	Чорнозем	
	Гірський	9,0
Жовті води	Чорнозем	11,5
Кіровоград	Суглинок	13,0
		28,0

Ексхалляція радону більша вночі, оскільки немає руху повітря або ж він мінімальний. Взимку й восени ексхалляція радону в приміщеннях менша, оскільки ґрунт зволожений або мерзлий, а влітку та весною – вихід радону більше, оскільки відбувається більше випаровування ґрунту. Проте взимку в житлових та навчальних приміщеннях, особливо підвальних, вміст радону більший, оскільки ґрунт під будинками не замерзає, а повітрообмін (вентиляція) знижена. Утеплення приміщень призводить до підвищення питомої активності радону.

Студентське містечко ДНУЗТ. У ДНУЗТ навчається близько 6,5 тисяч студентів, працює близько 1500 співробітників та ще 600 співробітників та їхніх сімей проживає на території містечка, яке займає 29 га землі. Всюди зелень, клумби, квіти, навіть росте японська «сакура».

На території університету є чудове футбольне поле, де студенти займаються під час занять та курсанти кафедри військової підготовки здають свої нормативи. Варто відзначити, що тільки ДНУЗТ і НГУ мають свої кафедри військової підготовки серед вузів Дніпра. Керівництво університету намагається максимально прищепити студентам любов до спорту. Цю функцію також виконує басейн, що знаходиться на відкритому повітрі, а взимку підігрівається.

Мама-студентки зі своїми дітьми відпочивають у містечку, особливо їм подобається відпочивати біля колишнього пам’ятника Калініну, постаменти якого зроблені з діориту (різновид граніту).

Нашою метою було виміряти якомога більшу кількість точок студентського містечка на наявність радіоактивного випромінювання. Найбільшу увагу приділяли об’єктам скупчення людей, а саме: пам’ятникам Калініну, Студентам-воїнам, студентським гуртожиткам, входам в новий та старий корпуси, місцям відпочинку військових, паркан вздовж проспекту ім. Гагаріна, зупинці біля паркану, лікарні, стадіону міні-футболу, великому стадіону, будинкам старої побудови, циклону на території студентського містечка та новому житловому будинку. Також брали до уваги один із таких факторів, як будівельні матеріали, з яких побудовані ці об’єкти. Як зазначалося раніше, будівельні матеріали мають радіаційний фон.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Заміри на території виконували в суху та сонячну погоду. Всі дані були чітко зафіксовані. Ми також звернули увагу на новий житловий будинок, збудований в 2015 році. В цей час для будівництва використовують добротні й дорогі будматеріали, які не йдуть ні в яке порівняння з будівельними матеріалами радянського періоду.

Порядок виконання вимірів та обладнання для виміру радіаційного випромінювання. Дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА-П» призначений для вимірювання еквівалентної дози (ЕД) і потужності амбієнтного еквівалента дози (ПЕД) гамма-випромінювання, а також оцінки поверхневої забрудненості бета-радіонуклідами. Додатково в дозиметрі реалізовані функції годинника і будильника. Дозиметр використовується в побутових цілях: для контролю радіаційної чистоти житлових приміщень, будівель і споруд, предметів побуту, одягу, транспортних засобів, поверхні ґрунту на присадибних ділянках; для оцінки радіаційного забруднення лісових ягід і грибів, а також як наочний посібник для навчальних закладів.

В дозиметрі програмується значення порогових рівнів ПЕД гамма випромінювання в діапазоні від 0,01 до 9,99 мкЗв/год з дискретністю 0,01 мкЗв/год. Значення порогового рівня, який встановлюється автоматично при включенні дозиметра – 0,30 мкЗв/год, що відповідає максимально допустимому рівню гамма-фону для приміщень згідно з «Нормами радіаційної безпеки України». Дозиметр подає звукові сигнали різної періодичності і різної тональності у разі перевищення запрограмованого рівня ПЕД, спрацьовування будильника і розрядки батареї живлення нижче допустимого рівня. Дозиметр забезпечує чотирирівневу індикацію ознаки розрядки джерела живлення. Значення ПЕД і порогових рівнів ПЕД, а також значення реального часу і встановленого часу будильника почергово виводяться на цифровий рідкокристалічний індикатор (далі – цифровий індикатор) залежно від обраного режиму з висвічуванням ознак відповідності інформації.

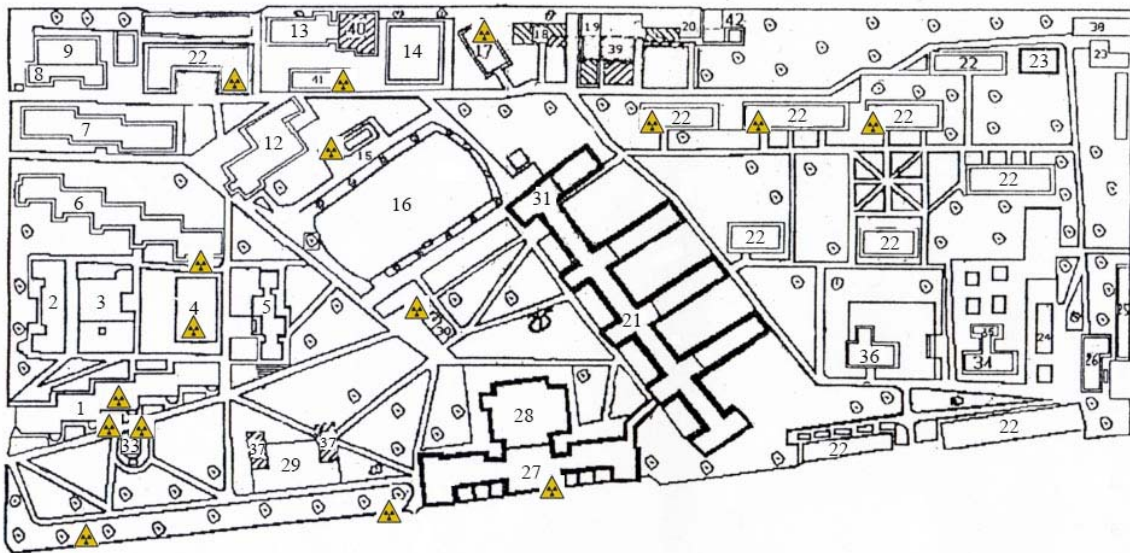


Рис. 2. План території ДНУЗТ

Fig. 2. Territory plan of DNURT

Примітка: 21, 27, 31 – навчальні корпуси; 4, 15, 16, 25, 29 – спортивні споруди (майданчик, басейн, стадіон, спортивний комплекс); 13, 17, 18, 26, 40 – майстерні та лабораторії; 1, 2, 5, 6, 7 – гуртожитки студентів; 3, 8, 9, 11, 12, 14, 20, 23, 24, 28, 34, 36, 39, 41 – допоміжні побудови (насосна, гараж, їдальня, котельня, будівельно-ремонтна група, матеріальний склад, Палац культури, дитячий комбінат, підстанція, поліклініка, майстерня); 22 – житловий фонд університету; 30, 33 – пам'ятники; 19, 38, 42 – споруди мешканців містечка.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Дозиметр забезпечує вимірювання за таких умов:

- температура від -10 до $+50$ °С;
- відносна вологість до $(95 \pm 3)\%$ при температурі $+35$ °С;
- атмосферний тиск від 84 до $106,7$ кПа.

Перед початком роботи з дозиметром необхідно ознайомитися з розташуванням та призначенням органів управління.

Результати

Дані, отримані з місць виконання вимірів, були занесені в табл. 3 для подальшої зручності аналізу та вивчення.

Таблиця 3

Радіаційний фон студентського містечка ДНУЗТ

Table 3

The radiation background of DNURT campus

Місце виконання виміру	Радіаційний фон	
	мкЗв	мкР
Вхід в новий корпус	0,30	30
Вхід в старий корпус	0,18	18
Пам'ятник Калініну	0,41	41
Пам'ятник Студентам-воїнам	0,33	33
Місце для паління військових	0,25	25
Паркан, проспект Гагаріна	0,09	9
Зупинка, проспект Гагаріна	0,12	12
Студентська лікарня	0,09	9
Малий стадіон	0,08	8
Великий стадіон	0,23	23
Новий будинок	0,08	8
Старий будинок	0,19	19
Циклон	0,08	8

Як видно з табл. 3, найбільший радіаційний фон спостерігається на трьох точках, а саме: постамент колишнього пам'ятника Калініну, пам'ятник Студентам-воїнам, головний вхід в новий корпус (колони). Це можна пояснити

наявністю гранітових матеріалів, з яких зроблені постаменти та сходи.

Розташування місць заміру можна спостерігати на плані студентського містечка ДНУЗТ. Для більш детального моніторингу було взято якомога більшу кількість точок для вимірів.

Наукова новизна та практична значимість

На основі дозиметричного контролю вперше в історії університету виявлені джерела радіоактивного забруднення студентського містечка та території ДНУЗТ. Найбільше радіоактивне забруднення виявлено біля пам'ятника студентам-воїнам та постаменту знесеного пам'ятника, вхід в новий корпус, місце для паління. Таке забруднення обумовлене тим, що для будівництва вказаних об'єктів використовувались гранітні породи та їх різновид (діорит та ін.)

Найбільший вклад у величину сумарної річної ефективної дози опромінювання людей вносять іонізуючого випромінювання (ДІВ) будівельного виробництва (до $65-74\%$). Рівень радіоактивності ДІВ будівельних матеріалів визначається вмістом в них природних радіонуклідів (ПРП), які входять в урано-радієвий і торієвий ряди розпаду (18 і 12 радіонуклідів), а також калія-40.

Радіоактивність будівельних матеріалів оцінюється вмістом в них домінуючих радіонуклідів радія-226, торія-232 і калія-40. Їх домінуюча роль пояснюється тим, що ці довготривалі високоенергетичні α , β , μ -випромінювання є продуктами розпаду радія-226 в урановому ряду і радія-224 у торієвому ряду з виділенням радіоактивних газів (радон-222 та радон-220).

Радіоактивні гази збираються у підвалах навчальних корпусів, їх розпад супроводжується 100% альфа-випромінюванням, який є найбільш небезпечний.

З метою зменшення радіоактивного впливу радону на студентів та співробітників університету необхідно зробити більш ефективну вентиляцію підвалів навчальних корпусів, басейну, гуртожитків.

Біля об'єктів з підвищеним радіоактивним випромінюванням необхідно поставити показник радіоактивності і заборонити гуляти студентам із дітьми.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Висновки

Вперше в історії університету (ДНУЗТ) за допомогою дозиметричного контролю виявлені джерела іонізуючого випромінювання території студентського містечка.

Найбільший вклад у величину сумарної річної ефективної дози опромінювання людей вносять джерела іонізуючого випромінювання будівельні матеріали (до 65–74 %), а також радіоактивний газ-радон, який виходить з-під землі і збирається в підвалах приміщень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Беликов, А. С. Радиационно-гигиенические защитные свойства строительных материалов / А. С. Беликов, В. Ф. Запрудин // Вісн. Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури : зб. наук. пр. / ПДАБА. – Дніпропетровськ, 2010. – № 8. – С. 7–12.
- Билоус, С. Я. Определение радиационной температуры помещения с нагревательными элементами в наружной стене / С. Я. Билоус, Н. И. Тимофеев // Буд-во України. – 2011. – № 1. – С. 23–25.
- Долина, Л. Ф. Мониторинг окружающей среды и инженерные методы охраны биосферы. Часть 1. Основы мониторинга : монография / Л. Ф. Долина. – Днепропетровск : Конспект, 2002. – 208 с.
- Долина, Л. Ф. Мониторинг окружающей среды и инженерные методы охраны биосферы. Часть 2. Проектирование мониторинга : монография / Л. Ф. Долина. – Днепропетровск : Конспект, 2002. – 105 с.
- Екологія мегаполіса. Екологічні аспекти промислового розвитку Дніпропетровська / І. І. Куліченко, О. С. Ливенко, А. Г. Шапар [та ін.]. – Дніпропетровск : ІМА-прес, 2002. – 368 с.
- Защита от радона-222 в теплых зданиях и на рабочих местах. – Москва : Энергоатомиздат, 1995. – 36 с.
- Кербунова (Горбунов), А. М. Диалог с традицией / А. М. Кербунова. – Николаев : Суперполиграфия, 2000. – Вып 1. – 40 с.
- Крамарев, С. В. Оценка радиоактивности горных пород и грунтов на территории Днепропетровской области / С. М. Крамарев, Б. С. Штангрет // Стр-во, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2004. – Вып. 28. – 542 с.
- Козлов, В. Н. Справочник по радиоактивной безопасности / В. Н. Козлов. – Москва : Энергоатомиздат, 1991. – 352 с.
- НРБУ-97. Нормы радиационной безопасности Украины. – Киев : МОЗ, 1997. – 121 с.
- НРБУ-97/Д-2000. Нормы радиационной безопасности Украины. Дополнение: Радиационная защита от источников потенциального облучения – Киев : МОЗ, 2000.
- Основные санитарные правила противорадиационной защиты Украины (ОСПУ). 6. Радиационная гигиена : ГСП 6.074.120-01 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nel-don.-narod.ru/rabfile/ospu/titul.htm>. – Назва з екрана. – Перевірено : 22.05.2016.
- Пішінко, О. М. Екологія житла. Радіоактивність житла : навч. посібник / О. М. Пішінко, Л. Ф. Долина, О. М. Пристинська. – Дніпропетровск : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2007. – 176 с.
- Словник термінів [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://npa.iplex.com.ua/doc.php?uid=1078.22180.0>. – Назва з екрана. – Перевірено : 22.05.2016.
- Смирнов, С. Н. Радиационная экология. Серия: Физические основы экологии / С. Н. Смирнов. – Москва : Изд-во МЭПУ, 2000. – 134 с.
- Технічна енциклопедія TechTrend [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://techtrend.com.ua/index.php?newsid=9507>. – Назва з екрана. – Перевірено : 22.05.2016.
- External exposure doses due to gamma emitting natural radionuclides in some Egyptian building materials / B. M. Moharram, M. N. Suliman, N. F. Zahran [et al.] // Applied Radiation and Isotope. – 2012. – Vol. 70. – Iss. 1. – P. 241–248. doi: 10.1016/j.apradiso.2011.07.013.
- Radiometric analysis of construction materials using HPGe gamma-ray spectrometry / M. U. Khandaker, P. J. Jojo, H. A. Kassim, Y. M. Amin // Radiation Protection Dosimetry. – 2012. – Vol. 152. – Iss. 1-3. – P. 33–37. doi: 10.1093/rpd/ncs145.
- Radioactive Waste Management Glossary. – Vienna : Intern. Atomic Energy Agency, 2003. – 54 p.

Л. Ф. ДОЛИНА^{1*}, В. П. КИЛЕВОЙ^{2*}, Д. В. АСТАХОВ^{3*}, Н. В. КАЛИМБЕТ^{4*}

^{1*}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 gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0001-6082-7091

^{2*}Штаб гражданской защиты, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38(0562) 47 19 72, эл. почта shtabcz@rr.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-2223-3951

^{3*}Фак. «Промышленное и гражданское строительство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 09, эл. почта demian2803@mail.ru, ORCID 0000-0002-7654-2207

^{4*}Фак. «Промышленное и гражданское строительство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 09, эл. почта megusta.ua@yandex.ua, ORCID 0000-0002-2209-6395

МОНИТОРИНГ РАДИОАКТИВНОСТИ СТУДЕНЧЕСКОГО ГОРОДКА ДНУЖТ

Цель. Работа направлена на определение радиоактивного загрязнения на территории студенческого городка Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (ДНУЖТ). **Методика.** Дозиметрами измерялось радиоактивное загрязнение в разных местах (точках) студенческого городка ДНУЖТ, особое внимание уделялось местам скопления людей. Центрами измерений стали студенческие общежития, памятники, остановки, главные входы в новый и старый корпусы, аудитории, подвалы, бассейн, котельная и др. **Результаты.** На основе дозиметрического контроля впервые в истории университета обнаружены источники радиоактивного загрязнения студенческого городка и территории ДНУЖТ. Наибольший радиационный фон наблюдается в трех точках, а именно: постаменте памятника, памятнике студентам-воинам, главном входе в новый корпус (колонны). Это можно объяснить наличием гранитовых материалов, из которых сделаны постаменты и лестницы. **Научная новизна.** Наибольший вклад в величину суммарной годовой эффективной дозы облучения людей вносят источники ионизирующего излучения (ИИИ) строительных материалов (до 65–70 %). Уровень радиоактивности строительных материалов определяется содержанием в них природных радионуклидов, которые входят в уран-радиевый и ториевый ряды распада (18 и 12 радионуклидов), а также калия-40. Радиоактивность строительных материалов оценивается содержанием в них доминирующих радионуклидов радия-226, тория-232 и калия-40. Их доминирующая роль объясняется тем, что эти долгоживущие высокоэнергетические α , β , μ -излучатели являются продуктами распада радия-226 в урановом ряду и радия-224 в ториевом ряду с выделением радиоактивных газов (радон-222 и радон-220). Радиоактивные газы собираются в подвалах учебных корпусов, их распад сопровождается 100 % альфа-излучением, которое является наиболее опасным. **Практическая значимость.** По результатам исследования сделаны следующие выводы: у объектов с повышенным радиоактивным излучением следует поставить указатели радиоактивности и предостережения относительно опасности для детей и молодежи. С целью уменьшения радиоактивного воздействия радона на студентов и сотрудников в университете следует сделать более эффективную вентиляцию подвалов учебных корпусов, бассейна и общежитий.

Ключевые слова: радиоактивное облучение; мониторинг; студенческий городок ВНЗ; строительные материалы; радон

L. F. DOLINA^{1*}, V. P. KILOVYI^{2*}, D. V. ASTAKHOV^{3*}, M. V. KALIMBET^{4*}

^{1*}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 gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0001-6082-7091

^{2*}Civil Defence, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (0562) 47 19 72, e-mail shtabcz@rr.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-2223-3951

^{3*}Dep. «Industrial and Civil Construction», 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 demian2803@mail.ru, ORCID 0000-0002-7654-2207

^{4*}Dep. «Industrial and Civil Construction», 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 megusta.ua@yandex.ua, ORCID 0000-0002-2209-6395

MONITORING OF RADIOACTIVITY AT DNURT CAMPUS

Purpose. The research paper aims to determine radioactive contamination on the territory of campus of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (DNURT). **Methodology.** The dosimeters measured the radioactive contamination in different places (points) of DNURT campus, focusing on public places. The centres of measurements became dormitories, monuments, stops, main entrances of the new and the old buildings, classrooms, basements, a swimming pool, boiler room and others. **Findings.** The conducted radiation monitoring for the first time in the history of the University discovered the source of radioactive contamination on DNURT territory and campus. The highest radiation background is observed on three points, namely: the pedestal of the monument, the monument to students-soldiers, the main entrance of the new building (columns). This can be explained by granite materials, which the pedestals and the stairs are made of. **Originality.** The largest contribution to the total value of annual effective dose of human exposure is made by ionizing radiation sources (IRS) of building materials (65–70%). The radioactivity level of building materials is determined by the content of natural radionuclides that are included in uranium-radium and thorium decay series (18 and 12 radionuclides) as well as potassium-40. Radioactivity of building materials is evaluated by the content of dominant radionuclides radium-226, thorium-232 and potassium-40. Their dominant role is explained by the fact that these long-lived high-energy α, β, μ -emitters are the products of decay of radium-226 in uranium series of and radium-224 in thorium series, exposing radioactive gases (radon-222 and radon-220). Radioactive gases are accumulated in the basements of educational buildings; their decay is accompanied by 100% alpha radiation, which is the most dangerous. **Practical value.** It is necessary to set radioactivity signs near the objects with high radiation and to prohibit students with children walking there. In order to reduce radon radiation exposure to students and staff the university should be equipped with more effective ventilation of educational building basements, swimming pool and dormitories.

Keywords: radioactive irradiation; monitoring of the university campus; building materials; radon

REFERENCES

1. Belikov A.S., Zaprudin V.F. Radiatsionno-gigiyenicheskiye zashchitnyye svoystva stroitelnykh materialov [Radiation and hygienic protective properties of building materials]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk'a State Academy of Civil Engineering and Architecture], 2010, no. 8, pp. 7-12.
2. Bilous S.Ya., Timofeyev N.I. *Opreddeniye radiatsionnoy temperatury pomeshcheniya s nagrevatelnyimi elementami v naruzhnoy stene* [Determination of radiation room temperature with a heating elements in the outer wall]. *Budivnytstvo Ukrainy – Construction of Ukraine*, 2011, no. 1, pp. 23-25.
3. Dolina L.F. *Monitoring okruzhayushchey sredy i inzhenernyye metody okhrany biosfery. Chast 1. Osnovy monitoring* [Environmental monitoring and engineering methods of biosphere protection. Part 1: The Basics Monitoring]. Dnepropetrovsk, Konspekt Publ., 2002. 208 p.
4. Dolina L.F. *Monitoring okruzhayushchey sredy i inzhenernyye metody okhrany biosfery. Chast 2. Proyektirovaniye monitoringa* [Environmental monitoring and engineering methods of biosphere protection. Part 2: Monitoring design]. Dnepropetrovsk, Konspekt Publ., 2002. 105 p.
5. Kulichenko I.I., Lyvenko O.S., Shapar A.H., Pavlov V.A., Peremetchik N.N. *Ekolohiia mehapolisa. Ekolohichni aspekty promyslovoho rozvytku Dnipropetrovska* [Ecology of metropolis. Environmental aspects of industrial development in Dnipropetrovsk]. Dnipropetrovsk, IMA-pres Publ., 2002. 368 p.
6. *Zashchita ot radona-222 v teplykh zdaniyakh i na rabochikh mestakh* [Protection against radon-222 in warm buildings and workplaces]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1995. 36 p.
7. Kerbueova (Gorbunov) A.M. *Dialog s traditsiey* [Dialogue with tradition]. Nikolayev, Superpoligrafiya Publ., 2000, issue 1. 40 p.
8. Kramarev S.V., Shtangret B.S. *Otsenka radioaktivnosti gornykh porod i gruntov na territorii Dnepropetrovskoy oblasti* [Assessment of radioactivity of rocks and soil on the territory of the Dnipropetrovsk region]. *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroeniye : sbornik nauchnykh trudov Prydniprovskoy gosudarstvennoy akademii stroitelstva i arkhitektury* [Proc. «Construction, Material Science, Engineering» of Prydniprovsk'a State Academy of Civil Engineering and Architecture], 2004, issue 28. 542 p.
9. Kozlov V.N. *Spravochnik po radioaktivnoy bezopasnosti* [Guide on Radiation Safety]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1991. 352 p.
10. *NRBU-97. Normy radiatsionnoy bezopasnosti Ukrainy* [Radiation Safety Standards of Ukraine.]. Kiev, MOZ Publ., 1997. 121 p.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

11. NRB-97/D-2000. Normy radiatsionnoy bezopasnosti Ukrainy. Dopolneniye: Radiatsionnaya zashchita ot istochnikov potentsialnogo oblucheniya [NRBU-97 / A-2000. Radiation Safety Standards of Ukraine. Supplement: Radiation protection from potential exposure sources]. Kiev, MOZ Publ., 2000.
12. *Osnovnyye sanitarnyye pravila protivoradiatsionnoy zashchity Ukrainy (OSPU)*. 6. *Radiatsionnaya gigiena: GSP 6.074.120-01* (Basic sanitary rules of radiation protection in Ukraine (BSPU). 6. Radiation Hygiene: SSE 6.074.120-01). Available at: <http://neldon.narod.ru/rabfile/ospu/titul.htm> (22 May 2016).
13. Pshinko O.M., Dolyna L.F., Prystynska O.M. *Ekolohiia zhytla. Radioaktyvnist zhytla* [Ecology of housing. Radioactivity of housing]. Dnipropetrovsk, DNURT Publ., 2007. 176 p.
14. *Slovnyk terminiv* (Glossary). Available at: <http://npa.iplex.com.ua/doc.php?uid=1078.22180.0> (Accessed 22 May 2016).
15. Smirnov S.N. *Radiatsionnaya ekologiya. Seriya: Fizicheskiye osnovy ekologii* [Radiation ecology. Series: Physical basics of ecology]. Moscow, MYePU Publ., 2000. 134 p.
16. *Tekhnichna entsyklopediia TechTrend* (Technical encyclopedia TechTrend). Available at: <http://techtrend.com.ua/index.php?newsid=9507> (Accessed 22 May 2016).
17. Moharram B.M., Suliman M.N., Zahran N.F., Shennawy S.E., El Sayed A.R. External exposure doses due to gamma emitting natural radionuclides in some Egyptian building materials. *Applied Radiation and Isotope*, 2012, vol. 70, issue 1, pp. 241-248. doi: 10.1016/j.apradiso.2011.07.013.
18. Khandaker M.U., Jojo P.J., Kassim H.A., Amin Y.M. Radiometric analysis of construction materials using HPGe gamma-ray spectrometry. *Radiation Protection Dosimetry*, 2012, vol. 152, issue 1-3, pp. 33-37. doi: 10.1093/rpd/ncs145.
19. *Radioactive Waste Management Glossary*. Vienna, Intern. Atomic Energy Agency Publ., 2003. 54 p.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф В. М. Дерев'янком (Україна); д.т.н., проф. М. М. Біляєвим (Україна)

Надійшла до редколегії 11.02.2016

Прийнята до друку 31.05.2016

УДК 629.4.015:625.1.032.43

Ю. В. ЗЕЛЕНЬКО^{1*}, Л. О. НЕДУЖА^{2*}, А. О. ШВЕЦЬ^{3*}

^{1*}Каф. «Хімія та інженерна екологія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 77, ел. пошта j.zelenko@mail.ru, ORCID 0000-0001-5551-0305

^{2*}Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (067) 810 51 65, ел. пошта lforhen@i.ua, ORCID 0000-0002-7038-3006

^{3*}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

ВПЛИВ ВІБРОАКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РУХОМОГО СКЛАДУ НА ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ ЛОКОМОТИВА

Мета. Успіх перевезень на залізницях України залежить від кількості та експлуатаційного парку електровозів. Сьогодні в локомотивних депо експлуатують фізично та морально застарілі електровози, котрі мають низьку надійність. Модернізація цих електровозів економічно не виправдана. Метою дослідження є підвищення безпеки тягового рухомого складу шляхом частотного аналізу динамічних систем, який дозволяє проводити розрахунок власних (резонансних) частот конструкції та відповідних форм коливань. **Методика.** Дослідження проводилося методами аналітичної механіки та математичного моделювання експлуатаційних навантажень вантажного локомотиву при русі з різними швидкостями по прямих і кривих ділянках шляху. Теоретичну цінність роботи складає розроблена методика вибору конструктивної схеми і раціональних параметрів перспективного електровозу з урахуванням інерційних коефіцієнтів та коефіцієнтів жорсткості рівнянь Лагранжу II роду. **Результати.** Вирішені задачі теоретичних досліджень і розробки математичної моделі просторових коливань електровоза. Наведені теоретичні дослідження впливу інерційних коефіцієнтів та коефіцієнтів жорсткості на динамічні показники та значення параметрів ходових частин електровозу. **Наукова новизна.** Сукупність розроблених положень й отриманих результатів є практичним рішенням вибору раціональних параметрів візків вантажного магістрального електровозу для залізниць України. Сформульована концепція вибору конструктивної схеми й раціональних параметрів перспективного локомотиву. Розроблена методика розрахунку просторових коливань електровозу для визначення його динамічних показників. Впроваджено програмний комплекс обробки даних експериментальних досліджень динамічних показників електровозу та порівняння результатів теоретичних розрахунків із даними натурних випробувань. **Практична значимість.** Проведене теоретичне дослідження дозволило об'єктивно оцінити вплив парціальних частот елементів електровоза як на раціональні значення параметрів його екіпажної частини, так і на працездатність та фізіологічний стан локомотивної бригади. Таким чином, практична цінність всього комплексу теоретичного дослідження полягає в розробленні алгоритму й програми, виборі раціональних параметрів та розрахункової схеми ходової частин електровозу. Використання програмного комплексу для дослідження просторових коливань електровозу дозволило з достатньою (для практичних задач) точністю оцінити динамічні показники екіпажної частини електровозу.

Ключові слова: інерційні коефіцієнти; коефіцієнти жорсткості; рівняння Лагранжу II роду; вантажний електровоз; динамічні показники; динамічне навантаження; просторові коливання; раціональні значення параметрів

Вступ

Загальнодержавна програма адаптації законодавства України до законодавства Європейського Союзу, затверджена Законом України №1629-IV від 18.03.2004, визначає нормативну базу, що регулює діяльність залізничного

транспорту пріоритетним напрямком адаптації. При цьому однією із найбільш важливих проблем є проблема забезпечення безпеки руху та оновлення рухомого складу Укрзалізниці [5].

Успіх перевезень на залізницях значною мірою визначається достатньою кількістю та надійністю експлуатуемого локомотивного парку

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

рухомого складу. На сучасному етапі для забезпечення безпеки руху перед залізничним транспортом поставлені основні завдання, серед яких оновлення парку рухомого складу нового покоління, який би відповідав чинним європейським екологічним нормам; підвищення рівня безпеки руху; використання енергозберігаючих технологій тощо [19]. Ці завдання, а також вимоги до рухомого складу зумовлюють основний напрямок з удосконалення конструкцій локомотивів й особливо їх ходових частин, які, в основному, впливають на динамічні якості. Від правильно обраних технічних характеристик залежать експлуатаційні та економічні показники одиниць рухомого складу [11, 12, 20].

Дані щодо розподілу по регіонах світу парку локомотивів (рис. 1, а) та парку електровозів (рис. 1, б) свідчать про нагальну потребу нового тягового рухомого складу на залізницях [9, 10].

Програма оновлення локомотивного парку залізниць України на 2012–2016 роки передбачає доведення власного виробництва локомотивів до 90 % до 2016 року [19]. Метою Програми є оновлення локомотивного парку залізниць України для забезпечення безперебійного перевезення пасажирів й вантажів.

На сьогодні технічний стан рухомого складу не відповідає сучасним вимогам для транспортної системи ХХІ століття. Однією з найгостріших проблем залізниць є фізичне та моральне старіння локомотивного парку.

Абсолютну більшість тягового рухомого складу українських залізниць побудовано згідно з технічними вимогами 60-х років минулого століття. Він характеризується збільшеними, постійно зростаючими експлуатаційними витратами та має низьку економічність порівняно з локомотивами нового покоління.

На цей час відпрацювали встановлений заводськими-виробниками нормативний строк служби 75 % електровозів. Темпи старіння локомотивного парку залізниць України значно перевищують темпи придбання нових сучасних зразків тягового рухомого складу внаслідок щорічного недостатнього фінансування для відповідного оновлення [14].

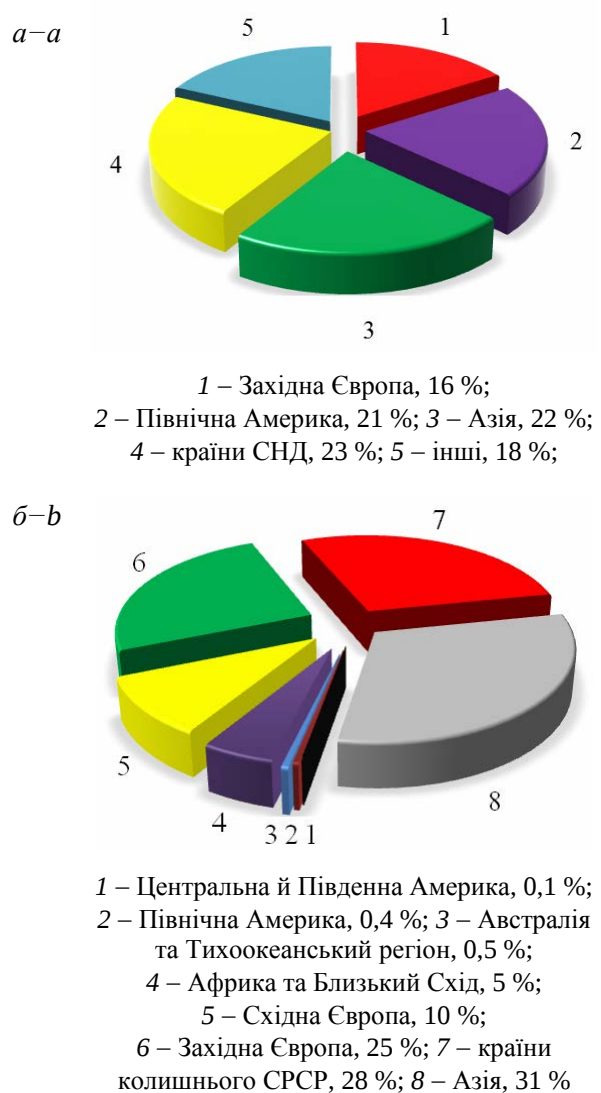


Рис. 1. Розподіл по регіонах світу:
а – парка локомотивів; б – парка електровозів

Fig. 1. Distribution of:
а – locomotive fleet; б – electric locomotive fleet
over the regions of the world

Проблему передбачається розв'язати шляхом:

- технічного та технологічного переоснащення і розвитку локомотивного господарства залізниць України шляхом розробки, створення й впровадження нових типів локомотивів, а також придбання існуючих зразків електровозів, які відповідають сучасним вимогам надійності, безпеки, охорони праці;

- оптимізації витрат енергоносіїв, а також витрат на ремонт і поточне утримання нових локомотивів;

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

– розвитку вітчизняної науково-технічної бази в результаті залучення українських науковців до спільних проектів з провідними виробниками залізничної техніки, а також розвитку вітчизняної виробничо-технічної бази локомотивобудівної галузі і створення нових робочих місць під час виробництва сучасних локомотивів з використанням в їх конструкції комплексувальних виробів вітчизняного виробництва.

Таким чином, є доцільним налагодження власного виробництва тягового рухомого скла-

ду, який був би надійним, потужним, недорогим, мав високу ремонтпридатність. У зв'язку з цим свого часу силами низки наукових та виробничих організацій, у тому числі й Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНІТ), був розроблений та побудований перший вантажний український електровоз (рис. 2, *a*).

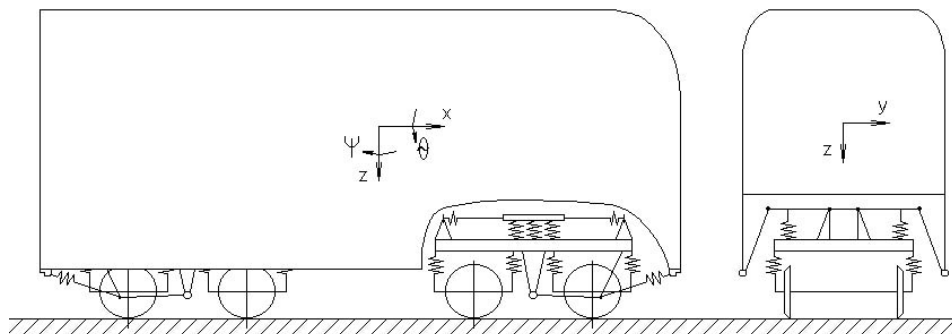
a–a*б–b**в–c*

Рис. 2. Вантажний електровоз:
a – загальний вигляд; *б* – ходова частина; *в* – розрахункова схема

Fig. 2. Freight electric locomotive:
a – general view; *b* – running gear; *c* – design scheme

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Крім визначення раціональних значень параметрів ходових частин електровоза, було виконано частотний аналіз елементів конструкції локомотива з метою встановлення основних показників, які впливають як на раціональні значення параметрів його екіпажної частини, так і на працездатність та фізіологічний стан локомотивної бригади. Для цього етапу досліджень були складені диференційні рівняння системи, за допомогою яких були визначені власні резонансні частоти коливань частин конструкції електровоза.

Цей напрям досліджень, як і багато інших, виконувався безпосередньо під керівництвом доктора технічних наук, професора Віктора Даниловича Дановича. Матеріал цієї публікації присвячуємо пам'яті Вченого, Вчителя, для якого вирішення складних наукових задач було справою честі, мудрості та авторитету – прикладом для всіх поколінь.

Мета

Залізничний транспорт пов'язаний з проявом низки шкідливих факторів, що негативно впливають як на працівників, так і на навколишнє середовище. Як відомо, деякі фактори, зокрема тривала вібрація, завдають великої шкоди здоров'ю людини – порушення серцевої діяльності, нервової системи, чутливості шкіри, кровообігу, з'являються деформації м'язів, галюцинації, погіршення зору, порушення вестибулярного апарату, швидка втомлюваність, спазм судин, зміни у суглобах, працівник передчасно втомлюється, при цьому продуктивність його праці знижується та ін. Результат дії вібрації залежить від її амплітуди та частоти. Особливо шкідлива вібрація з частотами, близькими до частот власних коливань тіла людини, більшість з яких знаходиться у межах 6–30 Гц.

Метою дослідження є підвищення безпеки тягового рухомого складу шляхом частотного аналізу динамічних систем, який дозволяє виконувати розрахунок власних (резонансних) частот конструкції та відповідних форм коливань. Здійснюючи перевірку наявності резонансних частот в робочому частотному діапазоні локомотива та оптимізуючи конструкцію таким чином, щоб виключити виникнення резонансів, можливо підвищити її надійність й працездатність.

Актуальність. Однією з найбільш важливих і актуальних проблем сьогодення, що стоять перед світовою спільнотою, є проблема сталого розвитку та захисту навколишнього природного середовища. На цей час питаннями екології займаються фахівці всіх галузей та напрямків, оскільки негативна складова антропогенної діяльності значно переважає над позитивною. Одним із головних абіотичних факторів навколишнього середовища є фізичні поля, що заповнюють середовище проживання та впливають як на живу, так і неживу природу. Оцінці ступеня впливу фізичних полів на довкілля приділяється основна увага в розділі фізичної екології. Впровадження нового та модернізація існуючого обладнання, збільшення продуктивності праці і, як наслідок цього, зростання потужності і швидкодійності машин та механізмів часто супроводжується погіршенням умов праці на виробництві – значним підвищенням рівня вібрації та шуму на робочих місцях.

Сьогодні вивченню, аналізу та моделюванню впливу параметричних забруднень на навколишнє середовище приділено увагу багатьох вітчизняних й закордонних вчених, серед яких Овсянніков С. Н., Попов В. І., Тищенко Г. Л., Абракітов В. Е., Осипов Є. Я., Юдін В. А., Anderton D., Kalivoda M. T., Priede T. та багато інших досвідчених фахівців. Вивчення стану науково-практичної бази щодо питання дозволить об'єктивно оцінити ступінь параметричного впливу об'єктів залізничного транспорту на навколишнє середовище та обрати найбільш ефективні методи зменшення негативного впливу [17].

В свою чергу, вивчення динаміки рухомого складу забезпечує становлення перспективних технічних рішень в галузі залізничного транспорту, серед яких: безпека роботи рухомого складу, безперебійність, рентабельність транспортних засобів та відповідність сучасним екологічним нормам.

В умовах реалізації заходів щодо підвищення швидкостей руху поїздів вже на першому етапі необхідним є детальний аналіз динамічних характеристик ходових частин рухомого складу, характеристик віброзахисту та вирішення проблем підвищення безпеки руху.

При цьому низка нормативних актів України, а саме: Закон України «Про охорону навко-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

лишнього природного середовища», Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» та Державні санітарні правила планування і забудови населених пунктів вимагають вживати необхідні заходи щодо запобігання та недопущення перевищення встановлених рівнів віброакустичного впливу на навколишнє природне середовище і здоров'я людини [17].

Методика

Електровоз з опорно-осьовою підвіскою тягових електродвигунів (ТЕД), з двовісними безчелюсними візками безшкворньової конструкції (рис. 2, б). Сила тяги та гальмові сили передаються від візків до кузова за допомогою похилих тяг, з'єднаних з однієї сторони з кузовом за допомогою балансира, стержнів та металевих резинових шайб з кронштейнами, укріпленими знизу з рамою кузова, а з другої сторони – з тяговими пристроями на рамі візка. В схемі опирання кузова на візки є проміжні балки, з якими зв'язано кузов за допомогою люлечних підвісок [3].

Перший ступінь підвішування складається з пружин, гідроамортизаторів та пружних повідків; підвішування другого ступеня – люлечне з гідроамортизаторами. Для підвищення надійності роботи люлечних підвісок пружини вертикального зв'язка кузова та візків устанолюються не на самі підвіски, а між рамою візка і проміжними балками, які з нею з'єднані шарнірно. Проміжна балка є важелем, до кінця якого прикладена через люлечні підвіски частина ваги кузова, а в проміжній точці передається навантаження на пружини кузовного ресорного підвішування, які опираються на раму візка. Пружини, які сприймають вертикальне навантаження, розташовано окремо між двома проміжними балками та рамою візка. Кузов через люлечні підвіски підвішений до проміжних балок, які можуть бути з'єднані з рамою візка в горизонтальному поздовжньому та поперечному напрямках за допомогою шарнірно-стержньових зв'язків з пружно-дисипативними елементами односторонньої дії, які працюють тільки на стискання.

При вписуванні екіпажа в криві ділянки колії виникає значний протиповоротний момент. Дві люлечні підвіски, які розташовані по

діагоналі візка, при повороті візка повинні продовжуватися, дві інших – укорочуватися. Кососиметричне навантаження, що виникає, змушує проміжні балки працювати як «пропелер», тобто виконувати коливання галопування в протилежному напрямку. Цьому сприяє просторовий шарнір, за допомогою якого обидві балки з'єднані з рамою візка. Таким чином, при вписуванні візка в криві ділянки колії, крім відновлюючого моменту, в люлечних підвісках виникає і відновлюючий момент в пружинах.

При коливаннях підстрибування, поздовжньої та бокової качки кузова відносно рам візків з'являються відновлюючі сили у восьми пружинах, розташованих вздовж люлечних підвісок. В процесі виляння візка відносно кузова виникає відновлюючий момент, викликаний трьома факторами: зміною вертикальних навантажень на підвіски; появою поздовжніх горизонтальних складових сил, діючих в підвісках; поперечних горизонтальних складових сил [3].

Для розрахунку параметрів екіпажної частини електровоза, який рухається по реальних нерівностях інерційної колії у вертикальному та горизонтальному напрямках, було розроблено математичну модель та обрано розрахункову схему (рис. 2, в) його просторових коливань. При звичайних припущеннях об'єкт розглядався як механічна система, складена з 15 твердих тіл (кузова, двох рам візків, чотирьох відповідно проміжних балок, ТЕД та колісних пар) і 8 мас колії, приведених до точок контакту коліс з рейками. Складено рівняння зв'язків, накладених на тіла системи; визначено кількість узагальнених координат; прописані диференціальні рівняння просторових коливань електровоза.

На основі отриманих рівнянь було розроблено та налагоджено програмний комплекс обчислювань за допомогою ПЕОМ. Виконано розрахунки під час руху електровоза по прямих або кривих ділянках колії, з аналітичним завданням поверхні кочення колеса під час руху вперед або назад, при завданні випадкових нерівностей реальної стикової колії, записаних галузевою науково-дослідною лабораторією динаміки та міцності рухомого складу (ГНДЛ ДМРС) ДПТ у під час проведення різних експериментальних досліджень. Варіювались параметри зв'язків проміжної балки з кузовом: дов-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

жина люлечної підвіски, кута її нахилу, відстань в поздовжньому напрямку між люлечними підвісками та ін., що дозволило обрати раціональні значення параметрів люлечного підвішування. Програмний комплекс дозволив розглянути різні варіанти жорсткості пружин підвішування, виконати аналіз впливу на динамічні показники установки повідків у вертикальному та горизонтальному напрямках; дослідити варіанти динамічних показників при різних параметрах гідроамортизаторів, причому для першого та другого ступенів підвішування: жорсткість бокового упору, жорсткість зв'язку похилої тяги з кузовом електровоза в режимі вибігу та в режимі тяги тощо. Наприклад, на рис. 3 та 4 наведено залежність коефіцієнта горизонтальної динаміки (по рамних силах) $K_{дг}$ та коефіцієнта динамічних добавок вертикальних сил в буксовому підвішуванні $K_{дв}^Б$ від швидкості руху при різних значеннях в'язкого тертя в гідроамортизаторах β_k кузовного підвішування [3].

Було досліджено горизонтальні поперечні переміщення кузова відносно рам візків, що відбувались незалежно від бокової качки кузова, і відновлюючі сили, викликані зміщенням центра мас кузова та поворотом люлечних підвісок, що виникають тільки при боковому відносі кузова відносно рам візків; переміщення та відновлюючий момент при боковій качці кузова відносно рам візків. Враховано дію гідроамортизаторів другого ступеню підвішування, які установлені між рамою кузова та рамою візка у вертикальній поперечній площині під кутом α_d до горизонту, та сили, які виникають в них [3]. Також були визначені переміщення та сили при різних параметрах характеристик колії та швидкості руху електровоза, тобто при розв'язуванні задачі варіювалась значна кількість параметрів ходових частин та динамічних показників. За результатами розрахунків були визначені динамічні показники, які порівнювались з їх допустимими значеннями.

Основна частина. У більшості сучасних досліджень динаміка взаємодії колії та рухомого складу характеризується випадковими процесами та відповідними статистичними характеристиками. Основним джерелом збурюючого впливу на екіпаж під час руху є залізничний шлях [1, 4, 8].

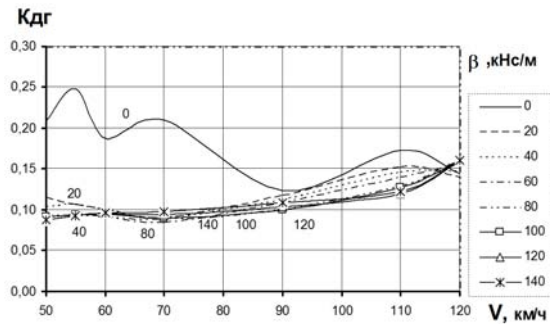


Рис. 3. Залежність коефіцієнта горизонтальної динаміки (по рамних силах) $K_{дг}$ від швидкості руху при різних значеннях β_k

Fig. 3. Dependence of horizontal dynamics coefficient (according to the frame forces) $K_{дг}$ on the speed at different values β_k

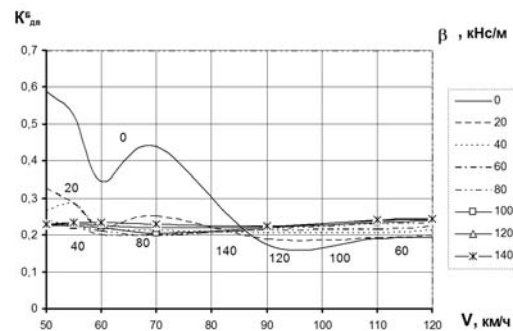


Рис. 4. Залежність коефіцієнта динамічних добавок вертикальних сил в буксовому підвішуванні $K_{дв}^Б$ від швидкості руху при різних значеннях β_k

Fig. 4. Dependence of coefficient of dynamic additions of vertical forces in axle-box suspension $K_{дв}^Б$ on the speed at different values β_k

Коливання впливають практично на всі основні експлуатаційні властивості локомотива: комфортабельність та плавність ходу, стійкість, керованість й навіть витрата палива. Вони зростають із збільшенням швидкості руху, підвищенням потужності двигуна, істотний вплив на коливання надає також якість колії, як наслідок, виникає шкідливий вплив на машиніста локомотива, пасажирів та навколишнє середовище. Встановлені норми та стандарти, що визначають допустимі рівні коливань, вібрацій й шумів в конструкції локомотивів [2, 11, 12, 17, 18].

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Коливання виникають насамперед при взаємодії коліс з поверхнею колії. В результаті колеса та кузов здійснюють складні коливання, які безпосередньо визначають плавність ходу. Залежно від якості колії та швидкості руху коливання локомотива можуть відбуватися з різними частотами й прискореннями [13, 15, 16].

У ході дослідження було використано основні положення й методи аналітичної механіки та статистичної динаміки екіпажів, теорії ймовірностей та математичної статистики, матричної алгебри, частотного аналізу динамічних систем. Ґрунтуючись на рівняннях динаміки екіпажу, досліджувались властивості його різних елементів, головним чином, їх частотні характеристики, які важливі при вирішенні завдань, пов'язаних з випадковими коливальними процесами [1, 15, 23].

За допомогою рівняння Лагранжа II роду було складено систему диференціальних рівнянь коливань елементів екіпажної частини локомотива, за якими були визначені власні резонансні частоти. На їхній основі було розраховано й досліджено амплітудні частотні характеристики, серед яких інерційні коефіцієнти a_{ni} з рівняння для кінетичної енергії були визначені за такими залежностями:

– для кузова локомотива:

$$a_x = m,$$

$$a_y = m,$$

де m – маса кузова;

$$a_z = m + \frac{4}{b_{\pi}^2} \cdot (m_{\pi} \cdot b_{\text{сп}}^2 + I_{\text{пх}}),$$

де m_{π} – маса проміжної балки; b_{π} – відстань в поперечному напрямку від осі кріплення проміжної балки до вертикальних пружин; $b_{\text{сп}}$ – відстань в поперечному напрямку від осі кріплення проміжної балки до її центру мас; $I_{\text{пх}}$ – момент інерції проміжної балки відносно осі x ;

$$a_{\theta} = I_x + \frac{4}{b_{\pi}^2} (b_{\text{ко}} - h_{\text{ко}} \tan \delta_0) (m_{\pi} b_{\text{сп}}^2 + I_{\text{пх}}),$$

де I_x – момент інерції кузова відносно осі x ; $2b_{\text{ко}}$ – відстань в поперечному напрямку між

точками кріплення до кузова люлечних підвісок; $h_{\text{ко}}$ – висота центру мас кузова над точками кріплення люлечних підвісок до кузова; δ_0 – кут нахилу люлечної підвіски;

$$a_{\varphi} = I_y + 4I_{\text{пз}},$$

де I_y – момент інерції кузова відносно осі y ;

$I_{\text{пз}}$ – момент інерції проміжної балки відносно осі z ;

$$a_{\psi} = I_z;$$

де I_z – момент інерції кузова відносно осі z ;

– для рами візка:

$$a_{xi} = m_{\text{т}} + \frac{2m_{\text{д}} \cdot \ell_y}{\ell_{\text{д}}} + 2m_{\pi},$$

$$a_{yi} = m_{\text{т}} + \frac{2m_{\text{д}} \cdot \ell_y}{\ell_{\text{д}}} + 2m_{\pi},$$

$$a_{zi} = m_{\text{т}} + \frac{2m_{\text{д}} \cdot \ell_y}{\ell_{\text{д}}} + 2m_{\pi} \cdot \left(1 - \frac{b_{\text{сп}}}{b_{\pi}}\right)^2 + 2 \frac{I_{\text{пх}}}{b_{\pi}^2},$$

де $m_{\text{т}}$ – маса рами візка; $m_{\text{д}}$ – маса ТЕД (тягового двигуна); ℓ_y – відстань в поздовжньому напрямку між центром мас колісної пари і пружним упором; $\ell_{\text{д}}$ – відстань в поздовжньому напрямку між центром мас колісної пари і віссю маятникової підвіски;

$$a_{\theta i} = I_{\text{тх}},$$

де $I_{\text{тх}}$ – момент інерції рами візка відносно осі x ;

$$a_{\phi i} = I_{\text{тy}} + \frac{2m_{\text{д}} \cdot \ell_y}{\ell_{\text{д}} \cdot \ell_{\pi}^2},$$

де $I_{\text{тy}}$ – момент інерції рами візка відносно осі y ; $2\ell_{\pi}$ – відстань в поздовжньому напрямку між осями маятникової підвіски ТЕД одного візка;

$$a_{\psi i} = I_{\text{тз}} + \frac{2m_{\text{д}} \cdot \ell_y}{\ell_{\text{д}} \cdot \ell_{\pi}^2} + 2I_{\text{пз}};$$

де $I_{\text{тз}}$ – момент інерції рами візка відносно осі z ;

– для колісних пар:

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

$$a_{xim} = m_k + \frac{m_d \cdot (\ell_d - \ell_y)}{\ell_d},$$

де m_k – маса колісної пари (без ТЕД);

$$a_{yim} = m_k + \frac{m_d \cdot (\ell_d - \ell_y)}{\ell_d} + m_z \cdot (\tan \alpha_{im1}^2 + \tan \alpha_{im2}^2),$$

$$a_{zim} = m_k + \frac{m_d \cdot (\ell_d - \ell_y)}{\ell_d} + 2m_z,$$

де m_z – приведена маса колії у вертикальній площині; α_{imk} – кут нахилу площини, дотичної до поверхні кочення колеса в точці контакту, що залежить від відстані між гребенем колеса і колією в горизонтальному поперечному напрямку;

$$a_{\theta im} = I_{kx} + I_{dx} + m_z (b_{im1}^2 + b_{im2}^2),$$

$$b_{imk} = (-1)^k \cdot b_2 - r \cdot \tan \alpha_{imk},$$

де I_{kx} – момент інерції колісної пари відносно осі x ; I_{dx} – момент інерції ТЕД (тягового двигуна) відносно осі x ; $2b_2$ – відстань в поперечному напрямку між колами катання коліс; r – радіус колеса по колу катання;

$$a_{yim} = \left(m_k + \frac{m_d \cdot (\ell_d - \ell_y)}{\ell_d} \right) \cdot a_{dk}^2 + I_{kz} + I_{dz};$$

де a_{dk} – відстань між центрами мас колісної пари і колісно-моторного блоку; I_{kz} – момент інерції колісної пари відносно осі z ; I_{dz} – момент інерції ТЕД (тягового двигуна) відносно осі z ;
– для тягових двигунів колісних пар:

$$a_{\phi dim} = \frac{m_d \cdot (\ell_d - \ell_y) \cdot \ell_y^2}{\ell_d} + I_{dy},$$

де I_{dy} – момент інерції ТЕД (тягового двигуна) відносно осі y .

Коефіцієнти жорсткості C_{ii} визначались з рівнянь Лагранжа II роду та відповідно дорівнюють:

– для кузова локомотива:

$$C_x = 8K_{kx} + 2K_{tx},$$

де K_{kx} – жорсткість люлечного підвішування при згині відносно осі x ; K_{tx} – жорсткість похилих тяг, прикріплених до кузова і до рам візків, в напрямку осі x ;

$$C_y = 8K_{ky} + 12K_{kz} \cdot \tan^2 \delta_0,$$

де K_{ky} – жорсткість люлечного підвішування при згині відносно осі y ; K_{kz} – жорсткість люлечного підвішування при стисканні відносно осі z ; δ_0 – кут нахилу люлечної підвіски;

$$C_z = 12K_{kz} + 2K_{tz},$$

де K_{tz} – жорсткість похилих тяг, прикріплених до кузова і до рам візків, в напрямку осі z ;

$$C_\theta = 12K_{kz} \cdot (b_{ko} - h_{ko} \cdot \tan \delta_0)^2 + 2h_k^2 \cdot K_{ty},$$

h_k – висота центру мас кузова над точкою кріплення до кузова похилої тяги; K_{ty} – жорсткість похилих тяг, прикріплених до кузова і до рам візків, в напрямку осі y ;

$$C_\phi = 4K_{kz} \cdot (3\ell^2 + 2a_\Pi^2) + 8h_{ko}^2 \cdot K_{kx} + 2h_k^2 \cdot K_{tx},$$

де 2ℓ – база кузова; $2a_\Pi$ – відстань в поздовжньому напрямку між точками кріплення до кузова похилих тяг;

$$C_\psi = 4K_{kz} \cdot (3\ell^2 + 2a_\Pi^2) \cdot \tan^2 \delta_0 + 8\ell^2 \cdot K_{ky} + 8b_{ko}^2 \cdot K_{kx} + 2K_{k\psi},$$

де K_{kx} , K_{ky} , K_{kz} , $K_{k\psi}$ – жорсткості люлечного підвішування при згині (K_{kx} , K_{ky}), стисканні (K_{kz}), скручуванні ($K_{k\psi}$);

– для рами візка:

$$C_{xi} = 4K_{kx} + K_{tx} + 4K_{\phi x},$$

де $K_{\phi x}$ – жорсткості між рамами візків і буксами відносно осі x ;

$$C_{yi} = 4K_{ky} + 6K_{kz} \cdot \tan^2 \delta_0 + 4K_{\phi y} + 2K_{dy},$$

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

де K_{by} – жорсткості між рамами візків і буксами відносно осі y ; $K_{\text{дy}}$ – жорсткості між рамами візків і ТЕД відносно осі y ;

$$C_{\text{zi}} = 6K_{\text{кx}} + 4K_{\text{bz}} + 2K_{\text{dz}},$$

K_{bz} – жорсткості між рамами візків і буксами відносно осі z ; K_{dz} – жорсткості між рамами візків і ТЕД відносно осі z ;

$$C_{\text{ti}} = 6K_{\text{kz}} \cdot b_{\text{n}}^2 + 4K_{\text{by}} \cdot h_0^2 + 4K_{\text{bz}} \cdot b_1^2 + 2K_{\text{дy}} \cdot h_{\text{n}}^2,$$

де b_{n} – відстань в поперечному напрямку від осі кріплення проміжної балки до вертикальних пружин; h_0 – висота центру мас рами візка над рівнем осей колісних пар; $2b_1$ – відстань в поперечному напрямку до буксових пружин; h_{n} – висота центру мас рами візка над точкою кріплення підвіски ТЕД до рами візка;

$$C_{\text{fi}} = 4K_{\text{kz}} \cdot a_{\text{n}}^2 + 4K_{\text{kx}} \cdot h_{\text{to}}^2 - K_{\text{tx}} \cdot h_{\text{t}}^2 + 4K_{\text{bx}} \cdot h_0^2 + 4K_{\text{bz}} \cdot \ell_1^2 + 2K_{\text{dz}} \cdot \ell_{\text{n}}^2,$$

де h_{to} – висота точок кріплення до візка люлечних підвісок над центром мас рами візка; h_{t} – висота центру мас рами візка над точкою кріплення похилої тяги до візка; $2\ell_1$ – база візка;

$$C_{\text{vi}} = 4K_{\text{kz}} \cdot a_{\text{n}}^2 \cdot \tan^2 \delta_0 + 4K_{\text{ky}} \cdot a_0^2 + 4K_{\text{kx}} \cdot b_{\text{to}}^2 + K_{\text{kψ}} + 4K_{\text{bx}} \cdot b_1^2 + 4K_{\text{by}} \cdot \ell_1^2 + 2K_{\text{дy}} \cdot \ell_{\text{n}}^2,$$

де $2a_0$ – відстань в поздовжньому напрямку між точками кріплення до кузова люлечних підвісок візка; $2b_{\text{to}}$ – відстань в поперечному напрямку між точками кріплення до візка люлечних підвісок;

– для колісних пар:

$$C_{\text{xim}} = 2K_{\text{bx}},$$

$$C_{\text{yim}} = 2K_{\text{by}} + K_{\text{дy}},$$

$$C_{\text{zim}} = 2K_{\text{bz}} + K_{\text{dz}} + 2K_{\text{z}},$$

де K_{y} – приведена жорсткість колії відносно осі y ;

$$C_{\text{tim}} = 6K_{\text{kz}} \cdot b_1^2 + 2K_{\text{z}} \cdot b_2^2,$$

$$C_{\text{vim}} = 2K_{\text{bx}} \cdot (b_1^2 + b_{\text{dm}}^2) + 2K_{\text{дy}} \cdot a_{\text{dk}}^2 + K_{\text{дy}} \cdot (\ell_{\text{д}} - a_{\text{dk}})^2,$$

де $2b_1$ – відстань в поперечному напрямку до буксових пружин; $2b_2$ – відстань в поперечному напрямку між колами катання коліс; b_{dm} – відстань в поперечному напрямку від осі кріплення проміжної балки до маятникової підвіски; a_{dk} – відстань між центрами мас колісної пари і колісно-моторного блоку;

– для тягових двигунів колісних пар:

$$C_{\text{фdim}} = K_{\text{dz}} \cdot \ell_{\text{д}}^2 + K_{\text{mz}} \cdot \ell_{\text{ц}}^2,$$

де K_{dz} – жорсткості між рамами візків і ТЕД відносно осі z ; K_{mz} – жорсткості муфти блоку «редуктор – колісна пара» відносно осі z ; $\ell_{\text{ц}}$ – відстань в поздовжньому напрямку між центром мас колісної пари і якорем ТЕД.

Парціальні частоти елементів локомотива визначались за допомогою таких залежностей:

$$\omega_{\text{ni}}^2 = C_{\text{ii}} / a_{\text{ni}},$$

$$\omega_{\text{ni}} = \sqrt{C_{\text{ii}} / a_{\text{ni}}},$$

де C_{ii} – коефіцієнти жорсткості; a_{ni} – інерційні коефіцієнти;

$$f_{\text{ni}} = \omega_{\text{ni}} / 2\pi.$$

Як відомо, резонанс – це явище стрімкого зростання амплітуди змушених коливань системи, яке настає під час наближення частоти зовнішньої дії до певних значень (резонансних частот), зумовлених властивостями системи. Причиною резонансу є збігання зовнішньої (збудливої) частоти із внутрішньою (власною) частотою коливальної системи. Для видалення резонансу елементів конструкції рухомого складу потяг має рухатися зі швидкістю, що виключає збіг частоти ударів коліс по стиках рейок із власною частотою коливань окремих елементів конструкції, для чого обчислюється $V_{\text{рез}}$:

$$V_{\text{рез}} = 3,6 \cdot f_{\text{ni}} \cdot L,$$

де L – довжина ланки стикової колії, м.

Отримані значення були зведені до табл. 1.

Таблиця 1

Результати розрахунку власних частот коливань елементів локомотива

Table 1

The results of calculation of the natural oscillation frequency of locomotive elements

Переміщення	C_{ii}	a_{ni}	ω_{ni} , рад/с	f_{ni} , Гц	$V_{рез}$, км/год	
					$L = 12,5$ м	$L = 25$ м
x	20 705,12	48	20,77	3,31	148,8	297,6
y	1 818	48	6,15	0,98	44,1	88,2
z	3 996	48,38	9,1	1,95	65,25	130,5
θ	2 727,3	93,82	5,39	0,86	38,7	77,4
φ	125 542,58	835,064	12,26	1,95	87,86	175,72
ψ	24 190,13	819	5,43	0,86	38,7	77,4
x_i	290 352,6	9,86	171,6	27,3	1 228,5	2457
y_i	21 044,89	9,86	46,2	7,36	331	662
z_i	2 4238	9,65	50,12	7,38	360	720
θ_i	12 907,23	5,3	49,35	7,86	353,7	707,4
φ_i	34 418,64	114	17,4	2,8	126	252
ψ_i	381 746,62	119,13	56,6	9,01	405,6	811,2
x_{im}	140 000	6,2	150,3	23,9	1 075, 5	2 151
y_{im}	10 068	6,2	40,3	6,42	288,9	577,8
z_{im}	98 880	7,52	114,67	18,26	821,7	1 643,4
θ_{im}	59 514,22	4,24	110,9	17,66	794,6	1 589,2
ψ_{im}	170 636,74	4,75	189,54	30,2	135,8	271,6
φ_{dim}	10 893	1,41	87,9	14	630	1 260

Результати

Джерелами вібрацій є різні двигуни і механізми, функціонуючі у великій кількості на всіх підприємствах, що обслуговують експлуатаційний процес та безпосередньо рухомий склад залізниць. Вібрація, що виникає при дії цих установок, може сприйматися безпосередньо діючим органом (так звана місцева вібрація) або передаватися через перекриття (вібрація загального дії або вібрація робочого місця). На

виробництві найчастіше діють складні періодичні коливання, пов'язані в основному із середньої частиною звукових частот. Однак в сучасній промисловості можуть виникати вібрації і значно більших частот. За цією характеристикою всі механічні коливання поділяють на три групи: вібрація інфразвукової частоти – від 1 до 16 гц; вібрація звукової частоти – від 16 до 20 000 гц та вібрація ультразвукової частоти – понад 20 000 Гц [6, 7].

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Джерелами вібрації на рухомому складі є двигуни і власні коливання окремих складових частин самого рухомого складу. Спостерігаються як періодичні, так і поштовхоподібні коливання. Взагалі, на залізничному транспорті переважають вертикальні вібрації низьких частот в межах від 2–3 до 10 Гц. Характер коливань, величина поштовхів, їх жорсткість залежать від типу та завантаженості машини або вагона, характеру покриття дороги або стану рейкового шляху, швидкості руху і т.п.

Величина віброколиваний в залізничних вагонах залежить від багатьох факторів, наприклад, вагоме значення має місце розташування вагона, оскільки вібрація помітно збільшується в міру віддалення від локомотива, при цьому значно посилюються горизонтальні коливання. В той же час вертикальні коливання однаково проявляються по всій довжині рухомого складу. Відповідно до вимірів, вібрація пасажирських вагонів характеризується амплітудою 0,1–5,0 мм при частоті 1,5–4 Гц і прискоренні 12–130 см/с² [6, 7, 17].

Вплив окремих характеристик вібрації в патогенезі різних фізіологічних і патологічних порушень, що виникають в організмі під впливом цього чинника, не однакова. Так, наприклад, для виникнення вібраційної хвороби вирішальне значення має частота коливань, в той час як вестибулярний апарат найбільше чутливий до змін величини прискорення. Труднощі встановлення на практиці переважного значення в етіології спостережуваних патологічних змін кожної з зазначених фізичних величин, що характеризують вібрацію, полягає ще й у тому, що в виробничих умовах доводиться мати справу не з простими гармонійними коливаннями, а з вібраціями більш складного характеру, що являють собою довільну комбінацію різних частот. Тому для оцінки вібрацій різного характеру повинні бути правильно вибрані різні поєднання показників та коефіцієнтів, що характеризують їх фізичні величини [20–22].

Вплив вібрації на людину-оператора (локомотивна бригада) класифікують за такими показниками: за способом передачі вібрації на людину, за напрямком дії вібрації та за часовою характеристикою вібрації.

Таким чином, показники вібраційного навантаження на оператора повинні формуватися з таких параметрів:

- віброприскорення (віброшвидкість);
- діапазон частот;
- час впливу вібрації.

Отже, показник перевищення вібраційного навантаження на оператора – є різниця логарифмічних рівнів, співвідношення абсолютних значень спектральних або скоригованих за частотою показників вібраційного навантаження на оператора в конкретних виробничих умовах і гранично допустимих значень, встановлених санітарними нормами для цих умов, з тривалістю робочої зміни 8 годин [11, 12].

Величина, взаємозв'язок та співвідношення зазначених показників можуть бути отримані за допомогою досліджень динаміки взаємодії в системі «колія – рухомий склад».

Наукова новизна та практична значимість

Сукупність розроблених положень й отриманих результатів є практичним рішенням вибору раціональних параметрів візків вантажного магістрального електровоза для залізниць України. Сформульовано концепцію вибору конструктивної схеми й раціональних параметрів перспективного локомотива. Розроблено методику розрахунку просторових коливань електровоза для визначення його динамічних показників. Впроваджено програмний комплекс обробки даних експериментальних досліджень динамічних показників електровоза та порівняння результатів теоретичних розрахунків з даними натурних випробувань.

Виконане теоретичне дослідження дозволило об'єктивно оцінити вплив парціальних частот елементів електровоза як на раціональні значення параметрів його екіпажної частини, так і на працездатність та фізіологічний стан локомотивної бригади.

Таким чином, практична цінність всього комплексу теоретичного дослідження полягала в розробленні алгоритму й програми, виборі раціональних параметрів та розрахункової схеми ходової частин електровоза. Використання програмного комплексу для дослідження просторових коливань електровоза дозволило з достатньою для практичних задач точністю оцінити динамічні показники екіпажної частини електровозу.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Результати досліджень знайшли своє наукове використання в низці публікацій авторів в спеціальних та наукових виданнях, виступах на наукових конференціях.

Висновки

Ефективне зниження рівня негативного впливу об'єктів залізничного транспорту на людину і навколишнє природне середовище можливе тільки при цілеспрямованому впровадженні спеціальних, технологічно обґрунтованих заходів. Особливості і тенденції розвитку сучасного рухомого складу визначають необхідність удосконалення методологічного і математичного апарату дослідження вільних та вимушених коливань конструктивних елементів сучасної техніки з урахуванням їх фізико-механічних властивостей.

Перш за все, мова повинна йти про реалізацію принципів системного підходу при вирішенні проблем ергономіки, безпеки і охорони навколишнього середовища на залізничному транспорті.

Результати, отримані в процесі динамічних ходових випробувань, дозволяють моделювати раціональні характеристики вибору конструктивної схеми ходових частин локомотива, що в перспективі дозволить знизити рівень негативного впливу віброколивань на локомотивні бригади та покращити екологічні показники в питанні віброакустичної безпеки на залізничному транспорті в цілому, що узгоджується з виконанням відповідних директив Європейського союзу.

Виконані в подальшому динамічні ходові випробування показали, що дані розрахунків, одержані з використанням теоретичних досліджень, досить добре відповідають результатам випробувань, що свідчить про вдалий вибір конструктивної схеми ходових частин.

Таким чином, отримані результати розрахунків дозволяють об'єктивно оцінити вплив інерційних та квазіупругих коефіцієнтів на динамічні якості вантажного локомотива.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вериго, М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериго, А. Я. Коган. – Москва : Транспорт, 1986. – 560 с.
2. Динамика грузовых вагонов с учетом поперечного смещения тележек / Н. И. Луханин, С. В. Мямлин, Л. А. Недужая, А. А. Швеца // 36. наук. пр. / Донец. ін-т залізн. трансп. – Донецьк, 2012. – Вип. 29. – С. 234–241.
3. Динамические характеристики и рациональные значения параметров ходовых частей электровагона ДЭ1 / Е. П. Блохин, В. Д. Данович, М. Л. Коротенко [и др.] // Транспорт : сб. наук. пр. / Дніпропетр. ін-т залізн. трансп. – Дніпропетровськ, 2002. – Вип. 11. – С. 8–16.
4. Евстратов, А. С. Экипажные части тепловозов / А. С. Евстратов. – Москва : Машиностроение, 1987. – 136 с.
5. Загальнодержавна програма адаптації законодавства України до законодавства Європейського Союзу [Електронний ресурс] : затв. Законом України №1629-IV від 18.03.2004 р. – Режим доступу: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/T041629.html. – Назва з екрана. – Перевірено : 27.04.2016.
6. Зеленько, Ю. В. Розробка принципів і методів оцінки екологічних ризиків виникнення надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті / Ю. В. Зеленько, А. Л. Лещинська, С. В. Бойченко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 35. – С. 177–180.
7. Зеленько, Ю. В. Современные подходы к контролю шума от подвижного состава и созданию шумовых карт железных дорог / Ю. В. Зеленько, С. В. Мямлин, Л. А. Недужая // Транспорт Российской Федерации. – 2015. – № 3 (58). – С. 50–53.
8. Конструкция, расчет и проектирование локомотивов / под ред. А. А. Камаева. – Москва : Машиностроение, 1981. – 350 с.
9. Мировой рынок локомотивов // Железные дороги мира. – 2010. – № 3. – С. 34–35.
10. Мировой рынок электровагонов // Железные дороги мира. – 2012. – № 6. – С. 44–46.
11. Міжнародна організація зі стандартизації (ISO/TC 108/SC 2) ISO 14837-1:2005. Механічна вібрація. Шум і вібрація, що виникають в землі при русі залізничного транспорту. Ч. 1. Загальне керівництво. – Надано чинності 2014-09-19. – Київ : Держспоживстандарт України, 2014. – 45 с.
12. Міжнародна організація зі стандартизації (ISO/TC 108/SC 4) ISO 2631-4:2001. Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу вібрації всього тіла на організм людини. Ч. 4. Настанови щодо оцінки впливу вібрації і обертального руху на комфортний стан пасажирів та бригади на залізничному транспорті. – Надано чинності

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

- 2016-01-15. – Київ : Держспоживстандарт України, 2016. – 9 с.
13. Мямлин, С. В. Оптимизация параметров рессорного подвешивания рельсовых экипажей / С. В. Мямлин, А. Н. Пшинько // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ, 2003. – Вип. 9 (67). – С. 79–85.
 14. Мямлин, С. В. Перспективы развития рынка локомотивов и их ходовых частей / С. В. Мямлин, Л. А. Недужая // Локомотив-информ. – 2014. – № 8. – С. 4–8.
 15. Мямлин, С. В. Программа моделирования пространственных колебаний подвижного состава / С. В. Мямлин // Заліз. транспорт України. – 2000. – № 3. – С. 52–54.
 16. Мямлин, С. В. Совершенствование конструкции ходовых частей локомотивов / С. В. Мямлин, Л. А. Недужая // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 5 (47). – С. 124–136. doi: 10.15802/stp2013/17977.
 17. Мямлін, С. В. Параметрична екологія на залізничному транспорті. Принципи, оцінка, контроль, безпека : монографія / С. В. Мямлін, Ю. В. Зеленько, Л. О. Недужа. – Дніпропетровськ : Літограф, 2014. – 203 с.
 18. Олешкевич, Л. А. Шум и вибрация как неблагоприятные факторы внешней среды / Л. А. Олешкевич, В. В. Липовой // Киев : Обво «Знание», 1980. – 24 с.
 19. Про затвердження Програми оновлення локомотивного парку залізниць України на 2012–2016 рр. : постанова КМУ від 01.08.2011 р. № 840. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/840-2011-%D0%BF7>. – Назва з екрана. – Перевірено : 27.04.2016.
 20. Definition of wheel maintenance measures for reducing ground vibration [Електронний ресурс] : Project co-funded by the European Commission within the Seventh Framework Programme / R. Muller, P. Gratacos, P. Mora [et al.]. – Режим доступу: <http://www.rivas-project.eu/fileadmin/documents/D2.7-Defini>. – Назва з екрана. – Перевірено : 27.04.2016.
 21. Factors affecting the perception of whole-body vibration of occupational drivers: an analysis of posture and manual materials handling and musculoskeletal disorders / N. Raffler, R. Ellegast, T. Kraus, E. Ochsmann // Ergonomics. – 2016. – Vol. 59. – Iss. 1. – P. 48–60. doi: 10.1080/00140139.2015.1051598.
 22. Gabriel, E. J. Vibration Analysis of In-coach Rail Travel and its Effects on Health / E. J. Gabriel, U. P. Chhatre // Intern. J. of Scientific & Engineering Research. – 2013. – Vol. 4, № 4. – P. 764–769.
 23. Myamlin, S. Construction Analysis of Mechanical Parts of Locomotives / S. Myamlin, M. Luchanin, L. Neduzha // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2013. – Vol. 13, № 3. – P. 162–169.

Ю. В. ЗЕЛЕНЬКО^{1*}, Л. А. НЕДУЖАЯ^{2*}, А. А. ШВЕЦ^{3*}

^{1*}Каф. «Химия и инженерная экология», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. ++38 (056) 373 15 77, эл. почта j.zelenko@mail.ru, ORCID 0000-0001-5551-0305

^{2*}Каф. «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (067) 810 51 65, эл. почта nlorhen@i.ua, ORCID 0000-0002-7038-3006

^{3*}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

ВЛИЯНИЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ХОДОВОЙ ЧАСТИ ЛОКОМОТИВА

Цель. Успех перевозок на железных дорогах Украины зависит от количества и эксплуатационного парка электровазов. Сегодня в локомотивных депо эксплуатируют физически и морально устаревшие электровазы, которые имеют низкую надежность. Модернизация этих электровазов экономически не оправдана. Целью исследования является повышение безопасности тягового подвижного состава путем частотного анализа динамических систем, который позволяет проводить расчет собственных (резонансных) частот конструкции и соответствующих форм колебаний. **Методика.** Исследование проводилось методами аналитической механики и математического моделирования эксплуатационных нагрузок грузового локомотива при движе-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

нии с различными скоростями по прямым и кривым участкам пути. Теоретическую ценность работы составляет разработанная методика выбора конструктивной схемы и рациональных параметров перспективного электровоза с учетом инерционных коэффициентов и коэффициентов жесткости уравнений Лагранжа II рода. **Результаты.** Решены задачи теоретических исследований и разработки математической модели пространственных колебаний электровоза. Приведены теоретические исследования влияния инерционных коэффициентов и коэффициентов жесткости на динамические показатели и значения параметров ходовых частей электровоза. **Научная новизна.** Совокупность разработанных положений и полученных результатов является практичным решением выбора рациональных параметров тележек грузового магистрального электровоза для железных дорог Украины. Сформулирована концепция выбора конструктивной схемы и рациональных параметров перспективного локомотива. Разработана методика расчета пространственных колебаний электровоза для определения его динамических показателей. Внедрен программный комплекс обработки данных экспериментальных исследований динамических показателей электровоза и сравнение результатов теоретических расчетов с данными натурных испытаний. **Практическая значимость.** Проведенное теоретическое исследование позволило объективно оценить влияние парциальных частот элементов электровоза как на рациональные значения параметров его экипажной части, так и на работоспособность и физиологическое состояние локомотивной бригады. Таким образом, практическая ценность всего комплекса теоретического исследования заключается в разработке алгоритма и программы, выборе рациональных параметров и расчетной схемы ходовой части электровоза. Использование программного комплекса для исследования пространственных колебаний электровоза позволило с достаточной (для практических задач) точностью оценить динамические показатели экипажной части электровоза.

Ключевые слова: инерционные коэффициенты; квазиупругие коэффициенты; уравнения Лагранжа II рода; грузовой электровоз; динамические показатели; динамическая нагрузка; пространственные колебания; рациональные значения параметров

YU. V. ZELENIKO^{1*}, L. O. NEDUZHA^{2*}, A. O. SHVETS^{3*}

^{1*}Dep. «Chemistry and Environmental Engineering», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St. 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. ++38 (056) 373 15 77, e-mail j.zelenko@mail.ru, ORCID 0000-0001-5551-0305

^{2*}Dep. «Building Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St. 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 810 51 65, e-mail nlorhen@i.ua, ORCID 0000-0002-7038-3006

^{3*}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

INFLUENCE OF ROLLING STOCK VIBROACOUSTICAL PARAMETERS ON THE CHOICE OF RATIONAL VALUES OF LOCOMOTIVE RUNNING GEAR

Purpose. The success of the traffic on the railways of Ukraine depends on the number and the operational fleet of electric locomotives. Today, the locomotive depot exploit physically and morally outdated locomotives that have low reliability. Modernization of electric locomotives is not economically justified. The aim of this study is to improve the safety of the traction rolling stock by the frequency analysis of dynamical systems, which allows conducting the calculation of the natural (of resonant) frequencies of the design and related forms of vibrations. **Methodology.** The study was conducted by methods of analytical mechanics and mathematical modeling of operating loads of freight locomotive when driving at different speeds on the straight and curved track sections. The theoretical value of the work is the technique of choice of constructive schemes and rational parameters of perspective electric locomotive taking into account the electric inertia ratios and stiffness coefficients of Lagrange second-order equations. **Findings.** The problems of theoretical research and the development of a mathematical model of the spatial electric vibrations are solved. The theoretical studies of the effect of inertia ratios and stiffness coefficients on the dynamic values and the parameter values of electric locomotive undercarriages are presented. **Originality.** The set of developed regulations and obtained results is a practical solution to selecting rational parameters of bogies of the freight mainline locomotive for railways of Ukraine. A concept of choice of constructive scheme and rational parameters of perspective locomotive is formulated. It is developed the method of calculation of spatial electric locomotive oscillations to determine its dynamic performance. The software complex for processing the data of experimental studies of dynamic parameters of electric locomotive and comparing the results of the theoretical calculations with the data

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

of full-scale tests is implemented. **Practical value.** The theoretical study allows objectively assessing the impact of the partial frequency of electric locomotive elements on both the rational parameters of its underframe, and the performance and physiological condition of the locomotive crew. Thus, the practical value of the whole complex of theoretical research was to develop an algorithm and program, choosing rational parameters and design scheme of electric locomotive running gear. Using a software package for the study of spatial fluctuations of electric locomotive made it possible to evaluate the dynamic performance of the electric locomotive underframe with sufficient accuracy for practical problems.

Keywords: inertial coefficients; stiffness coefficients; the Lagrange equations of second-order; freight electric locomotive, dynamic performance; dynamic load; spatial fluctuations; rational parameters

REFERENCES

1. Verigo M.F., Kogan A.Ya. *Vzaimodeystviye puti i podvizhnogo sostava* [The interaction of track and rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1986. 560 p.
2. Lukhanin N.I., Myamlin S.V., Neduzhaya L.A., Shvets A.A. *Dinamika gruzovykh vagonov s uchetom poperechnogo smeshcheniya telezhek* [Freight cars dynamics, taking into account transversal displacement of the bogies]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu* [Proc. of Donetsk Institution of Railway Transport], 2012, issue 29, pp. 234-241.
3. Blokhin Ye.P., Danovich V.D., Korotenko M.L., Litvin V.A., Neduzhaya L.A., Reydemeyster O.G. *Dinamicheskiye kharakteristiki i ratsionalnyye znacheniya parametrov khodovykh chastey elektrovoza DE1* [Dynamic characteristics and rational parameters of running parts of electric locomotive DE1]. *Zbirnyk naukovykh prats: «Transport»* [Proc. «Transport»], 2002, issue 11, pp. 8-16.
4. Yevstratov A.S. *Ekipazhnyye chasti teplovozov* [Vehicle-parts for locomotives]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1987. 136 p.
5. *Zahalnoderzhavna prohrama adaptatsii zakonodavstva Ukrainy do zakonodavstva Yevropeiskoho Soiuzu* [The nationwide program of adaptation of Ukrainian legislation to EU legislation]. Available at: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/T041629.html (Accessed 27 April 2016).
6. Zelenko Yu.V., Leshchynska A.L., Boichenko S.V. *Rozrobka pryntsyviv i metodiv otsinky ekolohichnykh ryzykiv vynyknennia nadzvychainykh sytuatsii na zaliznychnomu transporti* [Principles and estimation methods development of ecological risks initiation of emergency situations at railway transport]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho uniwersytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 35, pp. 177-180.
7. Zelenko Yu.V., Myamlin S.V., Neduzhaya L.A. *Sovremennyye podkhody k kontrolyu shumov ot podvizhnogo sostava i sozdaniyu shumovykh kart zheleznykh dorog* [Modern approaches to the control of noise from rolling stock and the creation of noise maps of railways]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of Russian Federation*, 2015, no. 3 (58), pp. 50-53.
8. Kamayev A.A. *Konstruktsiya, raschet i proyektirovaniye lokomotivov* [Design, calculation and design of locomotives]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1981. 350 p.
9. *Mirovoy rynek lokomotivov* [The global market for locomotives]. *Zheleznyye dorogi mira – Railways of the World*, 2010, no. 3, pp. 34-35.
10. *Mirovoy rynek lokomotivov* [The global market for electric locomotives]. *Zheleznyye dorogi mira – Railways of the World*, 2010, no. 6, pp. 44-46.
11. *Mizhnarodna orhanizatsiia zi standartyzatsii (ISO/TS 108/SC 2) ISO 14837-1:2005. Mekhanichna vibratsiia. Shum i vibratsiia, shcho vynykaiut v zemli pry rusi zaliznychnoho transportu. Chastyna 1. Zahalne kerivnytstvo* [International Organization for Standardization (ISO/TC 108/SC 2). ISO 14837-1:2005. Mechanical vibration. Noise and vibrations arising in the land at the motion of railway transport. Part 1. General guidance]. Kyiv, Derzhpozhvystandart Ukrainy Publ., 2014. 45 p.
12. *Mizhnarodna orhanizatsiia zi standartyzatsii (ISO/TS 108/SC 4) ISO 2631-4:2001. Vibratsiia ta udar mekhanichni. Otsinka vplyvu vibratsii vsoho tila na orhanizm liudyny. Chastyna 4. Nastanovy shchodo otsinky vplyvu vibratsii i obertalnoho rukhu na komfortnyi stan pasazhyriv ta bryhady na zaliznychnomu transporti* [International Organization for Standardization (ISO/TC 108/SC 4) ISO 2631-4:2001. Vibration and impact mechanical. Evaluation of vibration influence of the whole body on the human organism. Part 4. Guidelines for assessing the impact of vibration and rotational motion on the comfortable condition of passengers and crew on the railway transport]. Kyiv, Derzhpozhvystandart Ukrainy Publ., 2016. 9 p.
13. Myamlin S.V., Pshinko A.N. *Optimizatsiya parametrov resornogo podveshivaniya relsovykh ekipazhey* [Optimization of parameters of spring suspension of railway vehicles]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho*

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

- universytetu imeni V. Dalia* [Bulletin of East Ukrainian National University named after V. Dahl], 2003, no. 9 (67), pp. 79-85.
14. Myamlin S.V., Neduzhaya L.A. Perspektivy razvitiya rynka lokomotivov i ikh khodovykh chastei [Prospects for the development of the market of locomotives and their undercarriages]. *Lokomotiv-inform – Locomotive-Inform*, 2014, no. 8, pp. 4-8.
 15. Myamlin S.V. Programma modelirovaniya prostranstvennykh kolebaniy podvizhnogo sostava [The simulation program of spatial fluctuations of rolling stock]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2000, no. 3, pp. 52-54.
 16. Myamlin S.V., Neduzhaya L.A. Sovershenstvovaniye konstruktсии khodovykh chastei lokomotivov [Improving the design of running parts of locomotives]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2013, no. 5 (47), pp. 124-136. doi: 10.15802/stp2013/17977.
 17. Myamlin S.V., Zelenko Yu.V., Neduzha L.O. Parametrychna ekolohiia na zaliznychnomu transporti. Pryntsy, otsinka, kontrol, bezpeka [Parametric environment in railway transport. Principles, assessment, monitoring, security]. Dnipropetrovsk, Litohraf Publ., 2014. 203 p.
 18. Oleshkevich L.A., Lipovoy V.V. *Shum i vibratsiya kak neblagopriyatnyye faktory vneshney sredy* [Noise and vibration as adverse environmental factors]. Kyiv, Znaniye Publ., 1980. 24 p.
 19. *Postanova KМУ «Prohrama onovlennia lokomotyvnoho parku zaliznyts Ukrainy na 2012-2016 roky»* [Resolution of the Cabinet of Ministers in Ukraine «Program of updates of Locomotive Park of railways of Ukraine for 2012-2016»]. Available at: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/840-2011-%D0%BF7> (Accessed 27 April 2016).
 20. Roger Muller, Pau Gratacos, Pablo Mora. Definition of wheel maintenance measures for reducing ground vibration. Project co-funded by the European Commission within the Seventh Framework Programme. Available at: <http://www.rivas-project.eu/fileadmin/documents/D2.7-Defini> (Accessed 27 April 2016).
 21. Raffler N., Ellegast R., Kraus T., Ochsmann E. Factors affecting the perception of whole-body vibration of occupational drivers: an analysis of posture and manual materials handling and musculoskeletal disorders. *Ergonomics*, 2016, no. 1 (59), pp. 49-60. doi: 10.1080/00140139.2015.1051598.
 22. Gabriel E. J., Chhatre U. P. Vibration Analysis of In-coach Rail Travel and its Effects on Health. *Intern. Journal of Scientific & Engineering Research*, 2013, no. 4 (4), pp. 764-769.
 23. Myamlin S.V., Luchanin M.I., Neduzha L.A. Construction Analysis of Mechanical Parts of Locomotives. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*, 2013, no. 3 (13), pp. 162-169.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. л. Горобцем (Україна); д.т.н., проф. С. О. Вамбодем (Україна)

Надійшла до редколегії: 10.02.2016

Прийнята до друку: 01.06.2016

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

УДК 658.264

А. Ф. ГОЛОВЧУК^{1*}

^{1*}Каф. «Теплотехніка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка
В. Лазаряна, вул. Лазаряна 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел.+38 (056) 373 15 87,
ел. пошта golovchuk1948@mail.ru, ORCID 0000-0003-0562-2629

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ СТУДМІСТЕЧКА УМАНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ САДІВНИЦТВА

Мета. В сучасних умовах зростання споживання енергоресурсів та стрімкого підвищення вартості енергоносіїв актуальною проблемою є розробка і реалізація програми енергозбереження, перетворення ресурсозбереження у джерело забезпечення потреб промисловості й комунальної енергетики. Метою роботи є вирішення актуальної проблеми енергозбереження, ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів та оптимізації системи теплопостачання на базі Уманського національного університету садівництва (УНУС). **Методика.** В роботі досліджувався технологічний процес опалення і гарячого водопостачання протягом 2007–2015 років. Реалізація актуальної проблеми енергозбереження ґрунтується на науково-практичному та ефективному забезпеченні використання палива і енергії. При цьому енергозберігаючі технології розглядаються як напрям пріоритетного розвитку енергетичної сфери, зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище та як один із шляхів підвищення конкурентоспроможності національної економіки. **Результати.** Проведено збір та аналіз статистичних даних витрати газу і температури зовнішнього повітря за дев'ять років. На основі цього аналізу виявлена проблема та поставлені конкретні задачі її вирішення. **Наукова новизна.** Розглянуті нові напрямки вирішення проблеми енергозбереження та ефективного використання паливних ресурсів України шляхом впровадження системного підходу, розроблення методики ефективного використання різних видів палива та оптимізування роботи локального опалення з сучасними системами автоматизації й контролю. Вперше детально проаналізована і проведена комплексна оцінка впливу різних факторів на економію енергоресурсів із врахуванням людського фактору – професійності й відповідальності операторів котелень та їх начальників, а також відповідних служб контролю. **Практична значимість.** Для студмістечка УНУС було здійснено гібридне використання твердопаливних і газових котлів, проведена децентралізація системи університетського опалення шляхом встановлення 350 індивідуальних опалювальних систем у житлових будинках, віддалених кафедрах та гуртожитках студмістечка. У висновках запропоновано перелік заходів із реальною економією паливно-енергетичних ресурсів та заходи щодо подолання економічної і політичної кризи в країні.

Ключові слова: енергозбереження; комунальне теплоспоживання; децентралізація; система опалення; твердопаливні котли; газові котли; автоматизація; людський фактор

Вступ

Енергетична проблема є актуальною для всіх країн світу, особливо гостро відчувається в Україні, яка на 35–40 % здатна задовольнити власними паливно-енергетичними ресурсами

потреби таких галузей промисловості, як хімічна, нафтопереробна, металургійна, машинобудівна та забезпечити теплоносіями житлово-комунальне господарство. Енергозбереження для нашої країни має технічну, економічну

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

і політичну проблему. Україна значною мірою залежить від постачання з-за кордону органічного палива, яке становить близько 60 % від загального обсягу споживання [1, 4].

Через зростання споживання енергоресурсів і постійного збільшення вартості органічного палива виникає необхідність економії енергоносіїв. Актуальною проблемою сьогодні є розробка і реалізація програми енергозбереження і перетворення ресурсозбереження у вирішальне джерело забезпечення потреб промисловості і комунальної енергетики.

В умовах залежності економіки держави від імпорту паливно-енергетичних ресурсів, постійного зростання їх вартості, актуальним є питання щодо зменшення витрат та втрат енергоносіїв, підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та зниження енергоємності виробництва.

Україна має значний паливно-енергетичний комплекс, але в ньому велика частка застарілого, технічно зношеного обладнання та устаткування. Сьогодні необхідно всебічно осмислити проблему енергозбереження, технологічного та економічного обґрунтування заходів з енергозбереження паливно-енергетичних ресурсів країни.

Мета і задачі роботи. Метою роботи є вирішення проблеми енергозбереження та ефективного використання паливних ресурсів шляхом використання різних енергоносіїв та оптимізація системи теплопостачання на базі Уманського національного університету садівництва (УНУС)¹.

Для досягнення цієї мети в роботі поставлені такі задачі:

- розробити стратегію енерговикористання та розробити заходи з економії паливно-енергетичних ресурсів з урахуванням динаміки зростання цін на енергоносії;
- запропонувати заходи з енергозбереження існуючих систем теплопостачання з попереднім їх обстеженням та оцінкою їх ефективності;
- здійснити перехід на використання альтернативних паливно-енергетичних джерел шляхом введення в експлуатацію твердопаливних котлів;
- децентралізувати систему університетського опалення шляхом встановлення опалювальних систем в житлових будинках та на віддалених кафедрах і гуртожитках;

– запровадити автоматизацію системи теплопостачання студмістечка Уманського НУС для позбавлення залежності від людського фактору і забезпечити більш ефективне використання теплової енергії;

– забезпечити економію паливно-енергетичних ресурсів, безпеку та захист системи теплопостачання студмістечка від корозії та інших факторів;

– для опалення та гарячого водопостачання запровадити сучасні контактні-поверхневі теплогенератори конденсаційного типу нового покоління з високим ККД.

Методика

Реалізація актуальної проблеми енергозбереження ґрунтується на науково-практичному та ефективному забезпеченні використання палива і енергії. При цьому енергозберігаючі технології розглядаються як напрям пріоритетного розвитку енергетичної сфери, зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище і як один з шляхів підвищення конкурентоспроможності національної економіки.

Розв'язання багатьох проблем і задач в цьому напрямку може бути досягнуте шляхом відмови від створення централізованих систем теплопостачання і переходу до нових систем помірної і невеликої одиничної потужності, а також до розукрупнення, у низці випадків, існуючих великих систем. У зв'язку з цим більш широко застосовуватись сьогодні повинні системи децентралізованого теплопостачання від локальних котельень з використанням різних енергоносіїв. Для вирішення проблеми енергозабезпечення та економії енергоресурсів в Уманському НУС було здійснено перехід на використання альтернативних паливно-енергетичних джерел шляхом введення в експлуатацію твердопаливних котлів, а також децентралізовано систему опалення навчального закладу [5, 7, 12, 13].

Результати

Стрімке зростання вартості енергоносіїв в різних регіонах України, зокрема і в м. Умань Черкаської області, (табл. 1) спонукало до порушення питання впровадження заходів, спрямованих на найбільш ефективне та економне використання енергоресурсів в студмістечку Уманського національного університету садівництва (УНУС).

Таблиця 1

Динаміка зростання цін на енергоносії (м. Умань, Черкаська обл.)

Table 1

Growth dynamics of energy prices (m. Uman, Cherkasy region)

Енергоносії	Вартість (тариф) енергоносія за роками					
	2006 р.	2008 р.	2009 р.	2010 р.	2015 р.	
Електроенергія денний тариф, грн/кВт·год	0,3514	0,7155	0,7427	0,83964	Без ПДВ 1,5320	3 ПДВ 1,8384
Електроенергія нічний тариф, грн/кВт·год	0,0812	0,1754	0,182	0,28812	0,3755	0,4506
Електроенергія піковий тариф, грн/кВт·год	0,5848	1,2627	1,3106	1,383	2,7036	3,2443
Природний газ, грн/м ³	0,796	2,1464	2,6537	2,998	6,2226	7,4671
Пічне побутове паливо, грн/кг	4,75	4,8	6,0	5,73	6,6667	8,0
Мазут, грн/кг	1,9	3,34	3,8	4,5	4,1667	5,0
Вугілля антрацит, грн/кг	0,42	1,07	0,95	1,5	2,75	3,3
Дрова, грн/кг	0,08	0,144	0,168	0,154	2,1667	2,6

Примітка¹: Професор Головчук А. Ф. працював ректором Уманського державного аграрного університету (2008–2009рр.) та ректором Уманського національного університету садівництва(2009–2012 рр.).

Теплопостачання студмістечка до 2010 року відбувалося централізовано від котельні (рис. 1), яка також знаходиться на території навчального закладу.

Уманський НУС був заснований у 1844 році як Головне училище садівництва. З дня заснування цей навчальний заклад розташувався на площі 94,1га біля всесвітньо відомого парку «Софіївка». На території університетського містечка розміщено 12 навчальних та адміністративно-допоміжних корпусів, 5 студентських гуртожитків, 6 високоповерхових житлових будинків, наукова бібліотека, санаторій-профілакторій, спортивний комплекс, медпункт з терапевтичним і стоматологічним кабінетами, їдальні і кафе, магазини, котельні, майстерні, відділення зв'язку, метеорологічна станція, оранжереї і теплиці, вегетаційні будинки та інші допоміжні об'єкти, які забезпечують життєдіяльність вищого навчального закладу [3, 12].

Для теплозабезпечення університету від центральної котельні прокладена теплова мережа (рис. 3), від якої теплоносії подаються на опалення та гаряче водопостачання відповідних будівель, а також на «обігрів ґрунту». У 2010–2011 навчальному році теплова мережа студмістечка, яка мала застарілу і неякісну теплоізоляцію частково була замінена на нову (рис. 5). В табл. 2 наведена опалювальна площа Уманського державного аграрного університету (УДАУ) станом на 2009 рік.

У 2009–2010 навчальному році в університеті садівництва були виконані заходи щодо децентралізації системи опалення і гарячого водопостачання. Для ефективного використання теплової енергії в конструкцію системи теплопостачання введені нові енергозберігаючі котли на твердому паливі і газі [6, 8, 14].

Таблиця 2
Опалювальна площа по УДАУ на 2009 рік

Table 2

Heating area in USAU for 2009

№ з/п	Приміщення	Загальна площа, кв. м	Співвідношення, %
1	Житлові будинки	16 993,4	24,5
2	Гуртожитки	21 818,2	31,5
3	Навчальні корпуси та ін.	30 529,6	44,0
Всього		69 341,2	100,0

На початку опалювального сезону 2008 року на спеціальному фонді університету, з якого проводилася оплата за спожитий газ, електроенергію та інші послуги, було лише 226 295 грн та університетські борги більше 3 млн грн за опалення квартир багатоповерхових будівель студмістечка. Такий великий борг виник через різницю вартості газу для юридичних та фізичних осіб.

До проблеми теплозабезпечення студмістечка у 2010 році додалися додаткові опалювальні площі. У цьому календарному році в університеті садівництва була здана в експлуатацію перша черга навчально-культурного центру (наукова бібліотека, бухгалтерія, відділ кадрів, ректорат та ін.) площею 4 300 м² і реконструйовані корпуси новоствореного факультету лісового і садово-паркового господарства (будівля старої бухгалтерії 764 м²) та інженерно-технологічного факультету (будівля старої бібліотеки 572 м²) загальною опалювальною площею 1 336 м².

У 2010 році вирішена фінансово-технічна проблема власників 350 квартир шляхом переведення всіх квартир багатоповерхових будівель на індивідуальне опалення, відключення теплопостачання квартир від центрального опалення і гарячого водопостачання та оплатою багаторічних боргів мешканців студмістечка.

На реконструкцію газопроводів витрачено 152,3 тис. грн університетських коштів, замінено високотратні газові котли у котельні університету на сучасні енергозберігаючі з вико-

ристанням альтернативних видів палива на суму 730 тис. грн. Встановлено сучасну апаратуру з регулювання, контролю та обліку газу та електроенергії на суму 365,5 тис. грн. Це дало економію близько 700 тис. грн за опалювальний сезон (табл. 3).

Після вирішення фінансово-технічних і комунально-господарських проблем адміністрація університету у 2010 році передала житловий фонд студмістечка до новостворених об'єднань співвласників багатоповерхових будівель (ОСББ). ОСББ «Аграрії» і «Магнолія» створені на території навчального закладу і сьогодні успішно виконують свої функціональні обов'язки.

Враховуючи зростаючу ціну на енергоносії, в тому числі і на природний газ, перехід на опалення альтернативними видами палива (дрова, щеп, солома) був своєчасним та виваженим кроком на шляху економії енергозатрат. Це дало можливість (табл. 3) зменшити витрати газу у 2009–2010 навчальних роках порівняно з 2007–2008 навчальним роком на 38,6 % (788 221 м³), що в свою чергу дало можливість зменшити витрати на його закупівлю на 2 091 701,75 грн.

В табл. 4 і 5 наведені порівняльні дані витрати газу залежно від температури навколишнього середовища в опалювальний сезон за чотири роки 2007–2010 рр.

З табл. 4. видно, що у лютому 2010 року споживання газу зменшилося порівняно з лютим 2007 року на 31,5 %, або на 46 923 м³.

Аналогічна картина споживання газу залежно від температури навколишнього середовища і у березні протягом 2007–2010 рр. Тут споживання зменшилося на 52 000 м³ з 111 101 м³ у 2007 році до 59 101 м³ у 2010 році, або на 46,8 %; а порівняно з 2008 роком ця різниця ще більша. У 2008 році центральна котельня УДАУ спожила 157 789 м³ газу, а у тому ж 2010 році лише 59 101 м³ (табл. 4), це на 98 688 м³, або на 62,5 % менше, ніж у 2008 році.

Проаналізувавши споживання газу в університеті з 2007 року, бачимо, що його зменшення становить 869 862 м, або на 75,2 %.

Таблиця 3

**Витрата газу для сезонного опалення студмістечка
Уманського національного університету садівництва**

Table 3

**Gas consumption for the seasonal heating of campus
at Uman National University of Horticulture**

№ з/п	За роками			2009-2010 до 2007–2008р., %	2009-2010 до 2007–2008, у натур. ви- мір., м ³	Зменшення витрат на за- купівлю газу в грошовому еквіваленті, грн
	2007–2008 рр.	2008–2009 рр.	2009–2010 рр.			
Жовтень	49 878	22611	18193	36,47	31685	84082,48
Листопад	457 436	101780	55267	12,08	402169	1067235,80
Грудень	241 950	135519	152556	63,053	89394	237224,85
Січень	183 025	164721	102603	56,06	80422	213415,86
Лютий	150 476	119465	102250	67,95	48226	127977,33
Березень	157 789	81720	62744	39,76	95045	252220,91
Квітень	43 150	15583	1870	4,33	41280	109544,73
Всього за опалювальний сезон	1 283 704	641 399	495 483	38,6	788 221	2 091 701,75

Таблиця 4

Порівняльний аналіз витрати газу та зовнішньої температури повітря за лютий 2007–2010 рр.

Table 4

Comparative analysis of gas consumption and external temperature for February, 2007–2010

№ з/п	Лютий 2007		Лютий 2008		Лютий 2009		Лютий 2010	
	t, C ⁰	м ³	t, C ⁰	м ³	t, C ⁰	м ³	t, C ⁰	м ³
1	–3,2	5 180	0,2	4 530	–2	5 440	–1,8	5 234
2	–2,4	6 081	–0,6	6 024	–5,3	5 379	–3,6	4 746
3	–2,4	5 764	3,2	5 381	–6,4	5 570	–5,3	5 424
4	–5,2	5 142	–4,7	5 916	–2,2	5 393	–5	5 377
5	–2,2	4 814	–0,4	5 886	1	3 850	–7,2	4 841
6	–1	4 698	2	5 209	2,9	2 936	–10,9	5 538
7	–4,2	4 727	–1	5 193	3,6	3 801	–11	5 778
8	1,9	4 747	–1,4	5 109	6,5	3 826	–8,8	3 728
9	0,8	4 368	–0,8	5 209	7,4	3 447	–7	2 596
10	0,6	4 489	–4	5 401	3	4 290	–3	2 005
11	–2,9	4 440	–5,6	5 566	0	4 354	–3,8	2 784
12	2,5	4 691	–8	5 491	2,6	4 158	–4,6	5 470

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Закінчення табл. 4

End of table 4

№ з/п	Лютий 2007		Лютий 2008		Лютий 2009		Лютий 2010	
	t, C^0	m^3	t, C^0	m^3	t, C^0	m^3	t, C^0	m^3
13	3,8	4 461	–4,8	5 806	1,5	3 387	–1,6	3 833
14	1,6	4 459	–0,2	4 987	0,4	4 151	0,3	5 092
15	–0,4	4 543	–4,9	5 949	–1	4 142	–4,4	5 112
16	–4,3	4 924	–6,6	6 352	–1,1	1 735	–4,2	2 282
17	–9,5	6 062	–9,6	6 670	–2,6	4 379	–5,2	2 581
18	–4,5	6 013	–6	5 728	–2,8	3 830	–0,2	2 462
19	–4,5	6 314	–1,4	5 621	–2,2	3 411	0,8	1 218
20	1,8	4 335	–2,4	6 130	–2,3	3 765	2	1 003
21	1	5 021	–1,3	6 103	–4,9	4 844	1	1 614
22	1	6 603	304	5 937	–5	5 352	0,2	1 614
23	–8,8	6 366	604	4 413	–1,4	5 797	2,1	2 550
24	–15,2	6 782	4	3 378	–6,1	5 397	2,4	1 686
25	–12	6 342	3,6	3 912	–6	4 866	1,8	1 593
26	–8,2	6 104	7,4	3 408	–8,2	4 201	1	2 792
27	–7,4	6 407	0,8	3 560	–0,8	3 499	–2	3 685
28	–5,4	5 299	7,3	3 883	–0,2	4 265	–2,1	3 436
29			2,2	3 726				
Всього		149 176		150 476		119 465		102 253

Таблиця 5

**Порівняльний аналіз витрати газу та зовнішньої температури повітря
за березень 2007–2010 рр.**

Table 5

**Comparative analysis of gas consumption
and external temperature for March, 2007-2010**

№ з/п	Березень 2007		Березень 2008		Березень 2009		Березень 2010	
	t, C^0	m^3	t, C^0	m^3	t, C^0	m^3	t, C^0	m^3
1	–1,2	4 505	3,8	7 212	–2,1	4 442	1,2	1 670
2	0	4 400	5,7	5 817	–4,2	4 575	5,6	1 064
3	3,1	4 545	1,1	6 026	–4,8	3 695	3	1 882
4	–0,2	4 390	5,6	5 573	–5,2	3 488	0,4	1 541
5	2,7	4 341	0,2	4 273	–0,8	3 501	–1,6	1 340
6	0,4	4 019	0,5	4 397	0	2 683	–3,2	2 190

Закінчення табл. 5

End of table 5

№ з/п	Березень 2007		Березень 2008		Березень 2009		Березень 2010	
	t, C ⁰	м ³	t, C ⁰	м ³	t, C ⁰	м ³	t, C ⁰	м ³
7	0,9	3 976	–0,7	5 520	2,4	2 136	–5,3	4 589
8	–0,4	4 146	–1,2	5 554	6,7	2 328	–8,9	5 282
9	–0,9	3 782	5,2	5 501	3	2 291	–4,6	4 422
10	0	3 622	3,8	5 491	1,6	3 158	–5,8	5 028
11	0,8	3 234	3,5	5 486	0,4	2 019	–6	5 022
12	5	3 791	3,7	4 752	1,6	2 292	–2,5	1 715
13	1,4	4 327	5,7	4 572	0,8	2 037	–1,5	1 000
14	–2,1	3 397	4	4 356	2,4	2 027	0,5	2 596
15	4,2	3 445	2	5 500	0,9	2 233	2,2	2 006
16	0,7	2 978	2,6	4 447	1,5	2 101	–0,4	2 769
17	6,8	3 772	5,3	4 385	1	2 102	–2	1 253
18	3,7	5 609	3,3	4 513	1,3	2 123	2,6	1 699
19	6,2	2 914	3,6	4 847	1,6	2 170	5,6	651
20	5,8	2 968	–1,3	4 997	–0,7	2 400	9,7	391
21	8,6	2 448	–2,6	4 593	1,6	3 286	10	1 640
22	7,8	3 753	–1,2	5 512	1,8	1 956	10,2	1 458
23	7,1	3 259	6,3	4 578	–1,2	2 828	5,9	1 556
24	4,3	3 259	3,6	4 362	0,1	2 505	13	1 559
25	1,2	4 039	8,3	5 645	1,1	2 551	9,4	790
26	4,4	2 313	–0,9	6 196	0,1	2 494	10,8	767
27	4,8	2 717	–1,4	5 425	–1,4	2 573	13,6	454
28	0,4	3 220	2,7	4 422	–2,4	2 527	10,9	978
29	–0,5	2 819	0,8	3 908	2,6	2 308	11,1	579
30	–0,6	2 704	2,4	4 377	4,3	2 480	14,2	764
31	2	2 409	3,8	5 552	6,2	2 411	10,5	446
Всього		111 101		157 789		81 720		59 101

В табл. 6 і 7 наведено протокольні дані температури зовнішнього повітря та витрата газу за опалювальні сезони 2008 і 2009 років, а на рис. 1–6 технологічні фрагменти теплозабезпечення академістечка Уманського національного університету садівництва.

На рис. 1 наведено графіки температурного режиму та витрата газу з 15 лютого по 21 люте 2010 року. З таких графіків візуально видно, як протягом доби (ніч, день) змінюється температура навколишнього середовища і витрати газу.

За опалювальний сезон щоденно (день, ніч), щотижнево і помісячно здійснювався контроль

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

використаного газу. В табл. 8 наведено контрольні показники температури і витрата газу, а також фінансово-економічні дані планово-економічного відділу університету за лютий місяць 2010 року.



Рис. 1



Рис. 4



Рис. 2



Рис. 5



Рис. 3



Рис. 6

Таблиця 6

Температура зовнішнього повітря та використання газу в опалювальний сезон 2008 року

Table 6

The temperature of the outside air and the use of gas during the heating season in 2008 year

№ з/п	Січень		Лютий		Березень		Квітень	
	t, C°	м³	t, C°	м³	t, C°	м³	t, C°	м³
1	-5,2	6 129	0,2	4 530	3,8	7 212	3,4	3 874
2	-6	6 376	-0,6	6 024	5,7	5 817	2,2	3 793
3	-11,6	6 468	3,2	5 381	1,1	6 026	-7,8	2 765
4	-13	7 060	-4,7	5 916	5,6	5 573	-8,2	3 746
5	-15,6	7 067	-0,4	5 886	0,2	4 273	6	3 742
6	-15,2	7 267	2	5 209	0,5	4 397	8	3 740
7	-9,7	7 162	-1	5 193	-0,7	5 520	8,2	3 738
8	-11,2	7 195	-1,4	5 109	-1,2	5 554	9,2	3 294
9	-8,8	7 177	-0,8	5 209	5,2	5 501	8,8	2 474
10	-5,4	4 418	-4	5 401	3,8	5 491	7,4	2 191
11	-2,6	5 401	-5,6	5 566	3,5	5 486	11,4	2 526
12	-1,2	6 524	-8	5 491	3,7	4 752	6,2	2 385
13	-0,4	6 487	-4,8	5 806	5,7	4 572	4	2 384
14	0	5 527	-0,2	4 987	4	4 356	4,3	2 244
15	1	4 764	-4,9	5 949	2	5 500	10,2	254
16	-1,4	4 877	-6,6	6 352	2,6	4 447	—	—
17	-2,2	6 205	-9,6	6 670	5,3	4 385	—	—
18	-2	6 257	-6	5 728	3,3	4 513	—	—
19	-3,7	6 380	-1,4	5 621	3,6	4 847	—	—
20	-2,4	5 977	-2,4	6 130	-1,3	4 997	—	—
21	0,7	6 210	-1,3	6 103	-2,6	4 593	—	—
22	6,2	5 073	3,4	5 937	-1,2	5 512	—	—
23	4,2	5 125	6,4	4 413	6,3	4 578	—	—
24	-1	5 566	4	3 378	3,6	4 362	—	—
25	-1,2	6 203	3,6	3 912	8,3	5 645	—	—
26	-0,8	6 236	7,4	3 408	-0,9	6 196	—	—
27	4	6 160	0,8	3 560	-1,4	5 425	—	—
28	0,5	6 173	7,3	3 883	2,7	4 422	—	—
29	0,3	5 700	2,2	3 726	0,8	3 908	—	—
30	-4,1	5 864	—	—	2,4	4 377	—	—
31	0,8	—	—	—	3,8	5 552	—	—
Всього		183 025		150 476		157 789		43 150

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Закінчення табл. 6

End of table 6

№ з/п	Жовтень		Листопад		Грудень	
	t, C°	м³	t, C°	м³	t, C°	м³
1	–	–	11	1 169	4,6	3 788
2	–	–	12	2 259	9,0	3 696
3	–	–	12	1 428	8,1	3 702
4	–	–	10,3	1 775	8,9	3 738
5	–	–	10	1 390	4,9	2 413
6	–	–	10,8	2 753	4,3	2 895
7	–	–	–0,6	1 975	5,0	3 692
8	–	–	–2	3 959	3,4	3 802
9	–	–	–2,4	3 900	–0,9	4 109
10	–	–	–0,9	4 025	–0,2	3 854
11	–	–	–4,9	3 962	–1,8	3 848
12	–	–	–4,6	3 866	3,8	3 767
13	–	–	2,4	3 706	–3,8	4 166
14	–	–	2,6	3 530	–4,7	4 287
15	–	–	1,9	3 597	–5,0	4 476
16	–	–	6	3 560	–4,9	5 352
17	–	–	7	3 601	–3,6	5 131
18	–	–	0,2	3 698	–3,0	5 084
19	–	–	–4,1	3 735	–1,8	5 029
20	–	–	0,6	3 653	–2,1	5 075
21	2,1	1 278	6,8	3 664	–2,3	5 072
22	4,0	1 512	2,6	3 703	–2,8	5 019
23	1,9	1 309	–1,5	5 261	–2,8	5 036
24	4,4	1 383	–2,8	3 796	0,5	4 557
25	5,4	2 111	1	3 864	0,0	4 869
26	6,0	1 905	3,5	4 190	–1,0	5 297
27	3,5	1 887	–0,6	4 249	–5,6	5 981
28	1,9	1 786	1,1	3 822	–8,5	6 244
29	4,2	2 326	1,3	3 882	–3,6	5 742
30	10,2	1 866	3	3 808	–6,0	5 798
Всього	13,5	1 829	–	–	–2,5	–

Таблиця 7
Температура зовнішнього повітря та використання газу в опалювальний сезон 2009 року

Table 7

The temperature of the outside air and the use of gas during the heating season in 2009 year

№ з/п	Січень		Лютий		Березень	
	t, C°	м³	t, C°	м³	t, C°	м³
1	–11,1	6 955	–2	5 440	–2,1	4 442
2	–6,2	5 960	–5,3	5 379	–4,2	4 575
3	–12,8	5 951	–6,4	5 570	–4,8	3 695
4	–9,2	5 943	–2,2	5 393	–5,2	3 488
5	–7,2	6 040	1	3 850	–0,8	3 501
6	–10,8	6 316	2,9	2 936	0	2 683
7	–19,5	6 356	3,6	3 801	2,4	2 136
8	–6,4	6 408	6,5	3 826	6,7	2 328
9	–10,8	5 355	7,4	3 447	3	2 291
10	–2,2	5 621	3	4 290	1,6	3 158
11	–7,2	5 676	0	4 354	0,4	2 019
12	–6,6	5 331	2,6	4 158	1,6	2 292
13	–7,0	5 331	1,5	3 387	0,8	2 037
14	0,0	3 934	0,4	4 151	2,4	2 027
15	2,4	4 745	–1	4 142	0,9	2 233
16	1,3	5 081	–1,1	1 735	1,5	2 101
17	–0,8	5 124	–2,6	4 379	1	2 102
18	–4,5	5 341	–2,8	3 830	1,3	2 123
19	–4,6	5 236	–2,2	3 411	1,6	2 170
20	–2,8	5 192	–2,3	3 765	–0,7	2 400
21	–4,0	5 205	–4,9	4 844	1,6	3 286
22	–1,8	5 028	–5	5 352	1,8	1 956
23	–1,6	4 991	–14	5 797	–1,2	2 828
24	0,0	4 946	–6,1	5 397	0,1	2 505
25	3,0	4 597	–6	4 866	1,1	2 551
26	1,4	4 512	–8,2	4 201	0,1	2 494
27	0,6	4 921	–0,8	3 499	–1,4	2 573
28	2,1	4 181	–0,2	4 265	–2,4	2 527
29	2,2	4 419	–	–	2,6	2 308
30	–0,8	4 839	–	–	4,3	2 480
31	–0,8	5 186	–	–	6,2	2 411
Всього		164 721		119 465		81 720

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Закінчення табл. 7

End of table 7

№ з/п	Квітень		Жовтень		Листопад		Грудень	
	t, C°	м³	t, C°	м³	t, C°	м³	t, C°	м³
1	4,6	1 554	–	–	–0,8	2 440	9	2 580
2	4,2	1 583	–	–	–2,8	2 083	10,7	3 543
3	0,2	1 493	–	–	–1,8	4 250	5	2 958
4	3,4	1 057	–	–	–2,0	2 412	2	2 518
5	3,5	1 269	–	–	–0,6	2 420	3,1	2 031
6	4	1 224	–	–	3,1	956	3,2	2 230
7	12	718	–	–	10,2	2 119	2,9	3 043
8	4,9	791	–	–	9,4	1 910	–0,1	3 364
9	5,8	870	–	–	3,9	2 493	–0,4	4 713
10	7	853	–	–	3,6	2 131	–0,8	4 622
11	4,8	913	–	–	5,8	1 923	–1,4	4 840
12	3,8	812	–	–	9,8	334	–7,4	4 987
13	6,7	815	–	–	7,2	0	–8,5	5 664
14	4	868	–	–	3,2	0	–6,9	6 580
15	2,6	763	1,8	–	2,5	1 533	–10,3	5 697
16	–	–	3,8	–	2,6	1 185	–12,9	6 021
17	–	–	2,6	–	0,8	1 270	–12,1	6 571
18	–	–	0,8	–	3,3	1 316	–13,6	7 045
19	–	–	1,2	2 546	2,8	1 262	–13	7 002
20	–	–	7	1 732	7,4	0	–14,1	6 999
21	–	–	11,2	964	4,4	0	–11,7	7 048
22	–	–	4,8	1 004	9,3	2 552	–1	6 500
23	–	–	6,2	–	1,8	2 216	1,7	6 000
24	–	–	13	–	5,7	3 777	1,3	5 000
25	–	–	11	1 512	6,2	2 430	2,5	5 000
26	–	–	4,5	–	5,1	1 210	1,2	5 000
27	–	–	7,4	–	2,3	3 035	0,6	5 000
28	–	–	8,2	1 583	1,8	2 675	0,6	5 000
29	–	–	4,1	1 604	2,8	2 961	0,9	5 000
30	–	–	4,6	3 293	2,6	2 374	–2,5	5 000
31	–	–	–2,9	1 938	–	–	–1,5	5 000
Всього		15 583		16 176		55 267		152 556

Таблиця 8

Витрата газу за лютий 2010 року

Table 8

The cost of gas for February, 2010

За лютий, дата	Оператор	Опе- ратор	t,С	Витрата газу, м ³	Сума без ПДВ, грн	ПДВ	Сумма з ПДВ, грн	Сума за тиждень, грн
1	Чернов	ніч	0,8	2 181	4 828,19	961,64	5 787,83	98 024,29
	Кармаков	день	-1,8	3 053	6 751,59	1 350,32	8 101,90	
2	Кармаков	ніч	-6,8	2 457	5 433,56	1 086,71	6 520,27	
	Бойко	день	-3,6	2 289	5 062,03	1 012,41	6 074,44	
3	Бойко	ніч	-6,4	2 487	5 499,90	1 099,98	6 599,88	
	Загребельний	день	-5,3	2 937	6 495,06	1 299,01	7 794,07	
4	Загребельний	ніч	-6	2 508	5 546,34	1 109,27	6 655,61	
	Чернов	день	-5	2 689	6 344,68	1 268,94	7 613,61	
5	Чернов	ніч	-7,6	2 687	5 942,19	1 188,44	7 130,63	
	Кармаков	день	-7,2	2 154	4 763,48	952,70	5 716,18	
6	Кармаков	ніч	-13	2 550	5 639,22	1 127,84	6 767,07	
	Бойко	день	-10,9	2 988	6 607,84	1 321,57	7 929,41	
7	Бойко	ніч	-15	2 652	5 864,79	1 172,96	7 037,75	
	Загребельний	день	-11	3 126	6 913,02	1 382,60	8 295,63	
8	Загребельний	ніч	-9,8	1 283	2 837,30	567,46	3 404,76	67 691,91
	Чернов	день	-8,8	2 445	5 407,02	1 081,40	6 488,42	
9	Чернов	ніч	-8,6	1 191	2 633,85	526,77	3 160,62	
	Кармаков	день	-7	1 405	3 107,10	621,42	3 728,52	
10	Кармаков	ніч	-5,9	606	1 340,14	268,03	1 608,17	
	Бойко	день	-3	1 399	3 093,83	618,77	3 712,60	
11	Бойко	ніч	-3,2	1 233	2 726,73	545,35	3 272,08	
	Загребельний	день	-3,8	1 551	3 429,97	685,99	4 115,97	
12	Загребельний	ніч	-3,5	2 566	5 674,61	1 134,92	6 809,53	
	Чернов	день	-4,6	2 904	6 422,08	1 284,42	7 706,50	
13	Чернов	ніч	-2,4	1 885	4 168,60	833,72	5 002,32	
	Кармаков	день	-1,6	1 948	4 307,92	861,58	6 169,51	
14	Кармаков	ніч	0,8	2 329	5 150,49	1 030,10	6 180,59	
	Бойко	день	0,3	2 763	6 110,26	1 222,05	7 332,32	

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Закінчення табл. 8

End of table 8

За лютий, дата	Оператор	Опе- ратор	t, C	Витрата газу, м ³	Сума без ПДВ, грн	ПДВ	Сумма з ПДВ, грн	Сума за тиждень, грн
15	Бойко	ніч	–2,8	2 341	5 177,03	1 035,41	6 212,43	43 181,85
	Загребельний	день	–4,4	2 771	6 127,96	1 225,59	7 353,55	
16	Загребельний	ніч	–4,1	1 179	2 607,31	521,46	3 128,77	
	Чернов	день	–4,2	1 103	2 439,24	487,85	2 927,09	
17	Чернов	ніч	–8,4	1 172	2 591,83	518,37	3 110,20	
	Кармаков	день	–5,2	1 409	3 115,95	623,19	3 739,14	
18	Кармаков	ніч	–1,4	1 031	2 280,02	456,00	2 736,02	
	Бойко	день	–0,2	1 431	3 164,60	632,92	3 797,52	
19	Бойко	ніч	–0,4	813	1 797,92	359,58	2 157,50	
	Загребельний	день	0,8	405	895,64	179,13	1 074,77	
20	Загребельний	ніч	–0,2	520	1 149,96	229,99	1 379,95	
	Чернов	день	2	483	1 068,14	213,63	1 281,76	
21	Чернов	ніч	1,2	707	1 563,50	312,70	1 876,20	46 058,52
	Кармаков	день	1	907	2 005,79	401,16	2 406,95	
22	Кармаков	ніч	0,9	707	1 563,50	312,70	1 876,20	
	Бойко	день	0,2	907	2 005,79	401,16	2 406,95	
23	Бойко	ніч	–2,2	1 128	2 494,53	498,91	2 993,43	
	Загребельний	день	2,1	1 422	3 144,70	628,94	3 773,64	
24	Загребельний	ніч	2,4	792	1 751,48	350,30	2 101,77	
	Чернов	день	2,4	894	1 977,05	395,41	2 372,45	
25	Чернов	ніч	1,1	770	1 702,82	340,56	2 043,39	
	Кармаков	день	1,8	823	1 820,03	364,01	2 184,04	
26	Кармаков	ніч	0,1	1 322	2 923,55	584,71	3 508,26	
	Бойко	день	1	1 470	3 250,85	650,17	3 901,02	
27	Бойко	ніч	–1,8	1 687	3 730,73	746,15	4 476,88	
	Загребельний	день	–2	1 998	4 418,50	883,70	5 302,20	
28	Загребельний	ніч	–2,2	1 748	3 865,63	773,13	4 638,76	
	Чернов	день	–2,1	1 688	3 732,94	746,59	4 479,53	
Всього				96 074			254 956,57	254 956,57

Подобово і позмінно складалися зведені таблиці з показниками витрат газу, дров, електроенергії, води в період 2007–2012 років.

При цьому твердопаливні котли працювали на дровах, вугіллі, щепі і соломі. Наприклад, 8 лютого 2010 року (табл. 8), оператор Чернов при температурі повітря 8,8 °C спалив 2 445 м³

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

газу і 10 (с/м) складометрів дров. Залежно від температури зовнішнього повітря в опалювальний сезон за одну добу спалювалося від 254 до 7 267 м³ газу та від 5 до 20 с/м дров.

У літній період з 2009 року щорічно господарською частиною Уманського НУС здійснювалася планова заготівля дров, соломи і щепи із свого лісу, саду і дослідних полів, а також з лісництв, які розташовані поблизу Умані.

У місячний термін заготовляли більше 600 с/м дров та 1 000 туків соломи.

Протягом опалювального сезону з жовтня по квітень працівники відділу теплозабезпечення університету регулярно отримували термограми з результатами вимірювань температури в аудиторіях та гуртожитках, а також погодинні та середньодобові показники теплотехнічних параметрів котельної установки Уманського НУС.

Вище наведені табл. 3–8 та рис. 1 свідчать про постійний контроль споживання газу при відповідній температурі зовнішнього повітря. В табл. 8, крім добової (ніч, день) витрати газу з контролем при цьому температури зовнішнього повітря, наведене прізвище оператора і вартість спожитого газу за зміну цим оператором. З таблиць порівняльного аналізу і графіка видно, що витрата газу залежить не тільки від температури зовнішнього повітря, а й від людського фактору – контролю і відповідальності операторів котельні а також від адміністрації ВНЗ.

В кінці кожного тижня виконувався аналіз кількості спожитого газу та твердого палива відповідно від температури зовнішнього повітря і режиму роботи навчального закладу.

В табл. 9 наведено дані спожитого газу за опалювальний сезон 2010–2015 років. Значне зменшення витрати газу з 479 264 м³ у 2010 році до 286 960 м³ у 2015 році (40,1 %) пояснюється тим, що в центральній котельні університету було демонтовано котел потужністю 6 МВт, який мав низький ККД і надмірне споживання газу.

У 2010 році на місці цього котла було встановлено два водогрійні опалювальні котли «Ретра 3М» (рис. 2) потужністю 800 кВт. Ці котли розраховані на тверде паливо: дрова, вугілля, щепу та торфобрикети [2, 11].

Багаторічний порівняльний аналіз споживання газу показав, що витрати палива залежать не тільки від температури навколишнього середовища, але і від професійності оператора, від його відповідальності, від його громадської позиції щодо економії паливно-енергетичних ресурсів конкретної котельні навчального закладу, установи чи населеного пункту.

Для підтвердження цього проведемо порівняльний аналіз двох місяців одного року (див. табл. 6) Лютий 2008 року, у якого середньомісячна температура у зимовий період – 0,62°C, а у весняний місяць – березень 2008 року середньомісячна температура була +2,43 °C.

Таблиця 9

Споживання газу котельнями університету за 2010–2015 роки

Table 9

Gas consumption by boilers at the University per 2010–2015 years

Місяць	2010 р., м ³	2011 р., м ³	2012 р., м ³	2013 р., м ³	2014 р., м ³	2015 р., м ³
Січень	102 603	68 196	67 955	122 997	89 070	45 961
Лютий	102 250	87 985	151 605	35 717	81 175	35 187
Березень	62 744	59 222	52 595	38 678	39 988	24 798
Квітень	1 870	12 587	9 880	11 540	12 106	–
Жовтень	25 775	1 219	22 604	5 652	169	7 379
Листопад	42 805	21 871	76 303	52 279	28 050	79 810
Грудень	141 217	80 143	160 218	101 988	39 439	93 825
Всього за рік	479 264	331 223	541 160	368 851	291 497	286 960

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Але газу спалено у березні – 157 785 м³, а у лютому – 150 476 м³. У березні з плюсовою середньомісячною температурою витрачено газу 5 % (7 309 м³) більша, аніж у зимовий лютий місяць із середньо-місячною мінусовою температурою, а це перевитрати університетських коштів на 54 817,5 гривень.

Цей конкретний аналіз підтверджує вище приведений висновок, що витрата газу залежить не тільки від температури зовнішнього повітря, а також від відповідальності, добросовісності і постійного контролю операторів службою теплозабезпечення ОСББ чи відповідних установ.

На віддалених кафедрах економіки, обліку і аудиту, маркетингу, фінансів і кредиту а також на кафедрі процесів, машин та обладнання були поставлені блочно-модульні котельні. У 2011 році для дев'ятиповерхового студентського гуртожитку №6 на 617 місць у якому проживають і викладачі університету, а також для обігріву готелю, студентського кафе, при-міщень побутового обслуговування, а також для опалення вищеперерахованих кафедр факультету економіки і підприємства біля студгуртожитку № 6 була поставлена блочно-модульна котельня (рис. 4). Котел КСВ – 0,63 Гн «Еко» Монастирищанського заводу «Енергетик» (Черкаська обл.). Котел сталевий, водогрійний, автоматизований, 2011 року виготовлення з температурою нагрівання води не вище 115°C і призначений для опалення і гарячого водопостачання в закритих системах теплопостачання. Ця модель котла економно працює на природному газі, а поставлені тепловодолічильники СВТУ-10М та апаратура для виміру, керування, сигналізації та регулювання автоматичного захисту забезпечують безпеку і контроль подачі тепла в автоматичному режимі (фото 6). Впровадження автоматики теплових процесів позбавляє залежності від людського фактору в споживанні теплової енергії на опалення та гаряче водопостачання, а також вирішує проблему економії паливно-енергетичних ресурсів навчального закладу [2].

Для зменшення витрат на опалення було створено у 2010–2011 н. р. цех по виготовленню металопластикових вікон і дверей. Заміна старих дерев'яних вікон і дверей на металопластикові навчальних корпусів і студентських гуртожитків економить споживання теплової енергії на опалення до 22 %.

Для перспективного розвитку енергозбереження та якісного теплозабезпечення студмістечка Уманського національного університету садівництва у 2010 році за участю НПО «Екотерм» м. Київ було проведене детальне обстеження системи теплопостачання та об'єктів енергопостачання УНУС.

Після аналізу структури споживання теплової енергії на опалення та гаряче водопостачання від НПО «Екотерм» та фірми «Медведь» поступила комерційна пропозиція по реконструкції центральної котельні університету щодо заміни опалювальних котлів застарілих конструкцій на сучасні контактнo-поверхневі теплогенератори конденсаційного типу нового покоління тепловою потужністю від 100 до 3 000 кВт. Ці ефективні енергозберігаючі системи автоматичного теплозабезпечення працюють на природному газі і мають європейський рівень, високі технологічні, експлуатаційні, ремонтні, екологічні характеристики, високий ККД, який не нижче 98 %, а в конденсаційному режимі – 104 %. Запропоновані котли призначені для автономного децентралізованого опалення та гарячого водопостачання.

Були проведені розрахунки та аналіз економної ефективності по реконструкції застарілої опалювальної системи університету. На чотирьох запропонованих міні котельнях студмістечка економія грошових коштів сягала від 110 096 грн. до 749 182 грн. за рік. Велика різниця в економії витрат газу, а відповідно і фінансових коштів, в порівнянні з експлуатацією жаротрубних котлів, досягається в зв'язку з великою різницею в ККД (коефіцієнт корисної дії) 75–98%, ідеальним підбором високотехнологічних пальників та автоматики.

Окупність реконструкції опалювальних міні котельнь визначалась по можливій економії природного газу. Якщо врахувати цю економію, при розрахунках окупності реконструкції котельних, а також здорожчання природного газу, то окупність нових котельнь з використанням контактнo-поверхневих водонагрівачів (котлів) фірми «Медведь» буде протягом 1–1,5 року. А якщо сьогодні в центральній університетській котельні провести заміну старих насосів на енергозберігаючі силові агрегати і застосувати частотне регулювання, то сумарне електрови-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

користання за опалювальний сезон може бути знижено на 40–50 %.

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна заключається у вирішенні проблеми енергозбереження та ефективного використання паливних ресурсів України, шляхом використання системного підходу, розроблення методики ефективного використання різних видів палива та оптимізування роботи локального опалення з використанням сучасних систем автоматизації та контролю. Практична значимість в енерговикористанні та збереженні паливних ресурсів заключається в гібридному використанні твердопаливних і газових котлів, яке дає економію паливно-енергетичних ресурсів до 30%; в заміні дерев'яних вікон і дверей на металопластикові, що економить споживання теплової енергії на опалення до 22 %; в автоматизації і диспетчеризації з відповідним професійним і постійним контролем котелень дозволить зекономити паливно-енергетичні ресурси в межах 15–30 %.

Розробні заходи щодо економії енергоресурсів показують, що 60 % закордонного газу можна перекрити на 75,2 % (із практичного досвіду Уманського НУС) економією паливно-енергетичних ресурсів і повністю забезпечити комунальну енергетику і часткову промисловість своїм паливом.

Висновки

1. Сьогодні можна зробити висновок, що зазначені заходи вже дають позитивні результати, але це тільки перші кроки на шляху вирішення проблеми енергозбереження та ефективного використання паливних ресурсів на прикладі Уманського національного університету садівництва. На державному рівні сьогодні необхідно, використовуючи системний підхід, розробити методику ефективного використання різних видів палива та оптимізувати роботу локальної паливної системи з використанням сучасних систем автоматизації та контролю.

2. Для розв'язання проблеми енергозбереження та економії енергоресурсів в Уманському НУС у 2009–2012 рр. було здійснено перехід на використання альтернативних паливно-енергетичних джерел шляхом введення

в експлуатацію твердопаливних котлів, а також проведена децентралізація системи університетського опалення шляхом встановлення 350 індивідуальних опалювальних систем в житлових будинках, віддалених кафедрах та гуртожитках студмістечка.

3. Вирішення проблеми енергозбереження та ефективного використання паливних ресурсів в Уманському НУС показало, що опалювальне теплове навантаження залежить не тільки від температури зовнішнього повітря типу котла чи альтернативного твердого палива, але й від людського фактору професійності, відповідальності операторів та їх начальників, а також відповідних служб контролю.

4. Для зменшення залежності від людського фактору витрати теплоти на опалення та гаряче водопостачання житлових і промислових об'єктів необхідно автоматизувати технологічний процес виробництва, транспортування та використання теплової енергії. Автоматизація і диспетчеризація з відповідним професійним і постійним контролем котелень дозволить зекономити паливно-енергетичні ресурси в межах 15–30 %.

5. Значне зменшення споживання газу та електроенергії в Уманському НУС стало після переведення житлового масиву на індивідуальне опалення та заміни старих електричних лічильників на електронний контроль електричної енергії в кожній квартирі студмістечка. Заміна старих насосів центральної університетської котельні на енергозберігаючі силові агрегати знизить використання електроенергії на 40–50 % за опалювальний сезон.

6. Наш уманський досвід енерговикористання та збереження паливних ресурсів показав:

- що гібридне використання твердопаливних і газових котлів дає економію паливно-енергетичних ресурсів до 30 %;
- що централізована система опалення, яка подає гаряче водопостачання і тепло на відстані більше 2 км втрачає теплоту від 27 до 50 %;
- що заміна дерев'яних вікон і дверей на металопластикові економить споживання теплової енергії на опалення до 22 %;
- що через критичний стан старих, багатокілометрових мереж подачі тепла комунальної теплоенергетики через низьку ступінь корозійної стійкості всієї трубопровідної системи необхідно проводити децентралізацію котелень на державному рівні.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

7. Запропоновані та впроваджені заходи з енергозбереження та економії енергоресурсів існуючих систем теплопостачання з одночасним використанням газових і твердопаливних котлів та відповідним контролем роботи операторів котелень дають від 31,5 % до 75,2 % економії паливно-енергетичних ресурсів в Уманському національному університеті садівництва.

8. Із вище наведеної статті щодо шляхів економії енергоресурсів видно, що 60 % закордонного газу ми можемо перекрити на 75,2 % (із практичного досвіду Уманського НУС) економією паливно-енергетичних ресурсів і повністю забезпечити комунальну енергетику і часткову промисловість своїм паливом в тому числі і альтернативними джерелами енергії (біомаса, сонячні батареї, вітряки та інше).

9. Для цього потрібно зупинити, а потім подолати кризу в економіці, а сьогодні і в політиці самостійно без європейських кредитів та російського газу шляхом:

– відтворення високоефективного сільського господарства, яке на кращих в світі чорноземних аграрній України через високотехнологічне аграрне виробництво активізує роботу переробних, транспортних, машинобудівних, металургійних та інших споріднених взаємопов'язаних галузей народного господарства;

– відмовитися від чергових світових кредитів і відновити вітчизняну промисловість та аграрне виробництво, активізувати експорт української продукції. Це дозволить створити багато додаткових робочих місць на селі і в місті;

– одночасно з налагодженням вітчизняної економіки не на словах, а на ділі подолати корупцію серед владних структур і якої немає і ніколи не було серед обіднелих українців;

– після пустих популяційних розмов та обіцянок про реформи та корупцію новий технічний і професійний кабінет міністрів має терміново розробити перспективну антикризову програму з термінами її виконання та відповідальністю про їх невиконання;

– після схвалення цієї програми виходу з економічної і політичної кризи через 100 днів активної роботи новий прем'єр міністр з своєю професійною і високопорядною і чесною командою може дати надію українському народу жити по-новому: жити вільно, безбідно, безпечно і чесно.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз впровадження енергозберігаючих заходів в університеті / О. М. Пшінько, Д. К. Яценко, В. Г. Кузнецов, М. В. Шаптала // Вісн. Київ. нац. ун-ту технологій та дизайну. – 2013. – № 6. – С. 344–352.
2. Головчук, А. Ф. Автоматика теплових процесів : навч. посібник / А. Ф. Головчук. – Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2015. – 54 с.
3. Головчук, А. Ф. Уманський національний університет садівництва (1844–2011) : літопис становлення і визнання / А. Ф. Головчук, А. У. Коваль, М. В. Недвига. – Умань : Консоль, 2012. – 340 с.
4. Єфімцева, Л. О. Енергетична безпека в Україні: суть, походження та перспективи / Л. О. Єфімцева // Економіка АПК. – 2014. – № 5. – С. 85–92.
5. Карп, И. Н. Децентрализованное теплоснабжение зданий и сооружений / И. Н. Карп, Н. И. Мхитарян // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2000. – № 1. – С. 5–12.
6. Лавренцов, Е. М. Новые конструктивные решения при создании водогрейных котлов с высокими технико-экономическими показателями / Е. М. Лавренцов // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2007. – № 1. – С. 57–64.
7. Мариняк, Б. Б. Аналіз теплопостачання в Україні в контексті еколого-економічної безпеки / Б. Б. Мариняк // Формування ринкових відносин в Україні : зб. наук. пр. – Київ, 2015. – № 4. – С. 149–150.
8. Марченко, Г. С. Котлы средней мощности для автономных систем теплоснабжения / Г. С. Марченко // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1999. – № 3. – С. 112–116.
9. Методика визначення обсягів споживання електричної енергії та теплоти науковими підрозділами університету / О. М. Пшінько, В. Г. Кузнецов, М. В. Шаптала, Д. Є. Шаптала // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 1 (55). – С. 15–22. doi: 10.15802/stp2015/38235.
10. Пшінько, О. М. Аналіз ефективності системи теплопостачання студмістечка Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту / О. М. Пшінько, В. О. Габрінець, В. М. Горячкін // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 2 (50). – С. 74–82. doi: 10.15802/stp2014/23756.
11. Теплогенераторы конденсационного типа : техн. паспорт. – Київ : Медвідь, 2011. – 27 с.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

12. Уманський державний аграрний університет / А. Ф. Головчук, М. Ю. Замаховська [та ін.]. – Київ : Грамота, 2009. – 295 с.
13. Efstathios, E. Energy Storage / E. Efstathios, S. Michaelides // *Alternative Energy Sources. Ser.: Green Energy and Technology*. – 2012. – P. 343–381. doi: 10.1007/978-3-642-20951-2_2.
14. Liao, Z. A Simulation Study on the Energy Efficiency of Gas-Burned Boilers in Heating Systems / Z. Liao, W. Huan // *Intern. J. of Energy and Power Engineering*. – 2015. – Vol. 4. – Iss. 6. – P. 327–332. doi: 10.11648/j.ijepe.20150406.11.

А. Ф. ГОЛОВЧУК^{1*}

^{1*}Каф. «Теплотехника», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел.+38 (056) 373 15 87, эл. почта golovchuk1948@mail.ru, ORCID 0000-0003-0562-2629

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СТУДГОРОДКА УМАНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА САДОВОДСТВА

Цель. В современных условиях роста потребления энергоресурсов и резкого повышения стоимости энергоносителей актуальной проблемой является разработка и реализация программы энергосбережения и преобразования ресурсосбережения в источник обеспечения нужд промышленности и коммунальной энергетики. Целью работы является решение актуальной проблемы энергосбережения и эффективного использования топливно-энергетических ресурсов и оптимизации системы теплоснабжения на базе Уманского национального университета садоводства (УНУС). **Методика.** В работе проводилось исследование технологического процесса отопления и горячего водоснабжения в течение 2007–2015 годов. Реализация актуальной проблемы энергосбережения основывается на научно-практическом и эффективном обеспечении использования топлива и энергии. При этом энергосберегающие технологии рассматриваются как направление приоритетного развития энергетической сферы, снижения техногенной нагрузки на окружающую среду и как один из путей повышения конкурентоспособности национальной экономики. **Результаты.** Осуществлен сбор и анализ статистических данных расхода газа и температуры наружного воздуха за девять лет. На основе этого анализа выявлена проблема и поставлены конкретные задачи ее решения. **Научная новизна.** Рассмотрены новые направления решения проблемы энергосбережения и эффективного использования топливных ресурсов Украины путем внедрения системного подхода, разработки методики эффективного использования различных видов топлива и оптимизации работы локального отопления с современными системами автоматизации и контроля. Впервые подробно проанализирована и проведена комплексная оценка влияния различных факторов на экономию энергоресурсов с учетом человеческого фактора – профессионализма и ответственности операторов котельных и их начальников, а также соответствующих служб контроля. **Практическая значимость.** Для студгородка УНУС было осуществлено гибридное использование твердотопливных и газовых котлов, проведена децентрализация системы университетского отопления путем установления 350 индивидуальных отопительных систем в жилых домах, удаленных кафедрах и общежитиях студгородка. В выводах предложен перечень мероприятий с реальной экономией топливно-энергетических ресурсов и меры по преодолению экономического и политического кризиса в стране.

Ключевые слова: энергосбережение; коммунальное теплоснабжение; децентрализация; система отопления; твердотопливные котлы; газовые котлы; автоматизация; человеческий фактор

А. F. GOLOVCHUK^{1*}

^{1*}Dep. «Thermal Engineering», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St. 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. + 38 (056) 373 15 87, e-mail golovchuk1948@mail.ru, ORCID 0000-0003-0562-2629

HEAT SUPPLY SYSTEM IMPROVEMENT OF CAMPUS AT UMAN NATIONAL UNIVERSITY OF HORTICULTURE

Purpose. In modern conditions of energy consumption growth and a rapid increase in energy prices the actual problem is the development and implementation of energy efficiency programs and resource-saving conversion in to a source to provide the needs of industry and municipal power. The paper aims to solve the urgent problem of energy saving and efficient use of fuel-energy ones and heat supply system optimization on the basis of Uman National University of Horticulture (UNUH). **Methodology.** The work investigated the process of heating and hot water supply in the course of 2007-2015 years. Implementation of current problems of energy saving is grounded on the scientific-practical and efficient assurance of fuel and energy usage. At the same time energy-saving technologies are viewed as a priority direction of the energy sector development, reduction of man-induced impact on the environment and as a way of improving the competitiveness of the national economy. **Findings.** Statistical data acquisition and analyzing of gas flow and outside air temperature for nine years was carried out. On the basis of this analysis, the problem was identified and specific targets for its solutions were set. **Originality.** Scientific novelty lies in solving the problem of energy saving and efficient use of fuel resources in Ukraine through the use of a systematic approach, the methodology development of efficient use of different fuels and optimization of local heating operation, applying contemporary automation and control systems. Firstly it was in detail analyzed and conducted the comprehensive assessment of various factors influence on energy conservation. It takes into account the human factor, professionalism and responsibility of the operators of boilers and their superiors, as well as the relevant control services. **Practical value.** For UNUH campus hybrid use of solid fuel and gas boilers was carried out. Decentralization of the university heating system has been conducted through the restoration of 350 individual heating systems in residential buildings, remote departments and campus dormitories. The conclusions propose the list of activities upon the real economy of fuel and energy resources, and measures to overcome the economic and political crisis in the country.

Keywords: energy efficiency; communal heat consumption; decentralization of heating systems; solid and gas-fired boilers; automation; human factor

REFERENCES

1. Pshinko O.M., Yatsenko D.K., Kuznetsov V.H., Shaptala M.V. Analiz vprovadzhennia enerhozberihaiuchykh zakhodiv v universyteti [Implementation analysis of energy efficiency measures in university]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*, 2013, no. 6, pp. 344-352.
2. Holovchuk A.F. *Avtomatyka teplovykh protsessiv* [Automation of Thermal Processes]. Dnipropetrovsk, Dnipropetrovskiy natsionalnyi universytet zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana Publ., 2015. 54 p.
3. Holovchuk A.F., Koval A.U., Nedvyha M.V. *Umanskyi natsionalnyi universytet sadivnytstva (1844–2011): litopys stanovlennia i vyznannia* [Uman National University of Horticulture (1844-2011), a chronicle of formation and recognition]. Uman, Konsol Publ., 2012. 340 p.
4. Yefimtseva L.O. Enerhetychna bezpeka v Ukraini: sut, pokhodzhennia ta perspektyvy [Energy Security in Ukraine: nature, origin and prospects]. *Ekonomika APK – Economics of Agroindustrial Complex*, 2014, no. 5, pp. 85-92.
5. Karp I.N., Mkhitaryan N.I. Detsentralizovannoye teplosnabzheniye zdaniy i sooruzheniy [Decentralized heat supply of buildings and constuctions]. *Ekotekhnologii i resursosberezheniye – Ecological Technologies and Resource Conservation*, 2000, no. 1, pp. 5-12.
6. Lavrentsov Ye.M. Novyye konstruktivnyye resheniya pri sozdanii vodogreynykh kotlov s vysokimi tekhniko-ekonomicheskimi pokazatelyami [New design solutions to create hot water boilers with high technical and economic indicators]. *Ekotekhnologii i resursosberezheniye – Ecological Technologies and Resource Conservation*, 2007, no. 1, pp. 57-64.
7. Maryniak B.B. Analiz teplopostachannia v Ukraini v konteksti ekoloho-ekonomichnoi bezpeky [Analysis of the heat supply in Ukraine in the context of environmental and economic security]. *Formuvannia rynkovykh vidnosyn v Ukraini* [Formation of market relations in Ukraine], 2015, issue 4, pp. 149-150.
8. Marchenko G.S. Kotly sredney moshchnosti dlya avtonomnykh sistem teplosnabzheniya [Medium power boilers for autonomous heat supply systems]. *Ekotekhnologii i resursosberezheniye – Ecological Technologies and Resource Conservation*, 1999, no. 3, pp. 112-116.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

9. Pshinko O.M., Kuznetsov V.H., Shaptala M.V., Shaptala D.Ye. Metodyka vyznachennia obsiahiv spozhyvannia elektrychnoi enerhii ta teploty naukovymy pidrozdilamy universytetu [Consumption volumes technology of electricity and heat by departments of the university]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 1 (55), pp. 15-22. doi: 10.15802/stp2015/38235.
10. Pshinko O.M., Habrinets V.O., Horiachkin V.M. Analiz efektyvnosti systemy teplopostachannia studmistechnika Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu [Effectiveness analysis of campus heat supply system of dniproperovsk national university of railway transport]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2014, no. 2 (50), pp. 74-82. doi: 10.15802/stp2014/23756.
11. *Teploheneratory kondensatsiinoho typu* [Condensing heat generators]. Kyiv, Medvid Publ., 2011. 27 p.
12. Holovchuk A.F., Zamakhovska M.Yu. *Umanskyi derzhavnyi ahrarnyi universytet* [Uman State Agrarian University]. Kyiv, Hramota Publ., 2009. 295 p.
13. Efstathios E., Michaelides S. Energy Storage. *Alternative Energy Sources. Series: Green Energy and Technology*, 2012, pp. 343-381. doi: 10.1007/978-3-642-20951-2_2.
14. Liao Z., Huan W. A Simulation Study on the Energy Efficiency of Gas-Burned Boilers in Heating Systems. *International Journal of Energy and Power Engineering*, 2015, vol. 4, issue 6, pp. 327-332. doi: 10.11648/j.ijepe.20150406.11.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. О. Габрінець (Україна); д.т.н., проф. Г. Ф. Бабушкіним (Україна)

Надійшла до редколегії: 11.02.2016

Прийнята до друку: 31.05.2016

UDC 697:378.091.6

O. M. PSHINKO¹, V. H. KUZNETSOV², D. K. YATSENKO³, V. O. GABRINET^{4*}¹Dep. «Buildings and Construction Materials», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 46, e-mail pshinko@r.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1598-2970²Dep. «Electricity Supply of Railways», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, тел. + 38 (056) 373 15 25, эл. почта vkuz@i.ua, ORCID 0000-0003-4165-1056³Dep. «Design and Construction of Roads», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, тел.+38 (056) 373 67 94, эл. почта yacenko@nh.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-4886-3134^{4*}Dep. «Heat Engineering», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 87, e-mail gabrin62@mail.ru, ORCID 0000-0002-6115-7162**IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE HEATING SYSTEM
FOR PUBLIC BUILDINGS INFRASTRUCTURE
IN THE CONTEXT OF DNURT**

Purpose. The paper analyses the possibility and terms of increasing the efficiency of heating and ventilation systems of public buildings at the present stage of development and the specific climatic conditions of Ukraine. The main purpose is to develop specific measures for public buildings, which will lead to a significant reduction in energy costs for heating and air conditioning system. The example is similar system of DNURT compact campus, which is heated with its own autonomous boiler that uses natural gas. **Methodology.** The statistical heat loss analysis for the last 5 years allows defining the types and calculating the heat loss values for specific conditions. These losses are compared with those in the world practice and based on the comparison and analysis of the current system there are offered the ways to reduce the heat loss values through the use of various technical and organizational methods. The paper also proposes involvement for this purpose of secondary and alternative energy sources. The secondary energy resources include the heat that is emitted by people and that coming out with the air during ventilation of buildings. The renewable sources include solar and geothermal energy. To enhance the heat transfer medium temperature capacity it is proposed to use the heat pumps. **Findings.** The maximum possible use of the proposed measures and implementation of rational schematic and engineering solutions for heat and hot water supply systems can reduce the energy loss for heating and hot water by 30-35%. **Originality.** The paper for the first time proposed the use of new integrated approaches to maintain the desired heat balance in the winter period, as well as the new schematic solutions for heating and ventilation systems, both in winter and in summer, based on the use of heat pumps and secondary energy resources. **Practical value.** The introduction of the proposed schematic solutions and approaches demand relatively small capital investments and do not require significant reconstruction of already installed systems.

Keywords: heat and hot water supply system, heat loss, thermal conditions, thermal control, heat exchanger, ventilation, alternative energy sources, secondary energy resources, heat pump.

Introduction

At the current period Ukraine is developing in the conditions of growing energy crisis. According to the International Energy Agency (IEA), the today's energy strategies of most consumers of fuel and energy resources (FER) focus on the problem of energy efficiency. The main energy saving potential concentrated in the area of energy use is the district heating systems (DHS). These systems are important settlement infrastructure facilities.

Currently, DHS are widespread and provide a significant share of heat demand in such countries as the Russian Federation (70%), Latvia (70%), Ukraine (66%), Poland (52%), Belarus (50%), Finland (50%), Slovakia (40%), as well as in many other countries. In the European countries (EU27) DHS share in 2010 amounted to 12% [6-9].

Despite the fact that DHS provide a significant proportion of thermal energy consumed in Ukraine, this sector accumulated a number of inter-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

related problems that have the technical, financial, economic, institutional and social aspects [7-8]. This is primarily due to the prices for energy resources and their lack. Therefore, we need a new energy management ideology. All of this is negatively influenced by the energy policy in the modern world. As a result of this, we have insufficient supply of heat and electricity to population and institutions in Ukraine. As a consequence there is a temperature drop in the rooms and classrooms of institutions, cessation of their work in the winter months, and that often has a negative effect on the students' and teachers' health. Therefore the problem of efficient use of primary energy resources in institutions of Ukraine as well as the energy efficiency management is very topical.

Purpose

Ideally, it is desirable to introduce in the University the energy management system (EMS), which is a part of the overall management system and is based on ISO 50001 standard or the Ukrainian standard [1]. EMS consists of organizational structure, planned activities, responsibilities, practices, procedures, processes as well as resources for development, implementation, analysis and revision of energy resource economy policy. The purpose of EMS introduction at the University is a continuous improvement of FER use efficiency. And the main task of EMS at the University is reducing the cost of acquisition of fuel and energy resources. Any EMS is based on the famous management cycle «Plan – Do – Check – Act» («planning – implementation – check – correction») by Edward Deming. From the start of the EMS introduction the University authorities must determine the energy resource economy policy. At the end of each cycle EMS efficiency must be assessed. The most important EMS elements are the following:

- Policy in the field of energy saving;
- FER consumption planning;
- Introduction and functioning of energy management including allocation of duties, personnel training, information exchange, creation of necessary documentation);
- Monitoring and quantitative assessment, identification of non-compliance and introduction of necessary changes;
- Study of EMS efficiency.

An extremely important aspect of the energy management system is its continuous improvement.

The University implements the energy saving measures, analyses the effectiveness of organizational and technical measures of energy efficiency. But there are the reserves, not all the energy saving potential is exhausted [2-4]. Let us determine the level of implementation by the University of energy management ideology with the help of the energy matrix (see Table 1). Horizontal rows of the matrix represent the difficulty levels of the six key management aspects specified in the vertical columns. The transition to a higher level indicates the more mature and formal approach to the energy management and means drawing near the «best practices». The University has not adopted an energy saving policy yet, the measures are implemented by pro-rector for administrative matters; there is no organizational structure of energy management at the University, no regular position of energy manager, the energy management functions are partially carried out by the energy department units and the boiler room; there is no bonus motivation to save energy, the FER effectiveness is discussed at the meetings of relevant services and rector's office; DNURT has an automated system of electric energy audit and control (this indicator gets higher mark); investment in energy saving measures is very limited due to lack of funds.

Table 1

EMS matrix implementation

Level	Energy saving policy	Organizational structure	Motivation to save energy	Information systems	Marketing	Investment
4						
3						
2						
1						
0						

Analysis of Table 1 shows that there are large reserves in the FER consumption management at the University, which together with appropriate

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

technical energy saving measures can lead to significant economic benefits.

Methodology

Let us consider the solving of this problem in the context of DNURT [5]. Consumption of natural gas by DNURT for the last years is shown in Figure 1.

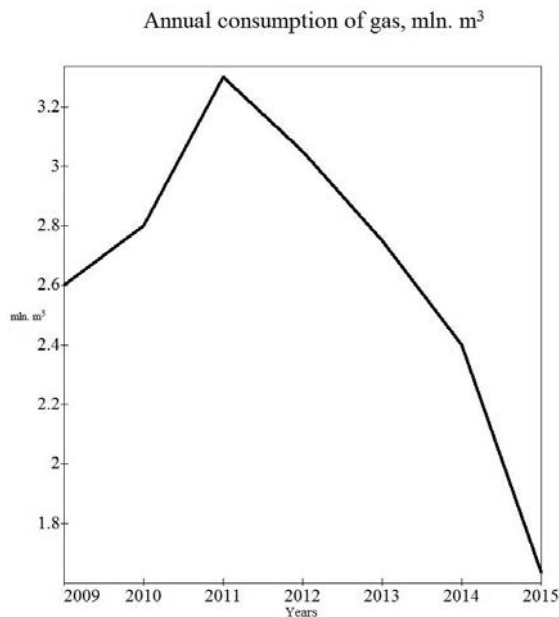


Fig. 1. Annual consumption of natural gas by DNURT

It is seen that in the last four years the natural gas consumption is constantly decreasing. But in order to reach the standards, proposed by DBN (Ukrainian national construction regulation) V 2.6-31-2006 amended as №1 of 2013 it is necessary to reduce these costs further on. Significant natural gas consumption in district heating system by one heating area of the buildings connected to it varies for different cities of Ukraine in a wide range: 130-500 kW·h/ m²year [7-9]. If we take the data of Figure 1 and the total heated area of 131 447.4 m², then these figures for DNURT by years are in the range of 127-258 kW·h/m²year. These data are presented in Figure 2.

The main energy loss in heating systems is related to the loss of the heat-generating system, loss in heat networks and loss of energy consumers. Excluding the latter two factors the significant heat energy consumption by buildings for the whole of

Ukraine is decreased by 30% and is in the range of 100-350 kW·h/m²year. If this approach is applied to DNURT, its main energy consumption per heating of 1m² during the year is in the range of 88-180 kW·h/m²year.

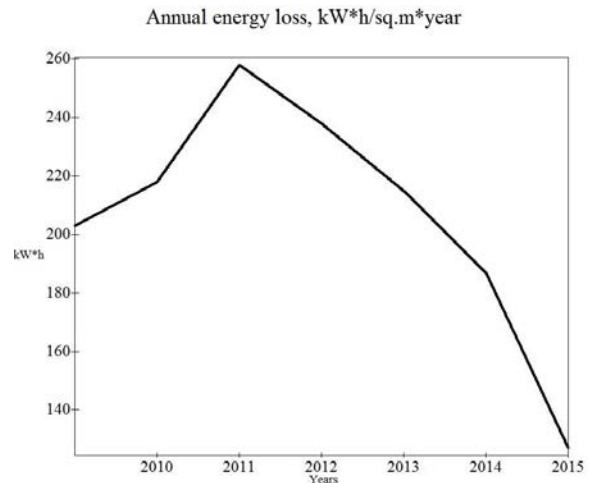


Fig. 2. Annual energy loss for heating of 1m² by DNURT

This is a very good indicator. But here we must remember that DNURT in recent years dramatically reduces the area that is heated in January and February.

Analysis of these data shows that the energy consumption for DNURT heating needs is at a fairly good level. But the situation in Ukraine requires further gas consumption reduction.

It should be noted that now there are many approaches when selecting technical solutions regarding energy efficiency of the heating systems. This creates some subjectivity in this field. In our opinion, considering all the features of DNURT, the most effective measures that will have an instant response are as follows: modernization of existing heating and ventilation arrangement of DNURT, the use of more effective insulation of both buildings and heat network, i.e. their thermo-modernization, the use of alternative energy sources.

The peculiarity of the heat supply system during the heating period is the monitoring of boiler performance using the heating system thermal schedules that are common for the whole Dnieper region and are based on annual weather observation of outdoor temperatures in this region [10-11]. This approach allows adjusting the temperature of the heating water exiting the boilers at the boiler

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

room depending on the outdoor temperature. Thus, the temperature schedule TS130/70 provides the temperature exiting the boiler equal to 130°C in case when the outdoor temperature is -23°C . The heat transfer medium with this temperature reaches the heat distribution stations, which in turn further regulate the temperature of the heat transfer medium for a particular heat energy consumer. Heat distribution station layout is shown in Figure 3.

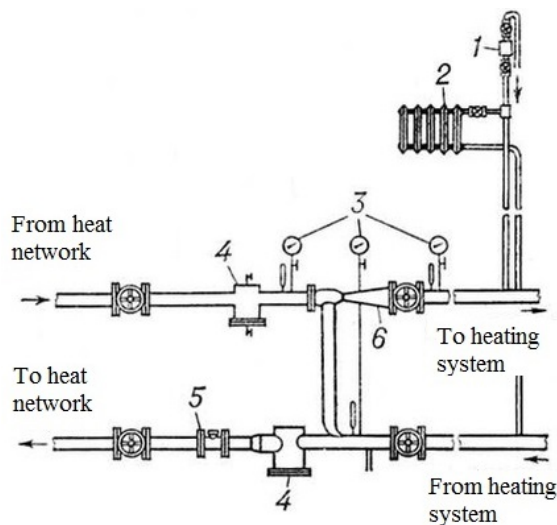


Fig. 3. Heat distribution station layout

Heat distribution stations do not allow automatic weather adjustment and reduction of room temperature in the idle period, as well as responding to the increase in the temperature in the premises with a large number of people. The latter factor is particularly relevant for educational institutions. It is known that a student while listening to lectures emits 150W of heat energy. Therefore, we can assume that the presence of 30 students in the audience means additional heat capacity of 4500W. This means it is possible to reduce the heat in the audience by this value provided the prompt response to changes. In general for the University, if all students and staff are present in the morning hours, this reduction can be up $2500 \times 150 = 375\,000\text{ W}$ of heat energy. If we assume that they are at the University for in average 6 hours, the amount of energy to be reduced can equal to combustion heat of 210m^3 of natural gas per day. If we take the length of the educational process in winter of 110 days, the amount of gas that can be saved by this measure will be approximately 20000m^3 . Therefore, the existing heat distribution stations of

the new and old educational buildings must be changed to more modern systems with automatic temperature control. These buildings consume the most energy. It is shown in Figure 4.

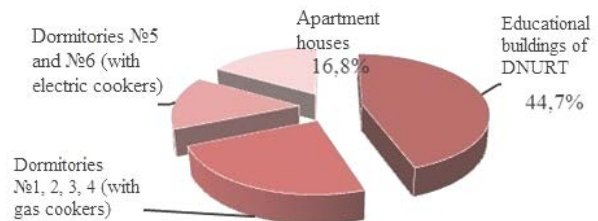


Fig. 4. Consumption of heat energy by DNURT structures.

Thermal energy consumption for heating of educational buildings when using the old and upgraded heating system is shown in Figure 5.

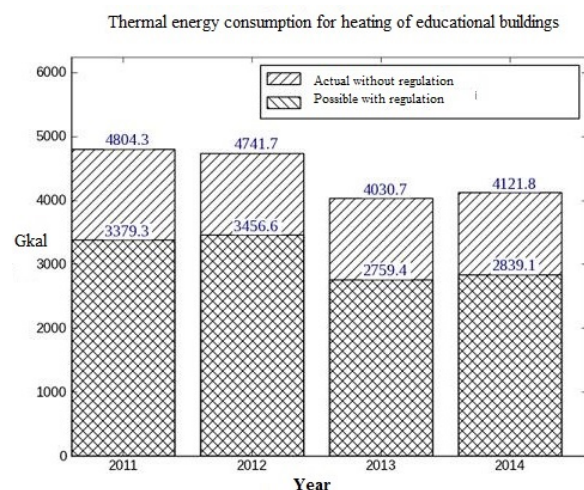


Fig. 5. Thermal energy consumption for heating of educational buildings when using the old and upgraded heating system.

The costs for such project implementation were calculated. Its main components are listed below.

1. Heat supply system renovation project: 160 ths. UAH.

2. Equipment: 600 ths. UAH.

3. Installation: 180 ths. UAH.

4. Administrative costs 60 ths. UAH.

The next step of heat energy saving is associated with ventilation of university premises [11–12]. The matter is that to ensure comfortable conditions by the regulation SNIP 2.04.059*U each person requires 50m^3 of air per hour. For 2,500 students and employees this value is $2500 \times 50 =$

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

125000m³ per hour. Under the current system of natural ventilation all this large amount of air at 18°C temperature is emitted into the environment. If its temperature for emission time is -25°C, then for an hour we lose the amount of heat energy Q_T , which is:

$$Q_T = C_p \rho W \Delta T \quad (1)$$

C_p – heat capacity of air, 1,005 kJ/kg*K, ρ – air density 1,293 kg/m³, W – air volume emitted during ventilation $W = 50N$, N – amount of persons present in the premises, ΔT – temperature difference between the outdoor and indoor air.

Findings

The amount of energy consumed for heating of ventilation air per hour depends on the number of persons present in DNURT premises and the differential temperature. It is shown in Figure 6, depending on the number of present persons and differential temperature.

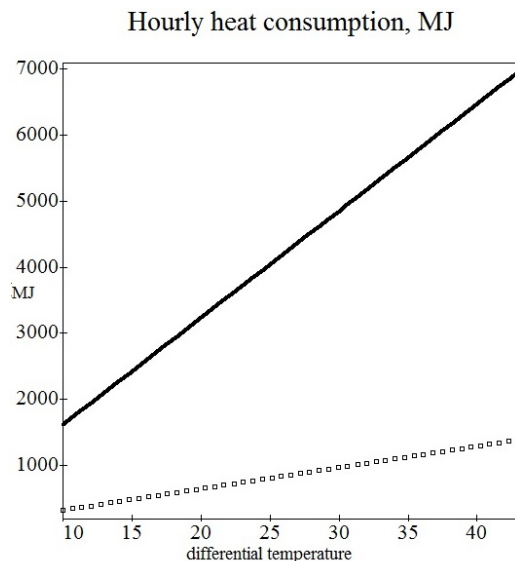


Fig. 6: The amount of energy consumed for ventilation for different quantities of persons present in DNURT premises depending on outdoor temperature (for 2500 and 500 present persons).

The amount of energy loss for ventilation is calculated for 500 and 2 500 employees and for various differential temperatures.

Difference is calculated between the indoor temperature of 18°C and outdoor temperature in the winter period.

The analysis of Figure 6 data shows that with natural air ventilation the University hourly loses a large amount of heat, whose value increases when the number of present persons rises and the outdoor temperature falls. This amount of heat is required to heat the same amount of fresh air that is blown into the room from outdoor temperature lower than 18°C.

The amount of consumed gas depending on the differential temperature and the number of people for DNURT is shown in Figure 7.

Hourly gas consumption in cubic meters

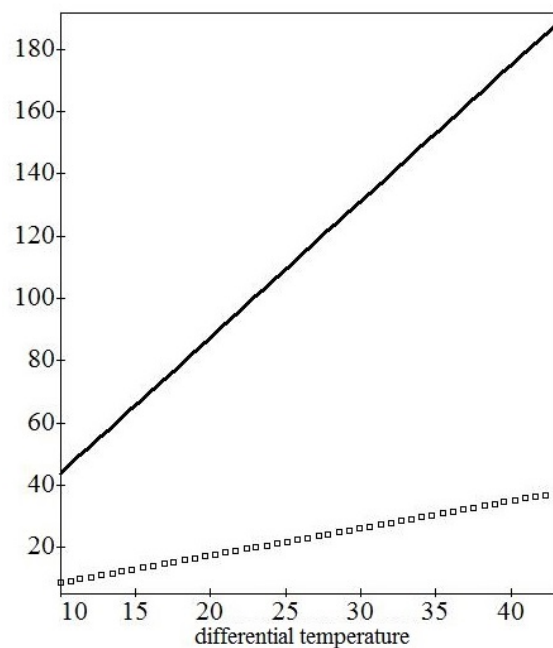


Fig. 7. The amount of natural gas consumed for ventilation air heating per hour at different quantity of persons (2500 and 500) present in DNURT premises depending on the difference between 18°C indoor temperature and outdoor temperature in winter.

The calculation is conducted by the ratio:

$$V = \frac{Q_T}{r} \quad (2)$$

r – natural gas combustion heat, 37MJ /m³.

If this figure is halved due to insufficient ventilation, still the loss will be high.

To close this gap, it is desirable to implement the following measures. To fit the long enough ante-rooms at the front door as shown in Figure 8. This will ensure the heating of the air coming from outside into the large building premises by the

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

warm air coming out from the building. With a large window area this ante-room will also take the energy of sunlight.

The better measure is to install rotary doors at the entrance to this ante-room. The configuration of these doors always inhibits the direct access of outdoor air into the building.

The most desirable and the most effective measure is to create a forced ventilation system.

This system can actively use recuperative heat exchangers HE, which will return to 70% of the heat energy coming out with the air emitted to the environment.

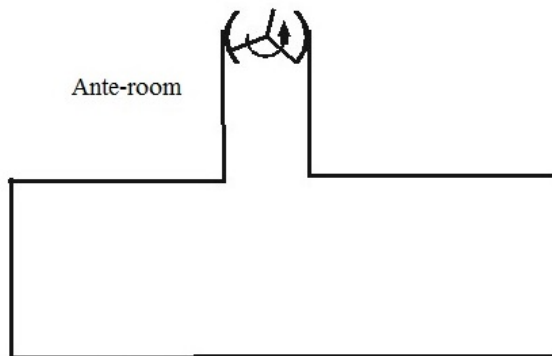


Fig. 8. Fitting of ante-room with rotary doors to reduce heating loss during students' entrance to the University

Schematic diagram of such a ventilation system is shown in Figure 9. The system contains two air ducts: outlet and inlet. From each duct one channel will come to each room *R* of educational building *EB*. Air will move through these channels with the help of fans *F1* and *F2*. The output of the outlet duct and the input of the inlet duct must be equipped with a heat exchanger *HE*. In this heat exchanger the outlet air heated to 18°...22°C temperature will give the heat to the inlet air temperature of -1°...-25°C. Since the ratio of water equivalent of inlet and outlet air $\frac{W_1}{W_2}$ is equal to 1, it can be assumed that the heat transfer coefficients on hot and cold air will be equal to each other and make approximately 100W/m²K. Under these parameters the heat exchanger depending on the design will take up to 80% of the outlet air heat.

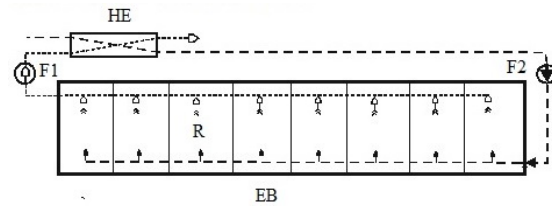


Fig. 9. Forced ventilation diagram of educational building premises with heat exchanger:

HE – recuperative heat exchanger, *F1* and

F2 – fans on the outlet and inlet ventilation ducts,

EB – educational building, *R* – room of educational building

Heat consumption for ventilation will be reduced by the same percentage. This will save fuel which is consumed for heating the air supplied to the premises.

The advantages of such a system may also include an accurate following to the sanitary and hygienic ventilation norms. Such a system, when developed, will quite easily integrate a heat pump, which can greatly reduce the premises climatisation costs.

Another approach with a great potential is increase in the premises heat-saving properties due to improvement of insulating properties of walls and windows of the buildings. If the old building walls are thick enough (0.65 M) and have good insulating properties, the wall thickness of the new building is smaller (0.5 m), which leads to greater heat loss through the wall of about 25%. Large losses occur because of outdated window design in old and new buildings. The gap between the two glass surfaces is too large, leading to the development of free convection in this gap. This, in its turn, results in increased intensity of heat transfer through a large window surfaces. Therefore, replacement of old windows with the new insulating glass units will allow reducing the heat loss by about 30% in the heating period.

The next area of the energy efficiency of heat supply is the use of renewable energy sources. We believe that the effective real measure is the use of pellets to heat the transfer medium in the heating and hot water supply system. Pellets are the fuel pellet made of sunflower husk, straw, sawdust, waste paper, peat and peat dust, crushed chips, dry ground plant residues (leaves, twigs, hay, straw, etc.) and other solid fuel of fraction ≤ 50mm. Their application requires installation of new boilers of Grandpal Mega, Kriger GP, Bioplex type. These boilers can use the most common for Dnipropet-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

rovska region biological resources in the form of straw and corn stems. If DNURT uses thermal capacity of 3 MW of biomass, the daily straw need will make 20000 kg.

The daily demand of DNURT boiler, if the fuel is straw, depending on thermal capacity engaged, is shown in Figure 10. The calculations included three fuel combustion heat values: lower than 13.5 MJ/kg, higher than 15.01 MJ/kg and the combustion heat of dry fuel of 16.77 MJ/kg.

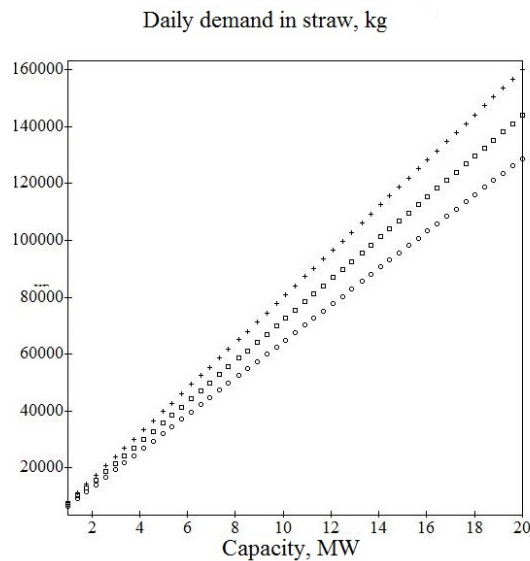


Fig. 10. Daily demand in straw by DNURT boiler depending on thermal capacity engaged

Figure 10 shows, that if the capacity is more than 3MW, the need in straw makes more than 20 tons per day. This requires substantial costs for straw delivery. That is why it is not rational to transfer the heating facilities to biofuel of more than 3MW capacity.



Fig. 11. Solar collector on the building roof

Another area for use of alternative energy sources is the use of solar collectors for hot water supply. The appearance of a solar collector is shown in Figure 11. Monthly supply of dormitory needs by solar heat system is shown in Figure 12.

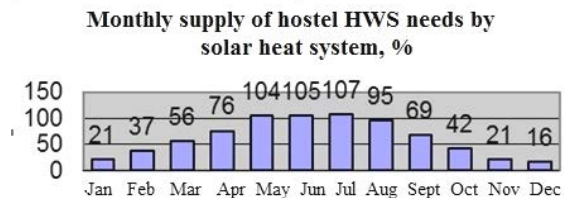


Fig. 12. Monthly supply of dormitory needs by solar heat system

Summing up the results shown in Figure 12, it can be claimed that solar collectors in general can supply more than 60% of the dormitory needs in hot water. The project provisional budget will be the following:

1. Equipment costs 520 ths. UAH;
2. Design work costs 31.2 ths. UAH;
3. Construction and erection work 312 ths. UAH;
4. Commissioning costs 52 ths. UAH;
5. Administrative costs 50 ths. UAH.

Originality and practical value

The paper for the first time proposed the use of new integrated approaches to maintain the desired heat balance in the winter period. This involves the use of such energy sources as the heat emitted by people, the heat coming out with the ventilation air and the heat of renewable energy sources. It also proposes the new schematic solutions for heating and ventilation systems that shall be integrated in one system. This system combined with a heat pump shall work efficiently both in winter and in summer.

Conclusion

Thus, this work presents only several of possible energy saving measures. There are approaches left out of consideration: use of heat pumps, geothermal heat, energy-active protection. Preliminary calculations of possible savings due to the proposed measures for various buildings of DNURT are shown in Table 2.

Table 2

Possible saving from the proposed measures for different buildings of DNURT

Heating season	Building	Heat loss, Гкал	Possible saving			Reduction of greenhouse gases, t
			Heat, Gcal (%)	Gas, ths. m ³	In money terms, ths.UAH	
2012-2013	New educational building	945.72	298.28 (31.54)	46.3	289.72	87.07
	Old educational building	2716.75	856.85 (31.54)	133.05	832.29	250.14
	Assembly hall extension	368.19	116.13 (31.54)	18.03	112.8	33.9

LIST OF REFERENCE LINKS

- Аналіз впровадження енергозберігаючих заходів в університеті / О. М. Пшінько, Д. К. Яценко, В. Г. Кузнецов, М. В. Шаптала // Вісн. Київ. нац. ун-ту технологій та дизайну. – 2013. – № 6 (74). – С. 344–352.
- Гершкович, В. Ф. Оцінка ефективності використання в тепловому насосі тепла із зворотного трубопроводу теплової мережі при теплопостачанні від ТЕЦ / В. Ф. Гершкович, А. К. Литовченко // Новини теплопостачання. – 2011. – № 1 (125). – С. 35–37.
- ДСТУ 4472-2005. Системи енергетичного менеджменту. Загальні вимоги. – Київ : Держстандарт України, 2005. – 28 с.
- Кузнецов, В. Г. Експрес-оцінка теплових втрат у мережах теплопостачання / В. Г. Кузнецов, В. Ю. Половников, Ю. С. Циганкова // Новини теплопостачання. – 2012. – № 11 (47). – С. 33–35.
- Методика визначення обсягів споживання електричної енергії та теплоти науковими підрозділами університету / О. М. Пшінько, В. Г. Кузнецов, М. В. Шаптала, Д. Є. Шаптала // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 1 (55). – С. 15–22. doi: 10.15802/stp2015/38235.
- Никитин, Е. Е. Концептуальные вопросы модернизации теплообеспечения населенных пунктов Украины / Е. Е. Никитин // Проблемы заальної енергетики : наук. зб. / Нац. акад. наук України, Ін-т заг. енергетики. – Київ, 2012. – Вип. 2. – С. 5–11.
- Никитин, Е. Е. Оценка технико-экономической эффективности комплексной термомодернизации централизованной системы тепло-снабжения и зданий / А. В. Дутка, Е. Е. Никитин // Энергетика и ТЭК. – 2013. – № 9 (126). – С. 22–26.
- Показники ефективності систем теплопостачання / В. І. Дешко, М. М. Шовколюк, Ю. В. Шовколюк, С. М. Дудніков // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. – Київ, 2012. – Вип. 16. – С. 182–192.
- Пшінько, О. М. Аналіз ефективності системи теплопостачання студмістечка Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту / О. М. Пшінько, В. А. Габрінець, В. М. Горячкін // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 2 (50). – С. 74–82. doi: 10.15802/stp2014/23756.
- Behfard, M. Numerical investigation for finding the appropriate design parameters of a fin-and-tube heat exchanger with delta-winglet vortex generators / M. Behfard, A. Sohankar // Heat and Mass Transfer. – 2016. – Vol. 52. – Iss. 1. – P. 21–37. doi: 10.1007/s00231-015-1705-1.
- Energy management handbook / by Wane C. Turner. – the 4th ed. – Lilburn, Georgia : The Fairmount Press, Inc., 2001. – 758 p.
- Exploring the effectiveness of social messages on promoting energy conservation behavior in buildings / S. Khashe, A. Heydarian, B. B.-Gerber, W. Wood // Building and Environment. – 2016. – Vol. 102. – P. 83–94. doi: 10.1016/j.buildenv.2016.03.019.

13. Heat Roadmap Europe 2050. Study for the EU27. Performed by Aalborg University, Halmstad University and Plan Energy [Electronic resource]. – Available at: <http://www.euroheat.org>. – Title from the screen. – Accessed :19.05.2016.
14. Mert, S. O. Experimental performance investigation of a shell and tube heat exchanger by exergy based sensitivity analysis / S. O. Mert , A. Reis // Heat and Mass Transfer. – 2015. – Vol. 52. – Iss. 6. – P. 1117–1123. doi: 10.1007/s00231-015-1636-x.

О. М. ПІШІНЬКО¹, В. Г. КУЗНЕЦОВ², Д. К. ЯЦЕНКО³, В. О. ГАБРИНЕЦЬ^{4*}

¹Каф. «Будівлі та будівельні матеріали», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 46, ел. пошта pshinko@t.dit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1598-2970

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

³Каф. «Проектування і будівництво доріг», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 67 94, ел. пошта yacenko@nh.dit.edu.ua, ORCID 0000-0002-4886-3134

^{4*}Каф. «Теплотехніка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87, ел. пошта gabrin62@mail.ru, ORCID 0000-0002-6115-7162

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ НА ПРИКЛАДІ ДНУЗТ

Мета. У дослідженні необхідно проаналізувати можливість і умови підвищення ефективності роботи систем теплопостачання та вентиляції громадських будівель на сучасному етапі розвитку країни й характерних кліматичних особливостей України. Головною метою роботи є розробка конкретних заходів для громадських будівель, які призведуть до значного скорочення витрат енергетичних ресурсів на опалення та систему кондиціонування повітря. В якості приклада беруться аналогічні системи компактного містечка Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ), який опалюється за допомогою власної автономної котельні, що споживає природний газ. **Методика.** На основі аналізу статистичних витрат теплової енергії за останні 5 років визначаються види та розраховуються величини теплових втрат для конкретних умов використання. Ці втрати порівнюються з аналогічними у світовій практиці, й на основі порівняння та аналізу діючої системи пропонуються шляхи зниження величини теплових втрат за рахунок застосування різних технічних та організаційних методів. В роботі пропонується також залучення для цієї мети вторинних та альтернативних джерел енергії. В якості вторинних енергоресурсів розглядаються теплота, яка виділяється людиною, та теплота, яка виходить із повітрям, що вилучається при вентиляції будівель. А в якості поновлювальних джерел – сонячна та геотермальна енергії. Для підвищення температурного потенціалу теплоносіїв пропонується застосовувати теплові насоси. **Результати.** При максимально можливому використанні всіх запропонованих заходів і впровадженні раціональних схемних та технічних рішень, які пропонуються для систем тепло- та гарячого водопостачання, витрати енергії на тепло та гаряче водопостачання можуть бути знижені на 30–35 %. **Наукова новизна.** Вперше запропоновано використовувати нові комплексні підходи для підтримки необхідного теплового балансу в зимовий період. Авторами також запропоновані нові схемні рішення для системи теплопостачання та вентиляції (як в зимовий, так і в літній період), що базуються на використанні теплового насосу та вторинних енергоресурсів. **Практична значимість.** Введення запропонованих схемних рішень і підходів до забезпечення теплом та повітрям можуть бути реалізовані при відносно невеликих капіталовкладеннях та не вимагають істотного переобладнання вже встановлених систем.

Ключові слова: система тепло- та гарячого водопостачання; теплові втрати; тепловий режим; регулювання теплового режиму; теплообмінник; вентиляція; альтернативні джерела енергії; вторинні енергоресурси; тепловий насос

А. Н. ПШИНЬКО¹, В. Г. КУЗНЕЦОВ², Д. К. ЯЦЕНКО³, В. А. ГАБРИНЕЦ^{4*}

¹Каф. «Здания и строительные материалы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 46, эл. почта pshinko@r.dit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1598-2970

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

³Каф. «Проектирование и строительство дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел.+38 (056) 373 67 94, эл. почта yatsenko@nh.dit.edu.ua, ORCID 0000-0002-4886-3134

^{4*}Каф. «Теплотехника», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87, эл. почта gabrin62@mail.ru, ORCID 0000-0002-6115-7162

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ НА ПРИМЕРЕ ДНУЖТ

Цель. В исследовании необходимо проанализировать возможность и условия повышения эффективности работы систем теплоснабжения и вентиляции общественных зданий на современном этапе развития страны и характерных климатических особенностей Украины. Главной целью работы является разработка конкретных мероприятий для общественных зданий, которые приведут к значительному сокращению затрат энергетических ресурсов на отопление и систему кондиционирования воздуха. В качестве примера берутся аналогичные системы компактного городка Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (ДНУЖТ), который отапливается с помощью собственной автономной котельной, потребляющей природный газ. **Методика.** На основе анализа статистических расходов тепловой энергии за последние 5 лет определяются виды и рассчитываются величины тепловых потерь для конкретных условий использования. Эти потери сравниваются с аналогичными в мировой практике, и на основе сравнения и анализа действующей системы предлагаются пути снижения величины тепловых потерь за счет применения различных технических и организационных методов. В работе предлагается также привлечение для этой цели вторичных и альтернативных источников энергии. В качестве вторичных энергоресурсов рассматриваются теплота, выделяемая человеком, и теплота, которая выходит с воздухом, изымается при вентиляции зданий. А в качестве возобновляемых источников – солнечная и геотермальная энергии. Для повышения температурного потенциала теплоносителей предлагается применять тепловые насосы. **Результаты.** При максимально возможном использовании всех предложенных мероприятий и внедрении рациональных схемных и технических решений, которые предлагаются для систем тепло- и горячего водоснабжения, затраты энергии на тепло и горячее водоснабжение могут быть снижены на 30–35 %. **Научная новизна.** Впервые предложено использовать новые комплексные подходы для поддержания необходимого теплового баланса в зимний период. Авторами также предложены новые схемные решения для системы теплоснабжения и вентиляции (как в зимний, так и в летний периоды), основанные на использовании теплового насоса и вторичных энергоресурсов. **Практическая значимость.** Введение предложенных схемных решений и подходов к обеспечению теплом и воздухом могут быть реализованы при относительно небольших капиталовложениях и не требуют существенного переоборудования уже установленных систем.

Ключевые слова: система тепло- и горячего водоснабжения; тепловые потери; тепловой режим; регулирование теплового режима; теплообменник; вентиляция; альтернативные источники энергии; вторичные энергоресурсы; тепловой насос

REFERENCES

1. Pshinko O.M., Yatsenko D.K., Kuznetsov V.H., Shaptala M.V. Analiz vprovadzhennia enerhozberihaiuchykh zakhodiv v universyteti [Analysis of energy efficiency measures in the university]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu* [Bulletin of Kyiv National University of Technologies and Design], 2013, no. 6 (74), pp. 344-352.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

2. Hershkovych V.F., Lytovchenko A.K. Otsinka efektyvnosti vykorystannia v teplovomu nasosi tepla iz zvorotnoho truboprovodu teplovoi merezhi pry teplopostachanni vid TETs [Evaluating the effectiveness of the heat use in the heat pump from the return pipe of heating network with heat supply from CHP]. *Novyny teplopostachannia – News of Heating*, 2011, no. 1 (125), pp. 35–37.
3. DSTU 4472-2005. *Systemy enerhetychnoho menedzhmentu. Zahalni vymohy* [State Standard 4472-2005. Energy management systems. General requirements.]. Kyiv, Derzhstandart Ukrainy Publ., 2005. 28 p.
4. Kuznietsov V.H., Polovnykov V.Yu., Tsyhankova Yu.S. Ekspres-otsinka teplovykh vtrat u merezhakh teplopostachannia [Rapid assessment of thermal losses in heating networks]. *Novyny teplopostachannia – News of Heating*, 2012, no. 11 (47), pp. 33–35.
5. Pshinko O.M., Kuznietsov V.H., Shaptala M.V., Shaptala D.Ye. Metodyka vyznachennia obsiahiv spozhyvannia elektrychnoi enerhii ta teploty naukovymy pidrozdilamy universytetu [Consumption volumes technology of electricity and heat by departments of university]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 1 (55), pp. 15–22. doi: 10.15802/stp2015/38235.
6. Nikitin Ye.Ye. Kontseptualnyye voprosy modernizatsii teploobespecheniya naselennykh punktov Ukrainy [Conceptual problems of modernization of heating settlements in Ukraine]. *Problemy zahalnoi enerhetyky* [Problems of Common Energy]. Kyiv, 2012, issue 2, pp. 5–11.
7. Nikitin Ye.Ye., Dutka A.V. Otsenka tekhniko-ekonomicheskoy effektivnosti kompleksnoy termomodernizatsii tsentralizovannoy sistemy teplosnabzheniya i zdaniy [Estimation of technical and economic efficiency of the integrated thermo-centralized heating systems and buildings]. *Energetika i TEK – Energy and FEC*, 2013, no. 9 (126), pp. 22–26.
8. Deshko V.I., Shovkoliuk M.M., Shovkoliuk Yu.V., Dudnikov S.M. Pokaznyky efektyvnosti system teplopostachannia [Performance indicators of heating systems]. *Ventiliatsiia, osvittennia ta teploha-zopostachannia: naukovo-tekhnichnyi zbirnyk* [Ventilation, lighting and heat: Scientific and technical papers], 2012, issue 16, pp. 182–192.
9. Pshinko O.M., Habrinets V.A., Horiachkin V.M. Analiz efektyvnosti systemy teplopostachannia studmistechna Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transport [Effectiveness analysis of campus heat supply system of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2014, no. 2 (50), pp.74–82. doi: 10.15802/stp2014/23756.
10. Behfard M., Sohankar A. Numerical investigation for finding the appropriate design parameters of a fin-and-tube heat exchanger with delta-winglet vortex generators. *Heat and Mass Transfer*, 2016, vol. 52, issue 1, pp. 21–37. doi: 10.1007/s00231-015-1705-1.
11. Turner W. C. *Energy management handbook*, the 4th ed. Lilburn, Georgia. The Fairmount Press, Inc. Publ., 2001. 758 p.
12. Khashe S., Heydarian A., Gerber B. B., Wood W. Exploring the effectiveness of social messages on promoting energy conservation behavior in buildings. *Building and Environment*, 2016, vol. 102, pp. 83–94. doi: 10.1016/j.buildenv.2016.03.019.
13. Heat Roadmap Europe 2050. Study for the EU27. Performed by Aalborg University, Halmstad University and Plan Energy. Available at: <http://www.euroheat.org> (Accessed 19 May 2016).
14. Mert S.O., Reis A. Experimental performance investigation of a shell and tube heat exchanger by exergy based sensitivity analysis. *Heat and Mass Transfer*, 2015, vol. 52, issue 6, pp. 1117–1123. doi: 10.1007/s00231-015-1636-x.

Prof. M. V. Hubynskyi, D. Sc. (Tech.) (Ukraine); Prof. Yu. S. Barash, D. Sc. (Economics) (Ukraine) recommended this article to be published

Accessed: Feb., 29. 2016

Received: May, 31. 2016

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 656.342:621.333.4

А. В. ДОНЧЕНКО¹, А. О. СУЛИМ^{2*}, О. С. СІОРА³, О. О. МЕЛЬНИК⁴, В. В. ФЕДОРОВ⁵

¹Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагобудування» (ДП «УкрНДІВ»), вул. І. Приходька, 33, Кременчук, Україна, 39621, тел. +38 (053) 666 03 24, ел. пошта office@ukrndiv.com.ua, ORCID 0000-0002-5302-4538

^{2*}«Науково-дослідна лабораторія електротехнічних, динамічних, теплотехнічних та міцносних досліджень залізничної техніки», ДП «УкрНДІВ», вул. І. Приходька, 33, Кременчук, Україна, 39621, тел. +38 (053) 666 20 43, ел. пошта sulim1.ua@gmail.com, ORCID 0000-0001-8144-8971

³«Науково-дослідна лабораторія електротехнічних, динамічних, теплотехнічних та міцносних досліджень залізничної техніки», ДП «УкрНДІВ», вул. І. Приходька, 33, Кременчук, Україна, 39621, тел. +38 (053) 666 20 43, ел. пошта Alexandrsiora@gmail.com, ORCID 0000-0001-6758-7617

⁴«Науково-дослідна лабораторія електротехнічних, динамічних, теплотехнічних та міцносних досліджень залізничної техніки», ДП «УкрНДІВ», вул. І. Приходька, 33, Кременчук, Україна, 39621, тел. +38 (053) 666 20 43, ел. пошта shurik110982@gmail.com, ORCID 0000-0001-8964-4790

⁵«Науково-дослідна лабораторія вантажного та спеціального рухомого складу», ДП «УкрНДІВ», вул. І. Приходька, 33, Кременчук, Україна, 39621, тел. +38 (053) 666 13 84, ел. пошта F.vladimir.ua@gmail.com, ORCID 0000-0002-0963-7265

АНАЛІЗ ПИТАНЬ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ МЕТРОПОЛІТЕНУ

Мета. На даний час актуальною є проблема значного споживання електроенергії рухомим складом під час його експлуатації. У зв'язку з поетапним підвищенням тарифів за спожиту електроенергію подальший розвиток рейкового електрорухомого транспорту, зокрема рухомого складу метрополітену, неможливий без застосування сучасних енергозберігаючих технологій та енергоефективних систем. Для вирішення зазначеної проблеми в роботі необхідно виконати аналіз заходів і визначити перспективні напрямки з енергозбереження та підвищення енергоефективності на рухомому складі метрополітену. **Методика.** Застосовуючи методи наукового аналізу, узагальнення, порівняльного аналізу, прогнозування, а також використовуючи результати експериментальних досліджень, авторами визначено основні шляхи зниження споживання електроенергії під час експлуатації рухомого складу метрополітену. Проведено аналіз витрат на електроенергію рухомим складом комунального підприємства (КП) «Київський метрополітен». Проаналізовано значну кількість досліджень вітчизняних та іноземних авторів щодо вищезазначеної проблематики. **Результати.** Основними напрямками з енергозбереження та підвищення енергоефективності рухомого складу метрополітену є впровадження на ньому систем рекуперації, накопичення енергії та енергоефективних систем управління. Встановлено, що впровадження систем рекуперації та накопичення енергії дозволить заощадити значну кількість електроенергії, що витрачається на тягу, проте потребує й суттєвих капіталовкладень. Зазначено, що в сучасних складних умовах розвитку економіки України перспективним напрямком енергозбереження є застосування енергоефективних систем управління. Основною перевагою цього напрямку є отримання економічного ефекту без значних капіталовкладень. **Наукова новизна.** Авторами вперше виконана оцінка потенціалу збереження електроенергії за рахунок застосування енергоефективних систем управління під час типових штатних режимів ведення рухомого складу на перегонах «Хрещатик–Театральна–Хрещатик» та «Шулявська–Берестейська–Шулявська» КП «Київський метрополітен». **Практична значимість.** Результати даних досліджень щодо кількості збереження

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

електроенергії за рахунок використання систем рекуперації, накопичення енергії та енергоефективних систем управління можуть бути використані при створенні нового або модернізації існуючого рухомого складу метрополітену.

Ключові слова: енергозбереження; енергоефективність; рухомий склад метрополітену; система рекуперації; система накопичення енергії; система управління; раціональний режим ведення

Вступ

Питання енергозбереження та енергоефективності мають велике народногосподарське значення для економіки України. У зв'язку з постійним поетапним підвищенням тарифів на електроенергію протягом 2015–2017 років [12] проблема енергозбереження та енергоефективності стає стратегічним напрямком розвитку багатьох галузей промисловості. Як наслідок, найближчим часом прогнозується збільшення витрат за споживання електроенергії для підприємств промисловості. Тому дослідження, направлені на покращення енергозбереження та підвищення енергоефективності, є своєчасними та актуальними.

Одним з потужних та енергоємних споживачів електроенергії є метрополітен [14], який має найбільші перевізні можливості порівняно з іншими видами міського транспорту. Слід зазначити, що обсяги перевезень пасажирів метрополітеном та їх частка в міських перевезеннях постійно зростає. З дослідження [13] відомо, що енергоємність перевізного процесу в метрополітенах складає на рівні 80–90 % від загального енергоспоживання галузі. Споживання електроенергії в метрополітені розподіляється таким чином [10, 14, 16]: 70 % – на тягу рухомого складу; 23 % – на виробничі потреби інфраструктури (освітлення, ескалатори і інше); 5,1 % – на споживачів наземних площадок (експлуатаційні депо, ремонтні бази та майстерні); 1,9 % – інших сторонніх споживачів.

Аналіз споживання електроенергії в метрополітені показує, що найбільш вагомою складовою є витрати на тягу рухомого складу. Таким чином, першочерговим та актуальним завданням є дослідження щодо зниження витрат на споживання електроенергії саме на тягу рухомого складу метрополітену.

Мета

Метою цієї роботи є аналіз заходів з енергозбереження та підвищення енергоефективності на рухомому складі метрополітену.

Методика

Теоретичною базою досліджень стали публікації, що висвітлюють розвиток сучасного рухомого складу, зокрема метрополітену, в напрямку застосування енергозберігаючих технологій та енергоефективних систем. В роботі використані методи наукового аналізу, узагальнення, порівняльного аналізу, прогнозування. Крім того, використано результати експериментальних досліджень з метою оцінки потенціалу збереження електроенергії за рахунок впровадження енергоефективних систем управління.

Для оцінки кількості спожитої електроенергії на тягу та витрат на електроенергію рухомим складом виконано аналіз даних показників в КП «Київський метрополітен» протягом 2011–2014 років. Кількість спожитої електроенергії на тягу рухомим складом метрополітену наведено на рис. 1.

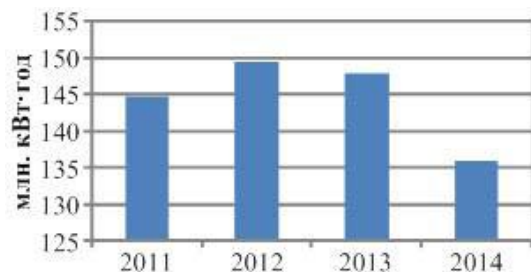


Рис. 1. Кількість спожитої електроенергії на тягу рухомим складом КП «Київський метрополітен»

Fig. 1. The amount of electricity consumed for traction by rolling stock of PU «Kyiv underground»

Діаграми витрат на електроенергію рухомим складом метрополітену приведені на рис. 2.

Дослідження виконувались на основі аналізу витрат КП «Київський метрополітен» протягом 2011–2014 років, а також шляхом розрахунку очікуваної зміни даного показника протягом 2015–2017 років, враховуючи поетапне підвищення вартості тарифів. Результати виконаних досліджень у вигляді діаграм наведено на рис. 3.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

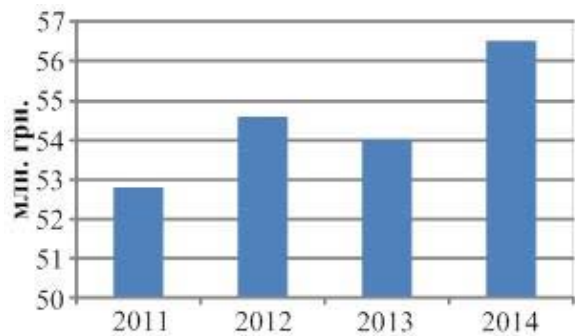


Рис. 2. Діаграми витрат на електроенергію рухомим складом КП «Київський метрополітен»

Fig. 2. Diagrams of energy costs by rolling stock of PU «Kyiv underground»

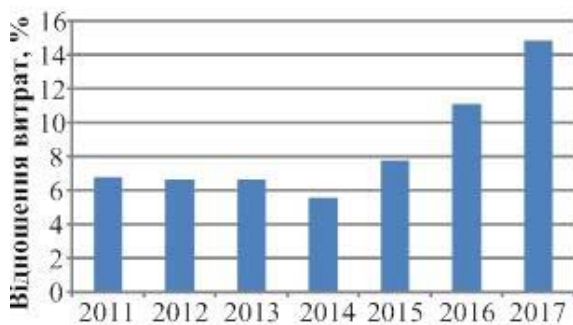


Рис. 3. Діаграми відношення витрат на електроенергію рухомим складом до загальних витрат КП «Київський метрополітен»

Fig. 3. Cost-to-cost diagrams for energy costs by rolling stock to general expenses of PU «Kyiv underground»

За результатами виконаних досліджень в КП «Київський метрополітен» (див. рис. 1–3) встановлено, що за останні роки показники кількості спожитої електроенергії та витрат на тягу рухомого складу, а також відношення витрат на електроенергію рухомим складом до загальних витрат практично залишались на одному рівні. Проте з наведених діаграм (див. рис. 3) видно, що відношення витрат на електроенергію рухомим складом до загальних витрат у 2017 році порівняно з 2014 роком збільшаться на 10 %. Наведені дослідження в черговий раз підтверджують вищезазначену тезу, що в умовах постійного підвищення вартості енергоносіїв проблема енергозбереження та енергоефективності на рухомому складі стає все більш актуальною.

З аналізу попередніх досліджень [6, 13, 14] відомо, що одним з перспективних заходів зниження споживання електроенергії на тягу

рухомого складу метрополітену є застосування рекуперативного гальмування. Це вид гальмування дозволяє використовувати значну частину кінетичної енергії рухомого складу метрополітену. До цього часу можливості режиму рекуперації використовуються не в повному обсязі, оскільки значна частина тягового обладнання експлуатованого рухомого складу метрополітену не має можливості генерувати енергію в контактну мережу під час гальмування. За результатами численних досліджень [14–17, 18] встановлено, що впровадження систем рекуперації на рухомому складі метрополітену дозволить скоротити споживання електроенергії на тягу до 40 %.

Впровадження систем рекуперації передбачає використання тягового реверсивного перетворювача, вимірювальних датчиків та системи управління. Перетворювач дозволяє регулювати енергообмін між контактною мережею та двигуном в режимах тяги та рекуперативного гальмування. Вимірювальні датчики контролюють значення електричних величин під час енергообмінних процесів. Система управління здійснює рекуперативне гальмування за наявності споживачів в мережі та реостатне гальмування за допомогою блоків резисторів за їх відсутності. Отже, впровадження систем рекуперації дозволяє заощадити значну кількість електроенергії, що витрачається на тягу, проте потребує і суттєвих капіталовкладень, серед яких витрати на вищезазначене обладнання та його обслуговування.

На цей час в метрополітенах України перевезення пасажирів забезпечується, насамперед, поїздами з колекторними двигунами постійного струму послідовного збудження та релейно-контакторними системами управління. З метою скорочення споживання електроенергії на тягу в останні роки створюється та модернізується вітчизняний рухомий склад метрополітену. В 2012 році на засіданні Міжвідомчої комісії за результатами виконання приймальних випробувань дослідних зразків вагонів метрополітену моделей 81-7036, 81-7037, 81-7037-01, 81-7037-02 виробництва ПАТ «КВБЗ» прийнято рішення щодо можливості серійного виробництва зазначених моделей вагонів. В 2014 році ПАТ «КВБЗ» спільно з іншими вітчизняними та іноземними підприємствами модернізовано та введено в експлуатацію 19 п'ятивагонних поїз-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

дів КП «Київський метрополітен» за фондом Зелених інвестицій. Головними відмінностями новоствореного та модернізованого рухомого складу є використання асинхронного електропривода змінного струму, мікропроцесорної системи управління, а також впровадження іншого енергозберігаючого обладнання та технологій, насамперед систем рекуперації. За результатами досліджень [4] відомо, що модернізація існуючого рухомого складу у відношенні до п'ятивагонного зчепу дозволяє скоротити споживання електроенергії з мережі на понад 40 %. Таким чином, в КП «Київський метрополітен» виконуються заходи з енергозбереження та підвищення енергоефективності рухомого складу метрополітену шляхом заміни застарілого тягового обладнання на нове з реалізацією рекуперативного гальмування.

Проте в умовах реальної експлуатації на величину використання електроенергії рекуперації впливає багато факторів [7, 13–15]. Серед основних можна виділити так: інтенсивність руху в зоні рекуперації, режим руху інших споживачів електроенергії, відстань між станціями та профіль колії. За результатами аналізу досліджень [13, 14] встановлено, що за існуючої інфраструктури системи тягового енергозабезпечення метрополітену використання електроенергії рекуперації має імовірнісний характер та не перевищує 30 %. Таким чином, в цей час можливості рекуперації використовуються не в повному обсязі і існує проблема реалізації надлишкової електроенергії за відсутності споживачів в зоні рекуперації [7, 13–17, 18].

Аналіз досліджень [6, 10, 13–17, 18] показав можливість додаткового енергозбереження та підвищення енергоефективності рухомого складу метрополітену з системами рекуперації за рахунок ефективного використання електроенергії гальмування шляхом застосування систем накопичення енергії. З джерел [1, 13, 14] відомо, що за допомогою впровадження систем накопичення енергії можна додатково скоротити близько 10–20 % електроенергії, що витрачається на тягу.

Впровадження систем накопичення енергії передбачає використання реверсивного перетворювача постійного струму, вимірювальних датчиків в колі накопичувача, системи управління і власне накопичувача. Реверсивний пе-

ретворювач постійного струму дозволяє здійснювати енергообмін між контактною мережею, двигуном та накопичувачем. Вимірювальні датчики контролюють значення струму та напруги в колі накопичувача. Система управління здійснює регулювання енергообмінних процесів в режимах тяги та рекуперативного гальмування за показниками вимірювальних датчиків. Накопичувач дозволяє зберігати та повторно використовувати надлишкову електроенергію рекуперації. Отже, впровадження систем накопичення дозволяє додатково заощадити значну кількість електроенергії, що витрачається на тягу, проте потребує також суттєвих капіталовкладень, серед яких витрати на вищезазначене обладнання та його обслуговування.

Теоретичних досліджень за напрямком застосування систем накопичення енергії на залізничному транспорті, зокрема в метрополітенах, чимало. Основні питання, що розглядаються під час цих досліджень такі: вибір типу накопичувача та його раціональне розміщення в системі тягового енергозабезпечення, визначення раціональних параметрів накопичувача та перетворювача, кількісна оцінка збереженої електроенергії за рахунок використання накопичувачів, розробка ефективної системи управління енергообмінними процесами, при якій забезпечується мінімізація спожитої електроенергії з контактної мережі.

На сьогодні системами накопичення енергії оснащені метрополітени США, Англії, Японії, Франції, Росії, проте в метрополітенах України ці системи не застосовуються. До цього часу особливих потреб у їх застосуванні не було. Основною причиною, що стримувала впровадження цих систем в метрополітенах України, була відсутність експлуатованого рухомого складу з системами рекуперації. Таким чином, з введенням в експлуатацію рухомого складу з системами рекуперації, впровадження систем накопичення в метрополітенах України стає актуальним.

Ще одним перспективним заходом з енергозбереження та підвищення енергоефективності рухомого складу метрополітену є використання раціональних режимів ведення поїзда на перегоні за критерієм мінімуму споживання електроенергії з мережі [2, 3, 5, 8, 9, 11, 19, 20]. З аналізу джерел відомо, що впровадження раціональних режимів ведення рухомого складу

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

метрополітену дозволить скоротити споживання електроенергії з мережі до 7 % [2, 8].

Визначення раціонального режиму ведення рухомого складу метрополітену на перегоні передбачає використання штатних вимірювальних датчиків та мікропроцесорної системи управління. Вимірювальні датчики контролюють значення струму, напруги контактної мережі та швидкості руху. Мікропроцесорна система управління здійснює визначення раціонального режиму ведення за заданими умовами та обмеженнями. Мікропроцесорна система може бути як інтегрована в загальну систему управління поїздом, так і функціонувати окремо. Впровадження цієї системи порівняно з системами рекуперації та накопичення дозволяє отримати економічний ефект при значно менших капіталовкладеннях.

Значна кількість досліджень присвячена напрямкам визначення раціонального режиму ведення рухомого складу метрополітену на перегоні за критерієм мінімуму споживання електроенергії з мережі. Основні питання, що розглядаються під час цих досліджень такі: обґрунтування числового методу вирішення диференційного рівняння руху поїзда (методи Тейлора, Рунге-Куте, Ейлера та інші), обґрунтування використання методу вирішення раціональної задачі (класичне варіаційне обчислення, принцип максимуму, дискретний варіант метода динамічного програмування та інші), синтез та розробка мікропроцесорної системи управління поїздом метрополітену. Слід зазначити, що наразі значна кількість досліджень направлена на розробку мікропроцесорної системи управління для сучасного рухомого складу з асинхронним тяговим приводом та можливістю рекуперативного гальмування.

На сьогодні мікропроцесорними системами управління, що дозволяють визначати раціональний режим ведення за критерієм мінімального споживання електроенергії, оснащений рухомий склад метрополітенів США, Англії, Японії, Франції, Італії. Також зазначені системи починають впроваджувати в Росії, зокрема на Казанському та Петербурзькому метрополітенах [3]. Крім того, багато метрополітенів світу мають мережі автоматизованого метрополітену, де рухомий склад обладнаний системами автоведення та курсує без машиністів. Автоматизовані метрополітени експлуатуються в Дубаї,

Нюрнберзі, Ліоні, Парижі, Сінгапурі, Барселоні та інших містах. На цей час експлуатований парк метрополітенів України обладнаний системами автоматичної локомотивної сигналізації з автоматичним регулюванням швидкості (АЛС–АРШ), що призначена для безпеки руху поїздів. Система АЛС–АРШ забезпечує безперервну передачу сигнальних показань у кабінку управління рухомого складу про дозволена швидкість руху, контроль зайнятості колії та швидкості руху поїзда, автоматичне зниження швидкості чи зупинку поїзда при її перевищенні, контроль пильності машиніста. Проте зазначена система не дозволяє визначати раціональний режим ведення рухомого складу метрополітену на перегоні залежно від його завантаження за критерієм мінімуму споживання електроенергії. Отже, експлуатований рухомий склад метрополітенів України, в тому числі сучасний з асинхронним тяговим електроприводом і функцією рекуперативного гальмування, обладнаний системами безпеки руху без можливості енергоефективного управління процесом перевезення. Таким чином, в сучасних складних умовах розвитку економіки України, одним з першочергових завдань є оснащення вітчизняного рухомого складу метрополітену енергоефективними системами управління, оскільки порівняно з іншими енергозберігаючими системами вони потребують менших капіталовкладень.

Для оцінки потенціалу збереження кількості електроенергії за рахунок застосування енергоефективних систем управління, які дозволяють визначати раціональний режим ведення рухомого складу метрополітену на перегоні, в КП «Київський метрополітен» виконані експериментальні дослідження. Дослідження здійснювались з використанням випробувального комплексу, до складу якого входить п'ятивагонний поїзд та вимірювальна система, встановлена на його борту. Експерименти виконані під час типових штатних режимів ведення рухомого складу на перегонах «Хрещатик–Театральна–Хрещатик» та «Шулявська–Берестейська–Шулявська» при його номінальному завантаженні з дотриманням «непікового» та «пікового» графіків руху. Результати досліджень у вигляді графіків залежності кількості спожитої електроенергії від часу руху на перегоні наведено на рис. 4. Трасекторії проходження перегону

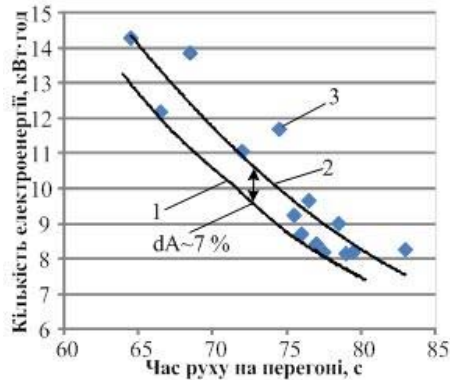
ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

«Хрещатик–Театральна» за умов дотримання «непікового» графіка руху наведено на рис. 5.

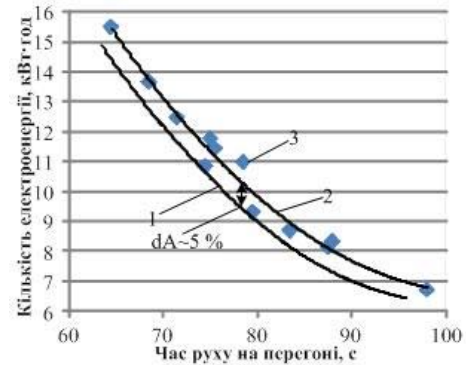
За виконаними дослідженнями в КП «Київський метрополітен» (див. рис. 4, 5) встановлено, що потенціал збереження електроенергії за рахунок використання енергоефективних мік-

ропроцесорних систем управління на перегонах: «Хрещатик–Театральна» складає до 7 %; «Театральна–Хрещатик» – до 5 %; «Шулявська–Берестейська» – до 1,5 %; «Берестейська–Шулявська» – до 10 %.

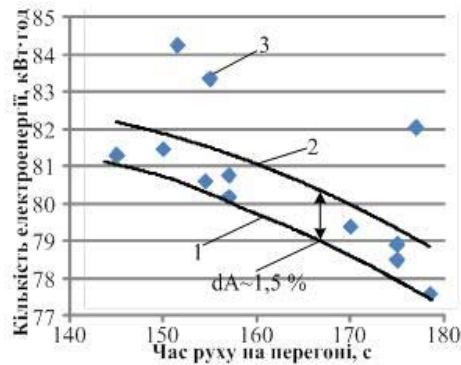
а–а



б–б



в–с



г–д

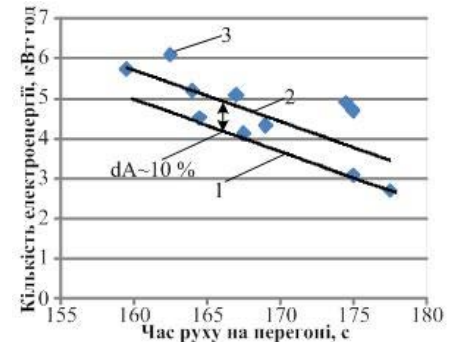


Рис. 4. Потенціал економії електроенергії за рахунок застосування раціональних режимів ведення поїзда на перегонах «Хрещатик–Театральна» (а), «Театральна–Хрещатик» (б), «Шулявська–Берестейська» (в) та «Берестейська–Шулявська» (г):
1 – мінімально можливе споживання електроенергії;
2 – споживання електроенергії під час типових режимів ведення;
3 – споживання електроенергії під час різних режимів ведення;
dA – економія за рахунок застосування енергоефективних режимів ведення

Fig. 4. Potential of energy savings through the use of rational modes at train driving on running lines «Khreshchatyk–Teatralna» (a) «Teatralna–Khreshchatyk» (b) «Shuliavskaya–Beresteyskaya» (c) and «Beresteyskaya–Shuliavskaya» (d):
1 – the lowest possible power consumption;
2 – power consumption at typical modes of driving;
3 – power consumption at various modes of driving;
dA – savings due to the use of energy-efficient modes of driving

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

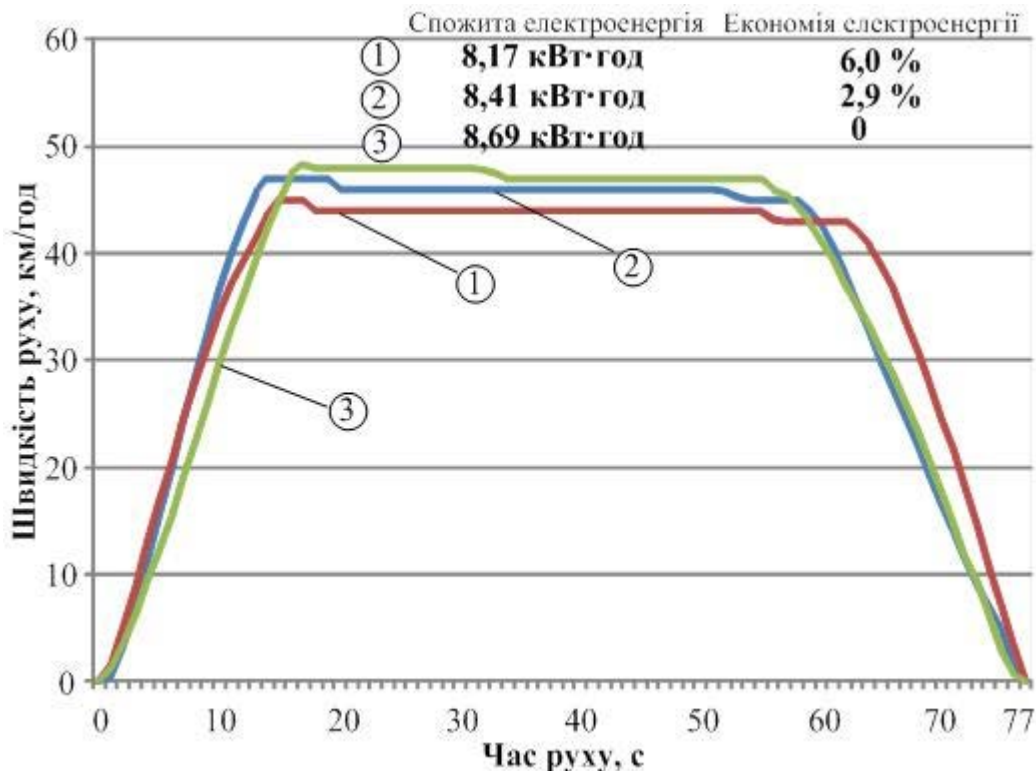


Рис. 5. Графіки проходження перегону «Хрещатик–Театральна» під час типових режимів ведення рухомого складу за «непіковим» графіком

Fig. 5. Passing diagram on running line «Khreshchatyk–Teatralna» at typical modes of rolling stock driving as per «off-peak» schedule

Результати

Основними напрямками з енергозбереження та підвищення енергоефективності рухомого складу метрополітену є впровадження на ньому систем рекуперації, систем накопичення енергії та мікропроцесорних систем управління. Встановлено, що впровадження систем рекуперації та накопичення енергії дозволить заощадити значну кількість електроенергії, що витрачається на тягу, проте потребує і суттєвих капіталовкладень.

Зазначено, що в сучасних складних умовах розвитку економіки України перспективним напрямком з енергозбереження є застосування енергоефективних систем управління, які дозволяють визначати раціональний режим ведення рухомого складу на перегоні. Основною перевагою цього напрямку є отримання економічного ефекту без значних капіталовкладень.

Наукова новизна та практична значимість

Вперше виконана оцінка потенціалу збереження електроенергії за рахунок застосування енергоефективних систем управління під час типових штатних режимів ведення рухомого складу на перегонах «Хрещатик–Театральна–Хрещатик» та «Шулявська–Берестейська–Шулявська» КП «Київський метрополітен». Результати досліджень щодо кількості збереження електроенергії за рахунок використання систем рекуперації, накопичення енергії та енергоефективних систем управління можуть бути використані під час створення нового або модернізації існуючого рухомого складу метрополітену.

Висновки

За результатами аналізу значної кількості теоретичних та виконаних експериментальних досліджень встановлено:

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

– впровадження систем рекуперації на рухомому складі метрополітену дозволить скоротити до 40 % електроенергії, що споживається на тягу;

– застосування систем накопичення енергії дозволить додатково зберегти близько 10–20 % електроенергії, що споживається на тягу рухомих складів метрополітену з системами рекуперації, за рахунок ефективного використання електроенергії гальмування за відсутності споживачів;

– впровадження мікропроцесорних енергоефективних систем управління, що визначають раціональні режими ведення рухомого складу метрополітену на перегоні, дозволить скоротити споживання електроенергії з мережі до 10 %.

В сучасних складних умовах розвитку економіки України впровадження енергоефективних систем управління є перспективним напрямком з енергозбереження на рухомому складі, оскільки порівняно з іншими енергозберігаючими системами потребують менших капіталовкладень. Слід також зазначити, що ці системи можна розміщати на різних типах експлуатованого рухомого складу метрополітену (з наявністю систем рекуперації та без них). Крім того, застосування цих систем дозволить підвищити безпеку руху, стабілізувати графік руху поїздів на лінії та полегшити управління поїздом машиністам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бычкова, М. П. Система накопителей электроэнергии для повышения энергоэффективности в метро / М. П. Бычкова // Энергосовет. – 2011. – Вып. 3 (16). – С. 74–76.
2. Васильева, М. А. Энергооптимальные режимы управления движением поезда метрополитена : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Васильева Марина Алексеевна ; Моск. гос. ун-т путей сообщения. – Москва, 2003. – 182 с.
3. Голынский, А. П. Автоведение поездов метрополитена – базовая функция системы «Движение» / А. П. Голынский, А. Б. Жданович // Транспорт Рос. Федерации. – 2011. – № 3 (34). – С. 44–45.
4. Дослідження енергоефективності модернізованого поїзда метрополітену виробництва ПАТ «КВБЗ» / А. В. Донченко, С. О. Мужичук, А. О. Сулим [та ін.] // Рейковий рухний склад : зб. наук. пр. – Кременчук, 2015. – Вип. 12. – С. 48–56.
5. Кислий, Д. М. Визначення енергозощаджувачих режимів ведення поїздів / Д. М. Кислий // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 1 (61). – С. 71–84. doi: 10.15802/stp2016/60983.
6. Колб, А. А. Использование энергии рекуперации электротранспорта для управления качеством электроэнергии / А. А. Колб // Вісн. Кременч. нац. ун-ту ім. Михайла Остроградського. – Кременчук, 2010. – Вип. 4 (63), ч. 1. – С. 98–102.
7. Костин, Н. А. Автономность рекуперативного торможения – основа надежной энергоэффективной рекуперации на электроподвижном составе постоянного тока / Н. А. Костин, А. В. Никитенко // Залізн. трансп. України. – 2014. – № 3. – С. 15–23.
8. Мелешин, И. С. Как экономят на тягу / И. С. Мелешин // Энергоэффективность и энергосбережение. – 2013. – № 7–8. – С. 65–67.
9. Носков, В. И. Задача синтеза системы управления движением транспортного средства / В. И. Носков // Коммун. хоз-во городов : науч.-техн. сб. – Харьков, 2002. – Вып. 55. – С. 166–171.
10. Омеляненко, Г. В. Электромеханический преобразователь энергии инерционного накопителя для сетей тягового электроснабжения : дис. ... канд. техн. наук : 05.09.01 / Омеляненко Галина Викторовна ; Харьк. гос. политехн. ун-т. – Харьков, 1999. – 169 с.
11. Оптимизация управления движением поездов / Л. А. Баранов, Е. В. Ерофеев, И. С. Мелешин, Л. М. Чинь ; под ред. доктора техн. наук Л. А. Баранова. – Москва : МИИТ, 2011. – 164 с.
12. Про встановлення тарифів на електроенергію, що відпускається населенню : пост. Нац. комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг № 220 від 26.02.2015 р. // Офіц. вісн. України. – 2015. – № 15/1. – С. 5–12.
13. Саблін, О. І. Дослідження ефективності процесу рекуперації електроенергії в умовах метрополітену / О. І. Саблін // Східно-Європ. журн. перед. технологій. – 2014. – № 6/8 (72). – С. 9–13.
14. Сулим, А. А. Повышение эффективности энергообеспечения подвижного состава метрополитена с системами рекуперации путем применения емкостных накопителей энергии : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / Сулим Андрей Александрович ; Гос. предприятие «Гос. науч.-исслед. центр ж.-д. трансп. Украины». – Киев, 2015. – 188 с.
15. Улитин, В. Г. Проблема использования избыточной энергии рекуперации на городском

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

- электрическом транспорте / В. Г. Улитин // Коммунал. хоз-во городов : науч.-техн. сб. – Харьков, 2009. – Вып. 88. – С. 266–271.
16. Шевлюгин, М. В. Снижение расхода электроэнергии на движение поездов в Московском метрополитене при использовании емкостных накопителей энергии / М. В. Шевлюгин, К. С. Желтов // Наука и техника транспорта. – 2008. – № 1. – С. 15–20.
 17. Щуров, Н. И. Применение накопителей энергии в системах электрической тяги / Н. И. Щуров, К. В. Щеглов, А. А. Штанг // Сб. науч. тр. / Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск, 2008. – Вып. 1 (51). – С. 99–104.
 18. An energy-efficient scheduling approach to improve the utilization of regenerative energy for metro systems / X. Yang, A. Chen, X. Li [et al.] // Transportation Research Part C. Emerging Technologies. – 2015. – Vol. 57. – P. 13–29. doi: 10.1016/j.trc.2015.05.002.
 19. Energy efficiency on train control: design of metro ATO driving and impact of energy accumulation devices [Електронний ресурс] / M. Domínguez, A. P. Cucala, A. Fernández [et al.] // 9th World Congress on Railway Research (22.05–26.05.2011). – Madrid, 2011. – P. 1–12. – Режим доступу: http://www.vialibre-ffe.com/pdf/Dominguez_Maria.pdf. – Назва з екрана. – Перевершено : 26.05.2016.
 20. Li, X. An energy-efficient scheduling and speed control approach for metro rail operations / X. Li, H. K. Lo // Transportation Research Part B: Methodological. – 2014. – Vol. 64. – P. 73–89. doi: 10.1016/j.trb.2014.03.006.

А. В. ДОНЧЕНКО¹, А. А. СУЛИМ^{2*}, А. С. СИОРА³, А. А. МЕЛЬНИК⁴, В. В. ФЕДОРОВ⁵

¹Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения» (ГП «УкрНИИВ»), ул. И. Приходько, 33, Кременчуг, Украина, 39621, тел. +38 (053) 666 03 24, эл. почта office@ukrdiv.com.ua,

^{2*}«Научно-исследовательская лаборатория электротехнических, динамических, теплотехнических и прочностных исследований железнодорожной техники», ГП «УкрНИИВ», ул. И. Приходько, 33, Кременчуг, Украина, 39621, тел. +38 (053) 666 20 43, эл. почта sulim1.ua@gmail.com, ORCID 0000-0002-5302-4538, ORCID 0000-0001-8144-8971

³«Научно-исследовательская лаборатория электротехнических, динамических, теплотехнических и прочностных исследований железнодорожной техники», ГП «УкрНИИВ», ул. И. Приходько, 33, Кременчуг, Украина, 39621, тел. +38 (053) 666 20 43, эл. почта Alexandrsiora@gmail.com, ORCID 0000-0001-6758-7617

⁴«Научно-исследовательская лаборатория электротехнических, динамических, теплотехнических и прочностных исследований железнодорожной техники», ГП «УкрНИИВ», ул. И. Приходько, 33, Кременчуг, Украина, 39621, тел. +38 (053) 666 20 43, эл. почта shurik110982@gmail.com, ORCID 0000-0001-8964-4790

⁵«Научно-исследовательская лаборатория грузового и специального подвижного состава», ГП «УкрНИИВ», ул. И. Приходько, 33, Кременчуг, Украина, 39621, тел. +38 (053) 666 13 84, эл. почта F.vladimir.ua@gmail.com, ORCID 0000-0002-0963-7265

АНАЛИЗ ВОПРОСОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА МЕТРОПОЛИТЕНА

Цель. В настоящее время актуальной является проблема значительного потребления электроэнергии подвижным составом при его эксплуатации. В связи с поэтапным повышением тарифов за потребляемую электроэнергию дальнейшее развитие рельсового электроподвижного транспорта, в частности подвижного состава метрополитена, невозможно без использования современных энергосберегающих технологий и энергоэффективных систем. Для решения обозначенной проблемы в работе необходимо выполнить анализ мероприятий и определить перспективные направления по энергосбережению и повышению энергоэффективности на подвижном составе метрополитена. **Методика.** Применяя методы научного анализа, обобщения, сравнительного анализа, прогнозирования, а также используя результаты экспериментальных исследований, авторами определены основные пути снижения потребления электроэнергии при эксплуатации подвижного состава метрополитена. Проведен анализ затрат на электроэнергию подвижным составом коммунального предприятия (КП) «Киевский метрополитен». Проанализировано значительное количество исследований отечественных и зарубежных авторов по вышеизложенной проблематике. **Результаты.** Основными направлениями по энергосбережению и повышению энергоэффективности подвижного состава метрополитена являются внедрение на нем систем рекуперации, накопления энергии и энергоэффективных систем управления. Установлено, что внедрение

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

систем рекуперации и накопления энергии позволит сэкономить значительное количество электроэнергии, потребляемой на тягу, но требует и существенных капиталовложений. Указано, что в современных сложных условиях развития экономики Украины перспективным направлением энергосбережения является применение энергоэффективных систем управления. Основным преимуществом этого направления является получение экономического эффекта без значительных капиталовложений. **Научная новизна.** Авторами впервые выполнена оценка потенциала сбережения электроэнергии за счет применения энергоэффективных систем управления при типовых штатных режимах ведения подвижного состава на перегонах «Крещатик–Театральная–Крещатик» и «Шулявская–Берестейская–Шулявская» КП «Киевский метрополитен». **Практическая значимость.** Результаты данных исследований по количеству сохраняемой электроэнергии за счет использования систем рекуперации, накопления энергии и энергоэффективных систем управления могут быть использованы при создании нового или модернизации существующего подвижного состава метрополитена.

Ключевые слова: энергосбережение; энергоэффективность; подвижной состав метрополитена; система рекуперации; система накопления энергии; рациональный режим ведения

A. V. DONCHENKO¹, A. O. SULYM^{2*}, A. S. SIORA³, A. A. MELNYK⁴, V. V. FEDOROV⁵

¹State Enterprise «Ukrainian Research Railway Car Building Institute» (SE «UkrNIIV»), I. Prikhodko St., 33, Kremenchug, Ukraine, 39621, tel. +38 (053) 666 03 24, e-mail office@ukrdiv.com.ua, ORCID 0000-0002-5302-4538

^{2*}«Research laboratory of electrotechnical, dynamic, thermotechnical and strength research of railway vehicles», SE «UkrNIIV», I. Prikhodko St., 33, Kremenchug, Ukraine, 39621, tel. +38 (053) 666 20 43, e-mail sulim1.ua@gmail.com, ORCID 0000-0001-8144-8971

³«Research laboratory of electrotechnical, dynamic, thermotechnical and strength research of railway vehicles», SE «UkrNIIV», I. Prikhodko St., 33, Kremenchug, Ukraine, 39621, tel. +38 (05366) 6 20 43, e-mail Alexandrsiora@gmail.com, ORCID 0000-0001-6758-7617

⁴«Research laboratory of electrotechnical, dynamic, thermotechnical and strength research of railway vehicles», SE «UkrNIIV», I. Prikhodko St., 33, Kremenchug, Ukraine, 39621, tel. +38 (053) 666 20 43, e-mail shurik110982@gmail.com, ORCID 0000-0001-8964-4790

⁵«Research laboratory of freight and special rolling stock» SE «UkrNIIV», 33, I. Prikhodko St., Kremenchug, Ukraine, 39621, tel. +38 (053) 666 13 84, e-mail F.vladimir.ua@gmail.com, ORCID 0000-0002-0963-7265

ANALYSIS OF ENERGY SAVING AND ENERGY EFFICIENCY ISSUES DURING OPERATION OF THE METRO ROLLING STOCK

Purpose. Nowadays a problem of significant power consumption of the rolling stock during its operation is a current issue. In connection with staged electricity rates increase further development of the rail electric transport, including metro rolling stock is impossible without a use of modern energy saving solutions and energy-efficient systems. To solve the specified problem it is necessary to carry out analysis of measures and determine prospective directions in energy saving and increase of energy efficiency on the metro rolling stock. **Methodology.** Using methods of scientific analysis, generalization, comparative analysis, forecasting and using results of experimental studies, the authors determined main ways for reduction of energy consumption during operation of the metro rolling stock. Energy cost analysis for metro rolling stock of the public utility (PU) «Kiev Metro» was carried out. A great number of research works of native and foreign authors concerning the above mentioned problem were analyzed. **Findings.** Principal directions in energy saving and increase of energy efficiency of the metro rolling stock are implementation of recuperation systems, energy storage systems and energy-efficient control systems. It was determined that implementation of recuperation and energy storage systems helps to save a considerable amount of energy, consumed for traction, but it involves substantial investments. It is pointed out that in current complicated conditions of economic development of Ukraine, use of energy-efficient control systems is a perspective direction in energy saving. Main advantage of this direction is the economic effect obtaining without significant investments. **Originality.** For the first time was performed potential assessment for energy saving as a result of energy-efficient control systems use at type routine rolling stock operation modes on sections «Khreshchatik –Teatralnaya – Khreshchatik» and «Shulyavskaya –Beresteyskaya –Shulyavskyaya» of KP «Kiev Metro». **Practical value.** Results of the research concerning quantity of energy saved with the help of recuperation systems and energy saving control systems can be used during building of a new metro rolling stock or modernization of existing one.

Keywords: energy saving; energy efficiency; metro rolling stock; recuperation system, energy saving system; rational operation mode

REFERENCES

1. Bychkova M.P. Sistema nakopiteley elektroenergii dlya povysheniya energoeffektivnosti v metro [System of energy storage for energy efficiency in the subway]. *Energosovet – Energocouncil*, 2011, issue 3, no. 16, pp. 74-76.
2. Vasilyeva M.A. *Energooptimalnyye rezhimy upravleniya dvizheniyem poyezda metropolitena*. Kand., Diss. [Energy optimized control modes by the movement of subway trains. Cand, Diss]. Moscow, 2003. 182 p.
3. Golynskiy A.P., Zhdanovich A.B. Avtovedeniye poyezdov metropolitena – bazovaya funktsiya sistemy «Dvizheniye» [Automated driving underground trains – the basic function of the system «Movement»]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – The Transport Of The Russian Federation*, 2011, issue 3, no 34, pp. 44-45.
4. Donchenko A.V., Muzhychuk S.O., Sulym A.O., Khozia P.O., Melnyk O.O. Doslidzhennia enerhoefektyvnosti modernizovanoho poizda metropolitenu vyrobnytstva PAT «KVBZ» PJSC. *Zbirnyk naukovykh prats «Reykovi rukhomyi sklad»* [Proc. «Rail rolling stock»], 2015, issue 12, pp. 48-56.
5. Kyslyi D.M. Vyznachennia enerhozaoshchadzhuiuchykh rezhymiv vedennia poizdiv [Energy saving modes definition of trains handling]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2016, no. 1 (61), pp. 71-84. doi: 10.15802/stp2016/60983.
6. Kolb A.A. Ispolzovaniye energii rekuperatsii elektrottransporta dlya upravleniya kachestvom elektroenergii. [The use of the regenerative energy of electric vehicle to control the quality of electricity]. *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu im. Mykhaila Ostrohradskoho* [Bulletin of KSU named after Mikhail Ostrogradsky], 2010, no. 4 (63), part 1, pp. 98-102.
7. Kostin N.A., Nikitenko A.V. Avtonomnost rekuperativnogo tormozheniya – osnova nadezhnoy energoeffektivnoy rekuperatsii na elektropodvizhnom sostave postoyannogo toka [Autonomy regenerative braking – the basis for reliable energy-efficient heat recovery in electric rolling stock DC]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2014, issue 3, pp. 15-23.
8. Meleshin I.S. Kak sekonomit na tyagu [How to save money on cravings]. *Energoeffektivnost i energosberezheniye – Energy Efficiency and Energy Saving*, 2013, issue 7-8, pp. 65-67.
9. Noskov V.I. Zadacha sinteza sistemy upravleniya dvizheniyem transportnogo sredstva [The problem of designing the motion control system of vehicle]. *Nauchno-tekhnicheskiiy sbornik «Kommunalnoye khozyaystvo gorodov»* [Scientific and technical collection «Municipal economy of cities»], 2002, issue 55, pp. 166-171.
10. Omelyanenko G.V. *Elektromekhanicheskiiy preobrazovatel energii inertsionnogo nakopitelya dlya setey tyagovogo elektrosnabzheniya* Cand., Diss [Electromechanical energy converter with inertial storage for traction power supply networks]. Kharkov, 1999. 169 p.
11. Baranov L.A., Yerofeyev Ye.V., Meleshin I.S., Chin L.M. *Optimizatsiya upravleniya dvizheniyem poyezdov* [Optimization of train traffic control]. Moscow, MIIT Publ., 2011. 164 p.
12. Pro vstanovlennia taryfiv na elektroenerhiu, shcho vidpuskaetsia naselenniu: Postanova Natsionalnoi komisii, shcho zdiisniuie derzhavne rehuliuвання u sferakh enerhetyky ta komunalnykh posluh № 220 vid 26.02.2025 r. [On the establishment of tariffs for electricity, supplied to the population: National Commission Resolution, carrying out state regulation in the spheres of energy and communal services No. 220 from 26.02.2015]. *Ofitsiyni visnyk Ukrainy – Official Herald of Ukraine*, 2015, issue 15/1, pp. 5-12.
13. Sablin O.I. Doslidzhennia efektyvnosti protsesu rekuperatsii elektroenerhii v umovakh metropolitenu [Research of efficiency of recovery of electricity under metro]. *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii– East-European Journal of Advanced Technologies*, 2014, issue 6/8 (72), pp. 9-13.
14. Sulim A.A. Povysheniye effektivnosti energoobespecheniya podvizhnogo sostava metropolitena s sistemami rekuperatsii putem primeneniya emkostnykh nakopiteley energii Cand., Diss [Improvement of power supply the efficiency of the metro rolling stock equipped with recuperation systems by using a capacitive energy storage]. Kiyev, 2015. 188 p.
15. Ulitin V.G. Problema ispolzovaniya izbytochnoy energii rekuperatsii na gorodskom elektricheskoy transporte [The use of excess energy recovery of urban electric transport]. *Nauchno-tekhnicheskiiy sbornik «Kommunalnoye khozyaystvo gorodov»* [Scientific and technical collection «Municipal Economy of Cities»], 2009, issue 88, pp. 266-271.
16. Shevlyugin M.V., Zheltov K.S. Snizheniye raskhoda elektroenergii na dvizheniye poyezdov v Moskovskom metropolitene pri ispolzovanii emkostnykh nakopiteley energii [Reduction of energy consumption for the movement of trains in the Moscow metro when using capacitive energy storage]. *Nauka i tekhnika transporta – Science and Technology of Transport*, 2008, issue 1, pp. 15-20.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

17. Shchurov N.I., Shcheglov K.V., Shtang A.A. *Primeneniye nakopiteley energii v sistemakh elektricheskoy tyagi* [The use of energy storage systems of electric traction]. *Sbornik nauchnykh trudov NGTU* [Collection of scientific papers of NSTU], 2008, issue 1 (51), pp. 99-104.
18. Yang X., Chen A., Li X., Ning B., Tang T. An energy-efficient scheduling approach to improve the utilization of regenerative energy for metro systems. *Transportation Research Part C. Emerging Technologies*, 2015, vol. 57, pp. 13–29. doi: 10.1016/j.trc.2015.05.002.
19. Domínguez M., Cucala A.P., Fernández A., Pecharromán R.R., Blanquer J. Energy efficiency on train control: design of metro ATO driving and impact of energy accumulation devices. 9th World Congress on Railway Research (22.05–26.05.2011). Madrid, 2011, pp. 1-12. Available at: http://www.vialibreffe.com/pdf/Dominguez_Maria.pdf (Accessed 26 May 2016).
20. Li X., Lo H.K. An energy-efficient scheduling and speed control approach for metro rail operations. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2014, vol. 64, pp. 73–89. doi: 10.1016/j.trb.2014.03.006.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. О. П. Чорним (Україна); к.т.н.,
П. О. Хозя (Україна); д.т.н., проф. А. М. Афанасовим (Україна)

Надійшла до редколегії: 11.02.2016

Прийнята до друку: 31.05.2016

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

УДК 625.141:656.259

Л. В. ТРИКОЗ^{1*}, І. В. БАГІЯНЦЬ^{2*}

^{1*}Каф. «Будівельні матеріали, конструкції та споруди», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 68, ел. пошта lvtrikoz@ukr.net, ORCID 0000-0002-8531-7546

^{2*}Каф. «», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 19 49, ел. пошта bagira54017@mail.ru, ORCID 0000-0003-0067-4382

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МОДЕЛІ ЗМІНИ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НЕСУЦІЛЬНИХ СИСТЕМ

Мета. У статті розглядається опір ізоляції рейкового кола як один із параметрів, що впливають на експлуатаційні показники роботи залізничного транспорту. Для зниження впливу опору ізоляції на режими функціонування рейкових кіл та на експлуатаційні показники роботи залізничного транспорту передбачено дослідити вплив поверхневої обробки щебеню на величину діелектричної проникності баластового шару. **Методика.** Оцінювання впливу виду матеріалу для поверхневої обробки щебеню на величину діелектричної проникності проводили, виходячи з визначення фізичної сутності відносної діелектричної проникності. Визначення відносної діелектричної проникності ϵ сипких середовищ може бути тільки непрямим – внаслідок неповного прилягання зернин щебеню та невизначеності порового об'єму. Отже, розрахунки проводили, співставляючи виміряну ємність для середовища з відомою ϵ – із виміряною ємністю середовища, для якого необхідно визначити ϵ . Тобто, у скільки разів змінюється виміряна ємність, у стільки ж разів змінюється й діелектрична проникність середовища. **Результати.** Досліджено, як шпали і баласт значно змінюють свою електричну провідність у залежності від наявності в них вологи, зміни навколишньої температури, наявності забруднювачів та інших факторів. Проаналізовано існуючі моделі опису діелектричних властивостей таких систем. Встановлено, що покриття баластного щебеню органічними речовинами впливає на величину його відносної діелектричної проникності. Найбільший ефект зниження цієї величини спостерігався для покриттів на основі каніфольної суміші та силікону. **Наукова новизна.** Новим є запропонований авторами спосіб підвищення діелектричних властивостей верхньої будови колії за рахунок нанесення на поверхню зерен баласту незмочуваних речовин, на поверхні яких не утворюється плівка вологи. **Практична значимість.** Показана можливість зведення до мінімуму негативного впливу зниження ізоляції з максимальним його усуненням. Пропонується рішення актуального завдання шляхом виключення впливу опору ізоляції на режими роботи рейкових кіл, що дозволить ліквідувати частину причин відмови пристроїв сигналізації та зменшити кількість випадків «несправжньої зайнятості».

Ключові слова: рейкова лінія; рейкове коло; опір ізоляції; затримки поїздів; діелектричні властивості; верхня будова колії

Вступ

Підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту на внутрішньому й зовнішньому ринках транспортних послуг є пріоритетним завданням Державної цільової програми

реформування залізничного транспорту на 2010–2019 рр. [5]. Покращення експлуатаційних показників роботи залізничних станцій залежить від скорочення строків перебування вантажу «від відправника до одержувача».

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Під час планування роботи здійснюється підбір вхідних параметрів на основі інформації, що задається роботою залізничного транспорту, а вихідні – визначають обсяг та якість виконання роботи. Ступінь впливу контрольованих параметрів на систему може бути знижений як технічними, так і організаційними рішеннями. Для зниження ступеня впливу неконтрольованих параметрів на систему показників знадобляться істотні витрати на вдосконалення технічних засобів, які дозволять, хоча б непрямо контролювати параметри, які схильні до змін. Наприклад, такими технічними рішеннями є рейкові кола на залізничних станціях, перегонах, сортувальних комплексах, які, в зв'язку з різким погіршенням стану баластної призми, призводять до формування сигналів «помилкової зайнятості», що, в свою чергу, впливає на досягнення якісних, кількісних і економічних показників роботи залізничного транспорту.

Чутливим елементом рейкового кола є рейкова лінія, яка підпадає під дію як неперервних, так і дискретних впливів. З часом шпали і баласт значно підвищують електричну провідність, що викликано наявністю в них вологи, зміною навколишньої температури, наявністю сипучих вантажів та інших чинників. Тому опір ізоляції рейкового кола знижується і є нестабільним параметром. Чим нижчий опір ізоляції, тим ненадійніша робота рейкового кола і системи управління рухом поїздів, в цілому. Завданням є знизити вплив опору ізоляції на режимах функціонування рейкових кіл.

Мета

Вивчення впливу поверхневої обробки щебеню на величину діелектричної проникності баластного шару для зниження впливу опору ізоляції на режими функціонування рейкових кіл та на експлуатаційні показники роботи залізничного транспорту.

Методика

Питанням покращення експлуатаційних показників приділяється достатньо уваги в багатьох публікаціях [3, 7, 8], які, в основному, спрямовані на вибір оптимальних варіантів використання рухомого складу. У роботі [3] сформульована математична модель нормалізації

технологічного процесу управління парком вантажних вагонів операторських компаній у вигляді оптимізаційної задачі з цільовою функцією, яка надана сумарними експлуатаційними витратами за період планування і системою обмежень за технічними та технологічними умовами. Автори [8], аналізуючи елементи обігу вагона, наводять залежність кількості вивільнених вагонів від зміни дільничної швидкості, зменшення середнього простоя вагонів на одній технічній станції та середнього простоя вагона, що припадає на одну вантажну операцію. Так, в роботі [6] запропонована оптимізаційна модель оптимального варіанта вибору кількості вагонів та їх форми власності через знаходження максимального прибутку залізниці. Але в цих роботах недостатньо уваги приділено аналізу параметрів, які впливають на ці експлуатаційні показники. Пропонується розглянути експлуатаційні показники як систему (рис. 1). З цією метою необхідно виділити вхідні та вихідні параметри, встановити контрольовані й неконтрольовані впливи на систему показників.

Рейкове коло – електричний ланцюг, в якому є джерело живлення, колійний приймач і рейкова лінія. За відсутності рухомої одиниці на рейковій лінії від джерела живлення до колійного приймача тече сигнальний струм. При цьому поздовжніми параметрами рейкового кола є питомий опір (r) й індуктивність (L) рейки, а поперечними – проникність між рейками (g) і ємність (C) між ними. Питомі значення первинних параметрів рейкового кола (r, L, g, C) залежать від неоднорідності баласта та висоти баластного шару, якості і стану шпал, наявності міжколійних перемичок, які застосовуються для відведення тягового струму, відсмоктувальних фідерів тягового струму, заземлення опор контактної мережі та інших факторів [6].

Рейкові кола повинні функціонувати за найнесприятливіших умов, в яких може опинитися рейкове коло навіть на короткий час. На умови функціонування кола впливають три незалежні змінні величини: опір баласту, опір рейок та напруга джерела живлення [17]. Щоб передача електричної енергії від джерела до приймача відбувалася з найменшими втратами потужності, необхідно зменшити електричну проник-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

ність ізоляції. У зв'язку з цим доцільно розглянути наведену автором [13] схему заміщення опору ізоляції рейкової лінії (рис. 2), яка детально розкриває перехідний опір від поверхні шпали до ґрунту при протіканні струмів витоку через шпали, баласт та ґрунт і містить такі елементи:

R_{Π} – опір струму витоку на поверхні шпали;
 C_{Π} – ємність між рейками як обкладинками конденсатора з повітрям, що є діелектриком;
 R_{K1}, R_{K2} – перехідний опір між рейками та металевими деталями кріплення (болтами, шурупами та металевими підкладками); $Z_{\Pi1}, Z_{\Pi2}$ – перехідний опір між металевими деталями кріплення (електродами) і деревом та бетоном шпали (електролітом); R_{III} – опір шпал;
 $R_{ШБ1}, R_{ШБ2}$ – перехідний опір між шпалою та

баластом; R_B – опір баласта; $R_{БГ1}, R_{БГ2}$ – перехідний опір між баластом і ґрунтом.

Завданням є зменшити наявний ланцюг опорів у даній схемі завдяки зменшенню елементів зі знизеним опором, тобто збільшити перехідний опір між шпалою і баластом, опір баласту і перехідний опір між баластом і ґрунтом (пунктир на рис. 2).

Чим більший опір R_{Π} , R_{K1}, R_{K2} , $Z_{\Pi1}, Z_{\Pi2}$, R_{III} , $R_{ШБ1}, R_{ШБ2}$, R_B , $R_{БГ1}, R_{БГ2}$, тим менша проникність і тим гірше перераховані елементи проводять електричний струм витоку і навпаки: чим менший опір, тим більша проникність і тим легше струму витоку пройти крізь шпали, баласт, металеве кріплення, ґрунт.

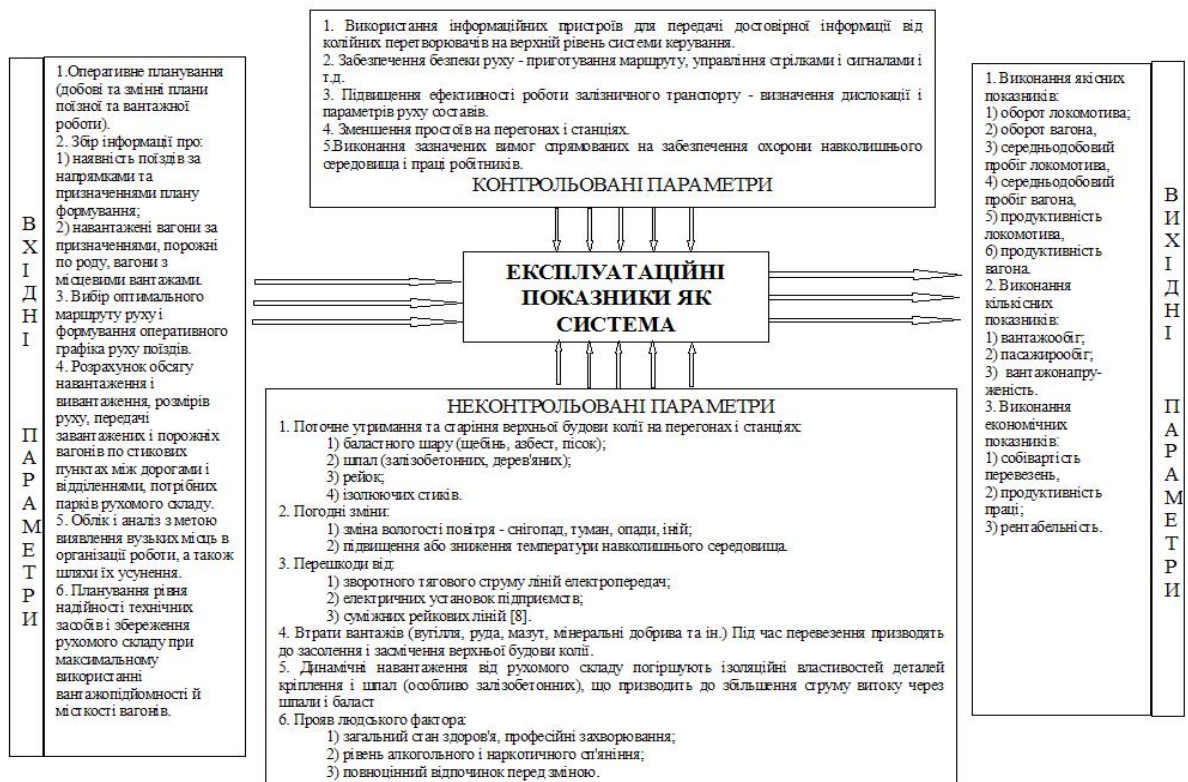


Рис. 1. Експлуатаційна робота як система показників

Fig. 1. Field operation as the system of indices

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

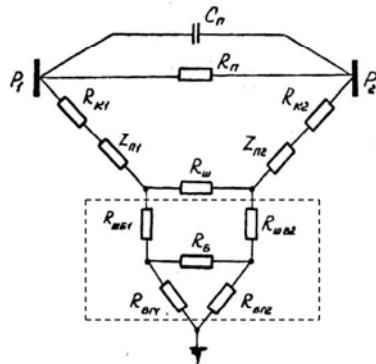


Рис. Схема заміщення опору ізоляції рейкової лінії

Fig. Equivalent circuit of insulation resistance for the rail line

За формулою проникності ізоляції рейкової лінії визначається таким чином [2]

$$y_n = g_n + j \cdot w \cdot C_{ec},$$

де g_n – активна складова проникності ізоляції, См/км; j – позначає уявну частину комплексної величини; C_{ec} – еквівалентна ємність ізоляції, Ф/км; $w = 2\pi f$ – кутова частота сигнального струму, рад/с; f – частота сигнального струму, Гц.

На зменшення опору баласту значно впливає ступінь забрудненості баластного шару і шпал. Навіть щебеневий баласт через деякий час після укладання, забруднюється дрібним піском, пилом, шлаком, вугіллям, мінеральними солями, рудами, що перевозяться залізницею, і металевим пилом, що створюється гальмівними колодками при гальмуванні рухомого складу, значно знижує свій електричний опір [9].

Відомо із [1, 11, 14, 18], що на стан верхньої будови колії впливають сипучі вантажі, які призводять до того, що в баластній призмі може спостерігатися вся «таблиця Менделєєва». Існують різні способи очищення баластної призми від забруднювачів, такі як ручне очищення щебеню, щебенеочисні машини на рейковому ході типу ЩОМ–1200, СЧ–600, RM–80 та інші, що здійснюють пошарове укладання очищеного баласту, промивання баласту. Роботи з очищення щебеню вручну малопродуктивні, доро-

го коштують і стомлюють робітників. Крім того, деяка кількість забруднювачів у ньому залишається або в процесі очищення потрапляє знову. Машини типу RM–80 виконують очищення односторонніх стрілочних переводів й використовуються не тільки на перегонах, а й на станціях. Вартість очищення одного погонного метра на 2015 рік складає приблизно 85 гривень.

Згідно з дослідженнями [1], після звичайної промивки ступінь забруднення відпрацьованого баластного матеріалу знижується не менше ніж в 2 рази. Альтернативним способом виключення впливу опору ізоляції на режими роботи рейкових кіл є заміна старого баласту на новий. Це зможе покращити показники, але враховуючи великі витрати коштів на заміну баласту у разі потреби припинення руху на час проведення робіт і обмеження швидкості руху на час стабілізації баластної призми ефект втрачається через повторне забруднення. Цей метод дає поліпшення на деяких ділянках лише на обмежений час.

Таким чином, усі існуючі способи очищення мають як низку переваг, так і недоліків. У попередніх дослідженнях було з'ясовано [15]: якщо фракції щебеню обробляти органічними матеріалами перед укладанням у колію або після промивання, то це вплине на зниження його електричної проникності. Виконані додаткові експерименти з нанесення захисних покриттів дозволяють зменшувати електропровідність баластного щебеню навіть в умовах просипання на колію перевезених мінеральних добрив, підвищуючи надійність роботи рейкової лінії, оскільки це і є задачею зниження впливу неконтрольованих параметрів.

За статистичними даними [12] 94,5 % відмов відбувається через незадовільне утримання колії. Тому, за допомогою знаходження найкращого способу запобігання впливу опору ізоляції за відсутності впливу забруднювачів на роботу рейкових ланцюгів можна отримати позитивну тенденцію в основних показниках експлуатаційної роботи. Удосконалення рейкових ланцюгів для забезпечення їх працездатності при низькому опорі ізоляції є не дешевим засобом [16], тому слід звернути увагу на створення таких заходів, які дозволили б технічними або іншими рішеннями поліпшити стан баластної призми.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Результати

Оцінювання впливу виду матеріалу для поверхневої обробки щебеню на величину діелектричної проникності виконували виходячи із визначення фізичної сутності відносної діелектричної проникності. Це число, яке показує, у скільки разів збільшується ємність при заповненні простору між обкладками конденсатора даним ізолюючим середовищем порівняно із вакуумом (повітрям). Ємність конденсатора C та відносна діелектрична проникність ε зв'язані між собою відомою формулою

$$C = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{S}{d},$$

де S – площа пластин конденсатора, м^2 ; d – відстань між пластинами, м .

Для суцільного діелектричного середовища визначення відносної діелектричної проникності за вимірним значенням ємності не викликає утруднень. Але для несучільних сипких середовищ, наприклад щебеню або піску, дуже складно оцінити площу електродів внаслідок неповного прилягання зернин щебеню та невизначеності порового об'єму (рис. 3).

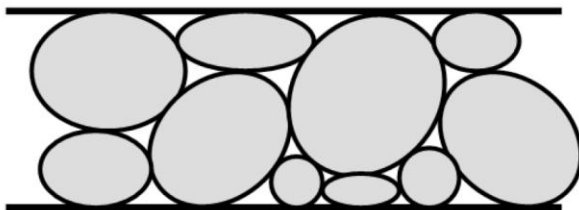


Рис. 3. Схема розміщення сипких матеріалів між обкладками умовного конденсатора

Fig. 3. Layout of bulk material between the plates of the conditional capacitor

Крім того, шлях проходження струму стає звивистим, що викликає додаткові труднощі у визначенні величини d . Тому визначення відносної діелектричної проникності може бути в таких умовах тільки непрямим – співставляючи виміряну псевдоємність для середовища з відомою ε з виміряною псевдоємністю середовища, для якого необхідно визначити ε . Тобто, у скільки разів змінюється виміряна ємність, у стільки ж разів змінюється й діелектрична проникність середовища.

У цій роботі ємність визначали за допомогою вимірювача типу Е8-12А. Для цього у контейнер об'ємом $0,01 \text{ м}^3$ поміщали зразки як чистого баластного щебеню, так і забрудненого. Для вивчення впливу покриття на діелектричні властивості на поверхню щебеню наносили такі речовини: бітум, каніфольну суміш, лакове покриття, силікон. Значення вимірної ємності та розрахункової величини відносної діелектричної проникності зазначених зразків наведено в таблиці. Значення відносної діелектричної проникності для чистого щебеню $\varepsilon = 4,5$ прийнято із [4].

Наукова новизна та практична значимість

Як свідчать дані вимірювань, наведені в таблиці, найбільше (порівняно з чистим щебенем, зразок № 1) діелектричну проникність зменшило каніфольне та силіконове покриття (зразки № 4 і 6). Також зниження проникності спостерігається для лакового покриття (зразок № 5). Бітумне покриття, як і забруднення щебеню, дещо збільшило величину ε (зразки № 2 і 3).

Для розробки математичної моделі скористаємося емпіричною ємнісною моделлю багатоконпонентної системи. Щебеневий баласт є системою, комплексна діелектрична проникність якої визначається об'ємними частками й діелектричними властивостями складових компонентів, а саме твердих частинок щебеню, повітря, вільної та зв'язаної води. На сьогодні немає фізичної моделі діелектричної проникності дисперсних систем на основі діелектричної проникності та об'ємних часток окремих компонент. Найпростіші моделі для двокомпонентних систем ґрунтуються на моделі плоского конденсатора, діелектрик якого складається з двох суцільних діелектриків, що мають різні відносні діелектричні проникності ε_1 та $R_{БГ1}, R_{БГ2}$. Якщо позначити їх об'ємні концентрації як y_1 та y_2 (вочевидь, що $y_1 + y_2 = 1$), то ефективна діелектрична проникність ε^* може бути визначена за формулами:

– для паралельного розташування діелектриків

$$\varepsilon^* = y_1 \cdot \varepsilon_1 + y_2 \cdot \varepsilon_2;$$

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

– для послідовного розташування діелектриків

$$\varepsilon^* = \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2}{y_1 \cdot \varepsilon_2 + y_2 \cdot \varepsilon_1}.$$

Таблиця 1

Значення ємності та розрахункової величини відносної діелектричної проникності

Table 1

Capacitance and the calculated values of the relative dielectric conductivity

№ зразка	Опис зразка	Ємність С, пФ	Відносне змінення ємності	Відносна діелектрична проникність ε
1	Щебінь чистий	97,4	1	4,5
2	Щебінь забруднений	98,1	1,007	4,53
3	Щебінь чистий з бітумним покриттям	97,6	1,002	4,51
4	Щебінь чистий з каніфольним покриттям	93,0	0,955	4,29
5	Щебінь чистий з лаковим покриттям	96,4	0,989	4,45
6	Щебінь чистий з силіконовим покриттям	95,0	0,975	4,39

Для багатокомпонентних сумішей з хаотичним розташуванням складових пропонується розглядати конденсатор, в якому шари діелектриків розташовані як паралельно, так і послідовно. У цьому випадку формула для визначення ефективної діелектричної проникності стає набагато складнішою. Так, автори [10] розглядають ґрунт як п'ятикомпонентну систему, яка складається із твердих частинок ґрунту, повітря, вільної води, міцно зв'язаної та пухко зв'язаної води. Підсумкова формула для такої системи, запропонована авторами [9], має вигляд:

$$\varepsilon = a \sum_i V_i \cdot \varepsilon_i + \frac{(1-a)}{\sum_i V_i \cdot \varepsilon_i},$$

де V_i, ε_i – об'ємна частка та діелектрична проникність i -го компонента суміші; a – вільний параметр.

У цій же роботі наводиться інша чотирикомпонентна модель для розрахунку діелектричної проникності

$$\varepsilon^\alpha = \sum_i V_i \cdot \varepsilon_i^\alpha,$$

де α – параметр, який підбирається експериментально.

Недоліком подібних моделей є те, що параметри в рівняннях є емпіричними і не мають фізичної сутності. Тому наступним етапом досліджень повинно бути підбір такої математичної моделі, в якій всі параметри мають чітку фізичну сутність і можуть бути визначені на основі об'єктивних властивостей матеріалів без експериментального підбирання багаточисленними вимірюваннями.

Висновки

Експериментально доведено, що покриття баластного щебеню органічними речовинами впливає на величину його відносної діелектричної проникності. Найбільший ефект зниження цієї величини спостерігався для покриття на основі каніфольної суміші та силікону. Таке покриття може бути запропоновано для обробки чистого щебеню перед його укладанням у колію під час ремонтів для продовження термінів експлуатації баластного шару, попередження адгезійного забруднення та ліквідації випадків «несправжньої зайнятості» рейкових кіл, покращення експлуатаційних показників роботи залізничного транспорту. Подальше дослідження буде спрямовано на вибір та експериментальне підтвердження математичної моделі зміни діелектричних властивостей багатокомпонентних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз існуючих способів очищення і утилізації забрудненого баластного щебеню / О. М. Пшінько, А. В. Краснюк, В. П. Лисняк, О. В. Громова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

- залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 17. – С. 209–213.
2. Брылеев, А. М. Теория, устройство и работа рельсовых цепей : учеб. пособие / А. М. Брылеев, Ю. А. Кравцов, А. В. Шишляков. – Москва : Транспорт, 1978. – 344 с.
3. Бутко, Т. В. Формалізація процесу управління парком вантажних вагонів операторських компаній / Т. В. Бутко, О. Е. Шандер // Вост.-Европ. журнал передовых технологий. – 2014. – № 2/3. – С. 55–58.
4. Воробьев, В. Б. Определение состояния балласта и земляного полотна железнодорожного пути георадиолокационным методом в режиме скоростного мониторинга : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.06 / Воробьев Владимир Борисович. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2008. – 146 с.
5. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010–2019 роки [Електронний ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1390 // [Офіційний сайт Верховної Ради України]. – Режим доступу: zakon1.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009-п. – Назва з екрана. – Перевірено : 31.10.2015.
6. Котляренко, Н. Ф. Электрические рельсовые цепи : учеб. пособие / Н. Ф. Котляренко. – Москва : Трансжелдориздат, 1961. – 328 с.
7. Лаврухин, О. В. Наукові підходи до вдосконалення технології експлуатації вантажних вагонів всіх форм власності / О. В. Лаврухин, Г. С. Бауліна, Г. Є. Богомазова // Інформ.-керуючі системи на залізн. транспорті. – 2015. – № 4. – С. 48–55.
8. Лаврухин, О. В. Формування вихідних даних моделі стабілізації обігу вагонів / О. В. Лаврухин, Ю. В. Доценко : зб. наук. пр. / ДонІЗТ УкрДАЗТ. – Донецьк, 2012. – Вип. 32. – С.19–24.
9. Мороз, В. П. Непрерывные путевые датчики систем железнодорожной автоматики и телемеханики для участков с пониженным сопротивлением изоляции : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Мороз Владимир Петрович. – Харьков : ХИИТ, 1996. – 156 с.
10. Определение диэлектрической проницаемости прочно- и рыхлосвязанной воды на СВЧ с использованием емкостной модели диэлектрической проницаемости почв [Електронний ресурс] / А. П. Бобров, П. П. Бобров, О. А. Иванченко, В. Н. Мандрыгина // Вестн. Омск. гос. пед. ун-та. Физ.-мат. науки. – 2006. – Тем. вып. – Режим доступу: <http://www.omsk-edu/article/vestnik-omgpu-149.pdf>. – Назва з екрана. – Перевірено : 31.10.2015.
11. Пат. 2009104966/11 Российская Федерация, МПК Е 01 В 11/54 Е 01 В 19/00. Устройство для защиты изоляционных стыков рельсов от скопления металлической стружки / заявитель и патентообладатель ООО «Российские железные дороги». – № 2389843 ; заявл. 13.02.2009 ; опубл. 20.05.2010, Бюл. № 14. – 3 с.
12. Рельсовым цепям – повышенное внимание! [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.archivesg.narod.ru/Avarii6.htm>. – Назва з екрана. – Перевірено : 05.10.2015.
13. Соболев, Ю. В. Путевые преобразователи автоматизированных систем управления железнодорожным транспортом : учеб. пособие / Ю. В. Соболев. – Харьков : Транспорт Украины, 1999. – 200 с.
14. Технологія ефективного очищення та шляхи утилізації відпрацьованого баластного щебеню у транспортному будівництві / О. М. Пшінко, А. В. Краснюк, Ю. Л. Заяць, О. В. Громова // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2013. – Вип. 4. – С. 75–81.
15. Трикоз, Л. В. Дослідження питомої електричної провідності баластного щебеню при перевезенні мінеральних добрив залізничним транспортом / Л. В. Трикоз, І. В. Багіянець // Вісн. НТУ «ХПІ». Серія : Нові рішення в сучасних технологіях : зб. наук. пр. – Харків, 2015. – № 62 (1171). – С. 35–39.
16. Diemunsch, K. M. Consequences of Failed Track Circuits on Conventional Signaling System in CBTC Projects / K. M. Diemunsch, D. J. Reitz // 2013 Joint Rail Conference (15.04–18.04.2013). – Knoxville, Tennessee, USA, 2013. – P. 1–10. doi: 10.1115/JRC2013-2515.
17. Du, X. Calculation of the Impedance of a Rail Track With Earth Return for the High-Speed Railway Signal Circuit Using Finite-Element Method / X. Du, J. Zou, Zh. Wang // IEEE Transactions on Magnetics. – 2015. – Vol. 51. – Iss. 3. – P. 1–4. doi: 10.1109/TMAG.2014.2360884.
18. Model Track Studies by Ground Penetrating Radar (GPR) on Ballast With Different Fouling and Geotechnical Properties / H. F. Kashani, L. H. Carlton, C. P. Oden, S. S. Smith // 2015 Joint Rail Conference (23.04–26.04.2015). – San Jose, California, USA, 2015. – P. 1–8. doi: 10.1115/JRC2015-5643.

Л. В. ТРИКОЗ^{1*}, И. В. БАГИЯНЦ^{2*}

^{1*}Каф. «Строительные материалы, конструкции и сооружения», Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61050, тел. +38 (057) 730 10 68, эл. почта lvtrikoz@ukr.net, ORCID 0000-0002-8531-7546

^{2*}Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61050, тел. +38 (057) 730 19 49, эл. почта bagira54017@mail.ru, ORCID 0000-0003-0067-4382

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МОДЕЛИ ИЗМЕНЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕСПЛОШНЫХ СИСТЕМ

Цель. В статье рассматривается сопротивление изоляции рельсовой цепи как одного из параметров, влияющих на эксплуатационные показатели работы железнодорожного транспорта. Для снижения влияния сопротивления изоляции на режимы функционирования рельсовых цепей и на эксплуатационные показатели работы железнодорожного транспорта предполагается исследовать влияние обработки щебня на величину диэлектрической проницаемости балластного слоя. **Методика.** Оценка влияния вида материала для поверхностной обработки щебня на величину диэлектрической проницаемости проводили, исходя из определения физической сущности относительной диэлектрической проницаемости. Определение относительной диэлектрической проницаемости ε сыпучих сред может быть только косвенным – вследствие неполного прилегания зерен щебня и неопределенности порового объема. Таким образом, расчеты проводили, сопоставляя измеренную емкость для среды с известной ε – с измеренной емкостью среды, для которой необходимо определить ε . То есть, во сколько раз меняется измеренная емкость, во столько же раз меняется и диэлектрическая проницаемость среды. **Результаты.** Исследовано, как шпалы и балласт значительно изменяют свою электрическую проводимость в зависимости от наличия в них влаги, изменения окружающей температуры, наличия загрязнителей и других факторов. Проанализированы существующие модели описания диэлектрических свойств таких систем. Установлено, что покрытие балластного щебня органическими веществами влияет на величину его относительной диэлектрической проницаемости. Наибольший эффект снижения этой величины наблюдался для покрытий на основе канифольной смеси и силикона. **Научная новизна.** Новым является предложенный авторами способ повышения диэлектрических свойств верхнего строения пути за счет нанесения на поверхности зерен балласта несмачиваемых веществ, на поверхности которых не образуется пленка воды. **Практическая значимость.** Показана возможность сведения к минимуму негативного влияния снижения изоляции с максимальным его устранением. Предлагается решение актуальной задачи путем исключения влияния сопротивления изоляции на режимы работы рельсовых цепей, что позволит ликвидировать часть причин отказа устройств сигнализации и уменьшить количество случаев «ложной занятости».

Ключевые слова: рельсовая линия; рельсовая цепь; сопротивление изоляции; задержки поездов; диэлектрические свойства; верхнее строение пути

L. V. TRYKOZ^{1*}, I. V. BAHIIANTS²

^{1*}Dep. «Building Materials, Constructions and Structures», Ukrainian State University of Railway Transport, Feyerbach Square, 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (057) 730 10 68, e-mail lvtrikoz@ukr.net, ORCID 0000-0002-8531-7546

^{2*}Ukrainian State University of Railway Transport, Feyerbach Square, 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (057) 730 19 49, e-mail bagira54017@mail.ru, ORCID 0000-0003-0067-4382

RATIONALE FOR CHOOSING THE CHANGE MODEL OF THE DIELECTRIC PROPERTIES OF DISCONTINUOUS SYSTEMS

Purpose. The article deals with the insulation resistance of the track circuit as one of the parameters that affect the operating performance of the railway transport. To reduce the influence of the insulation resistance on the operation modes of the track circuits and the performance indicators of railway transport it is assumed to study the influence of crushed stone treatment on the value of dielectric permeability of the ballast bed. **Methodology.** The influence of material type for the surface treatment of crushed stone on the value of the dielectric permeability was assessed on the basis of the physical nature determination of the relative dielectric permeability. Determination of the

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

relative dielectric permeability ε of granular media can only be indirect, as a consequence of incomplete adjoining of crushed stone grains and uncertainty of the pore volume. Thus, the calculations were performed by comparing the measured capacity for a medium with the known ε with measured medium capacity, for which it is necessary to define ε . That is, the more the measured capacity is changed, the more changes the dielectric permeability of the medium. **Findings.** Sleepers and ballast significantly change their electrical conductivity depending on the presence of moisture, ambient temperature changes, the presence of pollutants and other factors. The article analyzes the existing models to describe the dielectric properties of such systems. It has been established that coating the crushed stone ballast with organic substances influences the value of its relative dielectric permeability. The greatest effect of reducing this value is observed for the coatings based on rosin mixture and silicone. **Originality.** Authors proposed original method of dielectric properties increase of the permanent way by grains' coating with nonwetable substances, on the surface of which is not formed a water film. **Practical value.** The article shows the possibility of minimizing the negative influence of reducing the isolation with maximum its elimination. It is proposed the solution of actual problem by eliminating the influence of insulation resistance on the modes of track circuits operation, which will eliminate the part of causes of the failure of signaling devices and reduce the number of cases of «false business».

Keywords: rail line; track circuit; insulation resistance; train delays; dielectric properties; permanent way

REFERENCES

1. Pshinko O.M., Krasniuk A.V., Lysniak V.P., Hromova O.V. Analiz isnuichykh sposobiv ochyshchennia i utylizatsii zabrudnenoho balastnoho shchebeniu [Analysis of existing methods of cleaning and utilization of contaminated of ballast rubble]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 17, pp. 209-213.
2. Bryleyev A.M., Kravtsov Yu.A., Shishlyakov A.V. *Teoriya, ustroystvo i rabota relsovykh tsepey* [The theory, structure and operation of track circuits]. Moscow, Transport Publ., 1978. 344 p.
3. Butko T.V., Shander O.Ye. Formalizatsiia protsesu upravlinnia parkom vantazhnykh vahoniv operatorskykh kompanii [Formalization of the management process of freight cars fleet of operator companies]. *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy – East European Journal of Advanced Technologies*, 2014, no. 2/3, pp. 55-58.
4. Vorobyev V.B. Opredeleniye sostoyaniya ballasta i zemlyanogo polotna zheleznodorozhnogo puti georadiolokatsionnym metodom v rezhime skorostnogo monitoringa. Kand., Diss. [Determining the condition of rubble and subgrade of railway track using the method of ground penetrating radar in the mode of speed monitoring. Cand. Diss.]. Rostov-on-Don, 2008. 146 p.
5. Kotlyarenko N.F. *Elektricheskiye relsovyye tsepi* [Electrical track circuits]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1961. 328 p.
6. Lavrukhin O.V., Baulina H.S., Bohomazova H.Ye. Naukovi pidkhody do vdoskonalennia tekhnolohii ekspluatatsii vantazhnykh vahoniv vsikh form vlasnosti [Scientific approaches to improving the operation technology of freight cars of all forms of ownership]. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti – Information and Control Systems on Railway Transport*, 2015, no. 4, pp. 48-55.
7. Lavrukhin O.V., Dotsenko Yu.V. Formuvannia vykhidnykh danykh modeli stabilizatsii obihu vahoniv [Formation of the output data of stabilization model of cars circulation]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu* [Proc. of Donetsk Institute of Railway Transport], 2012, issue 32, pp.19-24.
8. Moroz V.P. Nepreryvnyye putevyye datchiki sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki dlya uchastkov s ponizhennym soprotivleniyem izolyatsii. Kand., Diss. [Continuous path-control transducers of railway automation and remote control systems for the sections with low insulation resistance. Cand. Diss.]. Kharkiv, 1996. 156 p.
9. Bobrov A.P., Bobrov P.P., Ivanchenko O.A., Mandrygina V.N. Opredeleniye dielektricheskoy pronitsayemosti prochno- i rykhlosvyazannoy vody na SVCh s ispolzovaniyem yemkostnoy modeli dielektricheskoy pronitsayemosti pochv [Determination of the dielectric permeability of adsorbed and film water on super-high frequency using a capacitive model of soil dielectric permeability]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta* [Bulletin of Omsk State Pedagogical University], issue 2006, 5 p. Available at: <http://www.omsk.edu/article/vestnik-omgpu-149.pdf> (Accessed 31 October 2015).
10. *Ustroystvo dlya zashchity izolyatsionnykh stykov relsov ot skopleniya metallicheskoy struzhki* [The device for protection of the insulating rail joints from accumulation of swarf]. Patent RU, no. 2389843, 2010.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

11. *Derzhavna tsilova prohrama reformuvannia zaliznychnoho transportu na 2010–2019 roky* (State target program of reforming the railway transport for 2010–2019). Available at: zakon1.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009-p (Accessed 31 October 2015).
12. *Relsovym tsepyam – povyshennoye vnimaniye!* (Increased attention to the rail circuits). Available at: <http://www.archivesg.narod.ru/Avarii6.htm> (Accessed 05 October 2015).
13. Sobolev Yu.V. *Putevyie preobrazovateli avtomatizirovannykh sistem upravleniya zheleznodorozhnym transportom* [Track converters of automated control systems of railway transport]. Kharkov, Transport Ukrainy Publ., 1999. 200 p.
14. Pshinko O.M., Krasniuk A.V., Zaiats Yu.L., Hromova O.V. *Tekhnolohiia efektyvnoho ochyshchennia ta shliakhy utylizatsii vidpratsovanoho balastnoho shchebeniu u transportnomu budivnytstvi* [Effective cleaning technology and ways of recycling the waste ballast rubble in transport construction]. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka* [Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice], 2013, issue 4, pp. 75–81.
15. Trykoz L.V., Bahians I.V. *Doslidzhennia pytomoi elektrychnoi providnosti balastnoho shchebeniu pry perevezenni mineralnykh dobryv zaliznychnym transportom* [Research of specific electrical conductivity of ballast rubble during transportation of mineral fertilizers by railway transport]. *Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh – New Decisions in Modern Technologies*, 2015, no. 62 (1171), pp. 35–39.
16. Diemunsch K.M., Reitz D.J. Consequences of Failed Track Circuits on Conventional Signaling System in CBTC Projects. Joint Rail Conf. Tennessee, 2013, pp. 1–10. doi: 10.1115/JRC2013-2515.
17. Du X., Zou J., Wang Zh. Calculation of the Impedance of a Rail Track With Earth Return for the High-Speed Railway Signal Circuit Using Finite-Element Method. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2015, vol. 51, issue 3, pp. 1–4. doi: 10.1109/TMAG.2014.2360884.
18. Kashani H.F., Ho. Carlton L., Oden C.P., Smith S.S. Model Track Studies by Ground Penetrating Radar (GPR) on Ballast With Different Fouling and Geotechnical Properties. Joint Rail Conf. California, 2015, pp. 1–8. doi: 10.1115/JRC2015-5643.

Стаття рекомендована до друку д.т.н., проф. В. Д. Петренком (Україна); д.т.н., проф. А. А. Плугіним (Україна)

Надійшла до редколегії: 16.03.2016

Прийнята до друку: 08.06.2016

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

УДК 519.6

Ю. Д. ПОЛИССКИЙ^{1*}

^{1*}НИИ автоматизации чёрной металлургии, ул. Короленко, 21, кв.15, Днепропетровск, Украина, 49000, тел. + 38 (056) 744 33 65, моб. + 38 (067) 706 83 11, эл. почта polissky@mail.ru, ORCID 0000-0001-5363-8145

О ПРЕОБРАЗОВАНИИ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ЧИСЕЛ В ОСТАТКАХ ИЗ ОДНОЙ СИСТЕМЫ МОДУЛЕЙ В ДРУГУЮ

Цель. В работе предполагается провести теоретическое обоснование одного из подходов к повышению эффективности выполнения в непозиционной системе счисления остаточных классов немодульной, так называемой сложной операции, для реализации которой необходимо знание цифр операндов по всем разрядам. Операция заключается в преобразовании представления числа из одной системы модулей представлением его в другой системе модулей. **Методика.** Инструментами методики исследований являются системный анализ, теория чисел, китайская теорема об остатках. Методика использует представление числа, как своими остатками, так и в полиадическом коде и базируется на определении остатка по данному модулю на основе полученных остатков по остальным модулям исходной системы. Такое определение выполняют последовательным вычитанием констант из получаемых остатков исходного числа и подсуммированием этих констант к результатам, которые образуются по искомым модулям. При этом константы на каждой итерации выбираются из предварительно рассчитанных таблиц, в зависимости от значения остатка в анализируемом разряде. Предложенный метод алгоритмически прост и при схемной реализации позволяет создавать вычислительные структуры высокой производительности и надежности. **Результаты.** В работе выполнено теоретическое обоснование рассматриваемого подхода для получения эффективного решения немодульной операции преобразования в системе остаточных классов для перехода от представления числа одной системой модулей к его представлению другой системой модулей. **Научная новизна.** Автором предложено теоретическое обоснование представленного подхода к решению немодульной операции преобразования в системе остаточных классов для перехода от представления числа в одной системе модулей к его представлению в другой системе модулей. Данный подход целесообразно рассматривать в качестве одного из направлений исследования путей повышения эффективности вычислений. **Практическая значимость.** Важность теоретических выводов и полученных результатов исследования заключается в том, что обоснован простой и эффективный подход к решению задачи выполнения немодульной операции преобразования в системе остаточных классов для перехода от представления числа в одной системе модулей к его представлению в другой системе модулей. Рассмотренные решения обладают высоким быстродействием и могут быть эффективными при разработке модульных вычислительных структур для перспективных информационных технологий.

Ключевые слова: остаточные классы; число; сложные операции; позиционная характеристика; системы модулей; итерация

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Введение

Одним из перспективных направлений повышения эффективности вычислений является применение параллельной обработки данных с использованием новых принципов на основе представления данных в системе остаточных классов (СОК) [1]. Достоинства СОК подробно изложены в [4, 5, 7, 8]. Однако возникают определенные трудности [17, 18] при реализации немодульных, так называемых сложных, операций. В связи с важностью и актуальностью разработок по остаточной арифметике результаты этих работ систематически рассматривались в периодических научно-технических изданиях [6, 16, 19, 20, 21].

При выполнении некоторых сложных операций в системе остаточных классов возникает необходимость в переходе от представления числа в одной системе модулей к представлению данного числа в другой системе модулей. Решение такой задачи может потребоваться, например, при расширении диапазона представления чисел [15], определении ранга числа [13], модульном делении чисел в тех случаях, когда осуществляется деление на число, кратное одному или нескольким модулям системы [12]. Поэтому операция перехода от одной системы модулей к другой, при которой по известным остаткам числа для некоторых модулей СОК определяют значения остатков этого же числа по другим модулям, относится к одной из основных немодульных операций в системе остаточных классов.

Цель

Целью данной работы является теоретическое обоснование одного из подходов к повышению эффективности выполнения в непозиционной системе счисления остаточных классов немодульной, так называемой сложной, операции, для реализации которой необходимо знание цифр операндов по всем разрядам. Операция заключается в преобразовании представления числа одной системой модулей представлением его другой системой модулей.

Методика

Инструментами методики исследований являются системный анализ [2], теория чисел [9],

китайская теорема об остатках [3,10,11]. При изложении статьи будем использовать определения и обозначения, приведенные в [14]. СОК называется система счисления, в которой произвольное число N представляется в виде набора наименьших неотрицательных остатков по модулям $m_1, m_2, \dots, m_n$, то есть

$$N = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n). \quad \text{Здесь} \quad \alpha_i = N \pmod{m_i}.$$

При этом, если числа m_i взаимно простые, то такому представлению соответствует только одно число N диапазона $[0, M)$, где $M = m_1 m_2 \dots m_n$.

Пусть $N_1^1 = (\alpha_1^1, \alpha_2^1, \dots, \alpha_r^1)$ – число в системе модулей $m_1, m_2, \dots, m_r$, $M_1 = m_1 m_2 \dots m_r$, то же число $N_1^1 = N_2^1 = (\tilde{\alpha}_1, \tilde{\alpha}_2, \dots, \tilde{\alpha}_s)$ в системе модулей $\tilde{m}_1, \tilde{m}_2, \dots, \tilde{m}_s$, $M_2 = \tilde{m}_1 \tilde{m}_2 \dots \tilde{m}_s$ и $M_2 \geq M_1$. Необходимо построить алгоритм перехода от представления числа N_1^1 остатками $\alpha_1^1, \alpha_2^1, \dots, \alpha_r^1$ к его представлению остатками $\tilde{\alpha}_1, \tilde{\alpha}_2, \dots, \tilde{\alpha}_s$.

Впервые решение данной задачи предложено в классической работе [1]. В статье [14] рассмотрено еще одно алгоритмическое решение, позволяющее упростить практическую реализацию и ускорить получение результата. Метод основан на итерационном алгоритме вычитания из исходного числа и добавления к искомому числу некоторых констант. В настоящей статье приведено обоснование данного подхода.

Пусть системой оснований полиадического кода также является система $m_1, m_2, \dots, m_r$. Число N_1 в полиадическом коде представляется следующим образом

$$N_1 = \pi_1 + \pi_2 m_1 + \dots + \pi_i m_1 m_2 \dots m_{i-1} + \dots + \pi_r m_1 m_2 \dots m_{r-1},$$

где $0 \leq \pi_i \leq m_i - 1$. Тогда

$$\tilde{\alpha}_j = (\pi_1 + \pi_2 m_1 + \dots + \pi_i m_1 m_2 \dots m_{i-1} + \dots + \pi_r m_1 m_2 \dots m_{r-1}) \pmod{\tilde{m}_j}, \quad j = 1, 2, \dots, s$$

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Процесс определения слагаемых Δ_i описывается следующими зависимостями:

– для первого слагаемого

$$\Delta_1 = \pi_1 = N_1^1(\bmod m_1) = \alpha_1^1,$$

$$\Delta_1(\bmod m_i) = \alpha_1^1(\bmod m_i), i = 1, 2, \dots, r,$$

$$\Delta_1(\bmod \tilde{m}_j) = \alpha_1^1(\bmod \tilde{m}_j), j = 1, 2, \dots, s;$$

– для второго слагаемого

$$N_1^2 = N_1^1 - \alpha_1^1 = \pi_i \prod_1^{i-1} m_t + \dots +$$

$$+ \pi_{r-1} \prod_1^{r-2} m_v + \pi_r \prod_1^{r-1} m_w,$$

$$N_1^2 = (0, \alpha_2^2, \alpha_3^2, \dots, \alpha_i^2, \dots, \alpha_r^2),$$

$$\alpha_i^2 = \alpha_i^1 - \alpha_1^1, i = 2, \dots, r,$$

$$N_1^2(\bmod m_2) = (\pi_2 m_1)(\bmod m_2) = \alpha_2^2,$$

$$\pi_2 = (\frac{\alpha_2^2}{m_1})(\bmod m_2),$$

$$\Delta_2 = m_1 (\frac{\alpha_2^1}{m_1})(\bmod m_2),$$

$$\Delta_2(\bmod m_i) = (m_1 (\frac{\alpha_2^1}{m_1})(\bmod m_2))(\bmod m_i),$$

$$i = 2, \dots, r,$$

$$\Delta_2(\bmod \tilde{m}_j) = (m_1 (\frac{\alpha_2^1}{m_1})(\bmod m_2))(\bmod \tilde{m}_j),$$

$$j = 1, 2, \dots, s;$$

– для третьего слагаемого

$$N_1^3 = N_1^2 - \alpha_2^2 = \pi_i \prod_1^{i-1} m_t +$$

$$+ \dots + \pi_{r-1} \prod_1^{r-2} m_v + \pi_r \prod_1^{r-1} m_w,$$

$$N_1^3 = (0, 0, \alpha_3^3, \dots, \alpha_i^3, \dots, \alpha_r^3),$$

$$\alpha_i^3 = \alpha_i^2 - \alpha_2^2, i = 3, \dots, r,$$

$$N_1^3(\bmod m_3) = (\pi_3 m_1 m_2)(\bmod m_3) = \alpha_3^3,$$

$$\pi_3 = (\frac{\alpha_3^3}{m_1 m_2})(\bmod m_3),$$

$$\Delta_3 = m_1 m_2 (\frac{\alpha_3^3}{m_1 m_2})(\bmod m_3),$$

$$\Delta_3(\bmod m_i) = (m_1 m_2 (\frac{\alpha_3^3}{m_1 m_2})(\bmod m_3))(\bmod m_i),$$

$$i = 3, \dots, r,$$

$$\Delta_3(\bmod \tilde{m}_j) = (m_1 m_2 (\frac{\alpha_3^3}{m_1 m_2})(\bmod m_3))(\bmod \tilde{m}_j),$$

$$j = 1, 2, \dots, s.$$

Наконец, для r – го слагаемого

$$N_1^r = N_1^{r-1} - \alpha_{r-1}^{r-1} = \pi_r \prod_1^{r-1} m_w,$$

$$N_1^i = (0, 0, 0, \dots, 0, \dots, 0, \alpha_i^i),$$

$$\alpha_r^r = \alpha_r^{r-1} - \alpha_{r-1}^{r-1},$$

$$N_1^r(\bmod m_r) = (\pi_r \prod_1^{r-1} m_w)(\bmod m_r) = \alpha_r^r,$$

$$\pi_r = (\frac{\alpha_r^r}{\prod_1^{r-1} m_w})(\bmod m_r),$$

$$\Delta_i = \prod_1^{r-1} m_w (\frac{\alpha_r^r}{\prod_1^{r-1} m_w})(\bmod m_r),$$

$$\Delta_i(\bmod \tilde{m}_j) = (\prod_1^{r-1} m_w (\frac{\alpha_r^r}{\prod_1^{r-1} m_w})(\bmod m_r))(\bmod \tilde{m}_j),$$

$$j = 1, 2, \dots, s.$$

Следовательно, метод базируется на получении итеративным путем слагаемых Δ_i . Табл.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

1–3 пояснюють, наприклад, для системи модулів $m_1=5, m_2=7, m_3=3, \tilde{m}_1=11, \tilde{m}_2=2$ формування слагаємих Δ_i в соответствии с приведенными выше зависимостями.

Таблиця 1

Table 1

Модули						
5			7	3	11	13
π_1	Δ_1	α_1^1	α_2^1	α_3^1	α_1^1	α_2^1
0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	0	3	3
4	4	4	4	1	4	4

Таблиця 2

Table 2

Модули					
7			3	11	13
π_2	$\Delta_2 = \pi_2 m_1$	α_2^2	α_3^2	α_1^2	α_2^2
0	0	0	0	0	0
1	5	5	2	5	5
2	10	3	1	10	10
3	15	1	0	4	2
4	20	6	2	9	7
5	25	4	1	3	12
6	30	2	0	8	4

Таблиця 3

Модули				
3			11	13
π_3	$\Delta_3 = \pi_3 m_1 m_2$	α_3^3	α_1^3	α_2^3
0	0	0	0	0
1	35	2	2	9
2	70	1	4	5

Проиллюстрируем изложенное для перехода от представления числа $N_1^1 = 59 = (4, 3, 2)$ в системе модулів $m_1=5, m_2=7, m_3=3, M_1 = m_1 m_2 m_3 = 5 \cdot 7 \cdot 3 = 105$ к его представлению в системе модулів $\tilde{m}_1=11, \tilde{m}_2=13, M_2 = \tilde{m}_1 \tilde{m}_2 = 11 \cdot 13 = 143, M_2 > M_1$. До определения значений остатков $\tilde{\alpha}_1$ и $\tilde{\alpha}_2$ примем их начальные значения равными нулю, то есть $N_2^1 = (0, 0)$.

На первой итерации из табл. 1 для $\alpha_1^1 = 4$ выбираем константы 4, 4, 1 соответственно по модулям $m_1=5, m_2=7, m_3=3$, которые вычитаем из остатков 4, 3, 2. Получаем $N_1^1 = 55 = (0, 6, 1)$. Из этой же табл. 1 для $\alpha_1^1 = 4$ выбираем константы 4, 4 по модулям $\tilde{m}_1=11, \tilde{m}_2=13$ соответственно, которые прибавляем к остаткам 0, 0. В результате получаем $N_2^1 = (4, 4)$.

На второй итерации из табл. 2 для $\alpha_2^2 = 6$ выбираем константы 6, 2 по модулям $m_2=7, m_3=3$ соответственно, которые вычитаем из остатков 6, 1. Получаем $N_1^2 = 35 = (0, 0, 2)$. Из этой же табл. 2 для $\alpha_2^2 = 6$ выбираем константы 9, 7 по модулям $\tilde{m}_1=11, \tilde{m}_2=13$ соответственно, которые прибавляем к остаткам 4, 4. В результате получаем $N_2^2 = (2, 11)$.

На третьей итерации из табл. 3 для $\alpha_3^3 = 2$ выбираем константу 2 по модулю $m_3=3$, которую вычитаем из остатка 2. Получаем $N_1^3 = 35 = (0, 0, 0)$. Из этой же табл. 3 для $\alpha_3^3 = 2$ выбираем константы 2, 9 по модулям $\tilde{m}_1=11, \tilde{m}_2=13$ соответственно, которые прибавляем к остаткам 2, 11. В результате получаем $N_2^3 = 59 = (4, 7)$.

Результаты

Получено эффективное решение немодульной операции системы остаточных классов для перехода от представления числа одной системой модулів к его представлению другой сис-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

темой модулей.

Научная новизна и практическая значимость

Предложено теоретическое обоснование одного подхода к решению немодульной операции системы остаточных классов для перехода от представления числа одной системой модулей к его представлению другой системой модулей. Данный подход целесообразно рассматривать в качестве одного из направлений по исследованию путей повышения эффективности вычислений при разработке модулярных вычислительных структур.

Выводы

Рассмотрен один из подходов к решению задачи перехода от представления числа одной системой модулей к его представлению другой системой модулей. Подход базируется на определении остатка по данному модулю на основе полученных остатков по остальным модулям системы. Такое определение выполняют последовательным вычитанием констант из полученных остатков и подсуммированием этих констант к результатам, которые образуются по данному модулю. При этом константы на каждой итерации выбираются в зависимости от значения остатка в анализируемом разряде. Предложенный метод алгоритмически прост и при схемной реализации позволяет создавать вычислительные структуры высокой производительности и надежности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Акушский, И. Я. Машинная арифметика в остаточных классах / И. Я. Акушский, Д. И. Юдицкий. – Москва : Сов. радио, 1968. – 440 с.
- Вдовин, В. М. Теория систем и системный анализ / В. М. Вдовин, Л. Е. Суркова, В. А. Валентинов. – Москва : Дашков и К°, 2010. – 640 с.
- Габидулин, Э. М. Защита информации: учеб. пособие / Э. М. Габидулин, А. С. Кшевецкий, А. И. Колыбельников. – Москва : МФТИ, 2011. – 262 с.
- Ирхин, В. П. Табличная реализация операций модулярной арифметики / В. П. Ирхин // 50 лет модулярной арифметики : тр. юбил. Междунар. науч.-техн. конф. (23.11–25.11.2005) / Моск. ин-т электрон. техники. – Москва, 2015. – С. 268–273.
- Кнут, Д. Искусство программирования. Т. 2. Получисленные алгоритмы / Д. Кнут. – Москва : Диалектика-Вильямс, 2013. – 832 с.
- Колесникова, Т. А. Интеграция украинской отраслевой научной периодики в мировое научно-информационное пространство: проблемы и решения / Т. А. Колесникова // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 6 (48). – С. 7–22. doi: 10.15802/stp2013/19835.
- Методы и алгоритмы округления, масштабирования и деления чисел в модулярной арифметике / Н. И. Червяков [и др.] // 50 лет модулярной арифметики : тр. юбил. Междунар. науч.-техн. конф. (23.11–25.11.2005) / Моск. ин-т электрон. техники. – Москва, 2015. – С. 291–310.
- Модулярные параллельные вычислительные структуры нейпроцессорных систем : монография / под ред. Н. И. Червякова. – Москва : Физматлит, 2003. – 288 с.
- Нестеренко, Ю. В. Теория чисел : учебник / Ю. В. Нестеренко. – Москва : Академия, 2008. – 272 с.
- Нестерова, Л. Ю. Китайская теорема об остатках в области главных идеалов / Л. Ю. Нестерова, С. В. Феклистов // Молодой ученый. – 2014. – № 19. – С. 1–4.
- Переславцева, О. Н. Распараллеливание алгоритмов с применением китайской теоремы об остатках / О. Н. Переславцева // Вестн. Тамбов. ун-та. Серия : Естеств. и техн. науки. – 2009. – № 4, т. 14. – С. 779–781.
- Полисский, Ю. Д. Алгоритм выполнения операции деления чисел на два в системе остаточных классов / Ю. Д. Полисский // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 16. – С. 68–72.
- Полисский, Ю. Д. Выполнение сложных операций в модулярных вычислительных структурах / Ю. Д. Полисский // Автоматика-2008 : доп. XV міжнар. конф. з автоматичного управління (23.09–26.09.2008) / НУ «Одеська морська академія» – Одеса, 2008. – Ч. I. – С. 444–446.
- Полисский, Ю. Д. О выполнении сложных операций в системе остаточных классов / Ю. Д. Полисский // Электронное моделирование. – 2006. – Т. 28, № 3. – С. 117–123.
- Поліський, Ю. Д. Про один метод розширення діапазону зображення чисел у системі залишкових класів / Ю. Д. Поліський // Математичне моделювання. – 2007. – № 2. – С. 16–17.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

16. Приближенный метод выполнения немодульных операций в системе остаточных классов / Н. И. Червяков, В. М. Авербух, М. Г. Бабенко [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 6 (1). – С. 189–193.
17. Червяков, Н. И. Методы, алгоритмы и техническая реализация основных проблемных операций, выполняемых в системе остаточных классов / Н. И. Червяков // Инфокоммуникационные технологии / Поволж. гос. ун-т телеком. и информатики. – Самара, 2011. – № 4. – С. 4–12.
18. Червяков, Н. И. Методы и принципы построения модулярных нейрокомпьютеров / Н. И. Червяков // 50 лет модулярной арифметики : тр. юбил. Междунар. науч.-техн. конф. (23.11–25.11.2005) / Моск. ин-т электрон. техники. – Москва, 2005. – С. 232–242.
19. Boateng, K. O. A Smith-Waterman Algorithm Accelerator Based on Residue Number System / K. O. Boateng, E. Y. Baagyere // Intern. J. of Electronics and Communication Engineering. – 2012. – Vol. 5, № 1. – P. 99–112.
20. Tomczak, T. Hierarchical residue number systems with small moduli and simple converters / T. Tomczak // Intern. J. of Applied Mathematics and Computer Science. – 2011. – Vol. 21. – Iss. 1. – P. 173–192. doi: 10.2478/v10006-011-0013-2.
21. Youssef, M. I. Multi-Layer Data Encryption Using Residue Number System in DNA Sequence / M. I. Youssef, A. E. Emam, M. Abd Elghanym // Intern. J. of Security and Its Applications. – 2012. – Vol. 6, № 4. – P. 1–12.

Ю. Д. ПОЛІСЬКИЙ^{1*}

^{1*}НДІ автоматизації чорної металургії, вул. Короленка, 21, кв. 15, Дніпропетровськ, Україна, 49000, тел. + 38 (056) 744 33 65, +38 (067) 706 83 11, ел. пошта polissky@mail.ru, ORCID 0000-0001-5363-8145

ПРО ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЧИСЕЛ У ЗАЛИШКАХ ІЗ ОДНІЄЇ СИСТЕМИ МОДУЛІВ В ІНШУ

Мета. У роботі передбачається провести теоретичне обґрунтування одного з підходів до підвищення ефективності виконання в непозиційній системі числення залишкових класів немодульної, так званої складної операції, для реалізації якої необхідно знання цифр операндів в усіх розрядах. Операція полягає в перетворенні представлення числа з однієї системи модулів поданням його в іншій системі модулів. **Методика.** Інструментами методики досліджень являються системний аналіз, теорія чисел, китайська теорема про залишки. Методика використовує представлення числа як своїми залишками, так і в поліадичній коді та базується на визначенні залишку по даному модулю на основі отриманих залишків по решті модулів вихідної системи. Таке визначення виконують послідовним відніманням констант із одержуваних залишків вихідного числа і додаванням цих констант до результатів, які утворюються по шуканим модулям. При цьому константи на кожній ітерації вибираються з попередньо розрахованих таблиць, залежно від значення залишку в аналізованому розряді. Запропонований метод алгоритмічно простий та при схемній реалізації дозволяє створювати обчислювальні структури високої продуктивності й надійності. **Результати.** У роботі виконано теоретичне обґрунтування розглянутого підходу для отримання ефективного вирішення немодульної операції перетворення в системі залишкових класів для переходу від подання числа однією системою модулів до його подання іншою системою модулів. **Наукова новизна.** Автором запропоновано теоретичне обґрунтування представленого підходу до вирішення немодульної операції перетворення в системі залишкових класів для переходу від представлення числа в одній системі модулів до його представлення в іншій системі модулів. Даний підхід доцільно розглядати в якості одного з напрямків дослідження шляхів підвищення ефективності обчислень. **Практична значимість.** Важливість теоретичних висновків та отриманих результатів дослідження полягає в тому, що обґрунтовано простий і ефективний підхід до вирішення задачі виконання немодульної операції перетворення в системі залишкових класів для переходу від представлення числа в одній системі модулів до його представлення в іншій системі модулів. Розглянуті рішення мають високу швидкість та можуть бути ефективними при розробці модулярних обчислювальних структур для перспективних інформаційних технологій.

Ключові слова: залишкові класи; число; складні операції; позиційна характеристика; системи модулів; ітерація

YU. D. POLISSKY^{1*}^{1*}Research Institute of Automation of Iron Industry, Korolenko St., 21, Fl. 15, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49000,
tel. + 38 (056) 744 33 65, +38 (067) 706 83 11, e-mail polissky@mail.ru, ORCID 0000-0001-5363-8145

ON THE TRANSFORMATION OF REPRESENTATION OF NUMBERS IN THE RESIDUO FROM ONE MODULE SYSTEM TO ANOTHER

Purpose. The purpose of this work is the theoretical foundation of one of the approaches to improve the effectiveness of the number system in nonpositional residual classes non-modular, so-called complex operation, the realization of which requires knowledge of all the digits of operands charges. The operation consists in transformation of the representation of one of the modules of its representation in the other system of modules. **Methodology.** The tools of research methodology are the system analysis, theory of numbers, the Chinese remainder theorem. The technique uses a representation of number as its residues, and in the polyadic code and is based on the determination of the balance of the module based on the obtained residues on the remaining modules of the original system. Such a determination is performed by sequentially subtracting of constants from the obtained residues of the original number and summing of these constants to the results, which are formed by the required modules. Thus, constant at each iteration are selected from pre-calculated tables depending on the value of the residue in the analyzed discharge. The proposed method is algorithmically simple and at circuit implementation can create the computational structures of high performance and reliability. **Findings.** The theoretical justification for this approach to obtain effective solutions of non-modular transformation operation in the system of residual classes for transition from representation of the number by the one system of units to its representation by the other system of modules. **Originality.** A theoretical justification of the proposed approach to the solution of a non-modular conversion operations in the residue number system for the transition from representation of number in one system of units to its representation in the other system of modules was proposed. This approach is appropriate to consider as one of the areas of research ways to improve the computational efficiency. **Practical value.** It follows from the importance of the theoretical conclusions and results of the study. It consists in the fact that it is justified a simple and effective approach to the problem of implementation of non-modular conversion operations in the residue number system for the transition from representation of the number in one system of units to its representation in the other system of modules. The above mentioned solutions have a high speed and may be effective in the development of modular computing structures for advanced information technologies.

Keywords: residual classes; number; complex operations; positional characteristic; system of modules; iteration

REFERENCES

1. Akushskiy I.Ya., Yuditskiy D.I. *Mashinnaya arifmetika v ostatochnykh klassakh* [Machine arithmetic in the residual classes]. Moscow, Sovetskoye radio Publ., 1968. 440 p.
2. Vdovin V.M., Surkova L.Ye., Valentinov V.A. *Teoriya sistem i sistemnyy analiz* [Systems theory and systems analysis]. Moscow, Dashkov i K° Publ., 2010. 640 p.
3. Gabidulin E.M., Kshevetskiy A.S., Kolybelnikov A.I. *Zashchita informatsii* [Data protection]. Moscow, MFTI Publ., 2011. 262 p.
4. Irkhin V.P. Tablichnaya realizatsiya operatsiy modulyarnoy arifmetiki [Tabular implementation of modular arithmetic operations]. *Trudy yubileynoy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «50 let modulyarnoy arifmetiki»* [Proc. of Anniversary Intern. Sci. and Techn. Conf. «50 years of modular arithmetic»]. Moscow, 2015, pp. 268-273.
5. Knut D. *Iskusstvo programmirovaniya. Tom 2. Poluchislennyye algoritmy* (Programming art. Vol. 2. Semi-numerical algorithms). Moscow, Dialektika-Vilyams Publ., 2013. 832 p.
6. Kolesnykova T.O. 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 – Science and Transport Progress*, 2013, no. 6 (48), pp. 7-22. doi: 10.15802/stp2013/19835.
7. Chervyakov N.I. Lavrinenko I.N., Lavrinenko S.V., Mezentsseva O.S. Metody i algoritmy okrugleniya, masshtabirovaniya i deleniya chisel v modulyarnoy arifmetike [Methods and algorithms for rounding, scaling, and dividing numbers in modular arithmetic]. *Trudy yubileynoy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konfer-*

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

- entsii «50 let modulyarnoy arifmetiki» [Proc. of Anniversary Intern. Sci. and Technical Conf. «50 years of modular arithmetic»]. Moscow, 2015, pp. 291-310.
8. Chervyakov N.I. *Modulyarnyye parallelnyye vychislitelnyye struktury neyroprotsessornykh sistem* [Modular parallel computing structure of neuroprocessor systems]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2003. 288 p.
 9. Nesterenko Yu.V. *Teoriya chisel* [Number theory]. Moscow, Akademiya Publ., 2008. 272 p.
 10. Nesterova L.Yu., Feklistov S.V. Kitayskaya teorema ob ostatkakh v oblasti glavnykh idealov [Chinese remainder theorem in principal ideal]. *Molodoy uchenyy – Young Scientist*, 2014, no. 19, pp. 1-4.
 11. Pereslavitseva O.N. Rasparallelivanie algoritmov s primeneniym kitayskoy teoremy ob ostatkakh [Parallelization of the algorithms using the Chinese remainder theorem]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennyye i tekhnicheskkiye nauki* [Bulletin of Tambov University. Series: Natural and Technical Sciences], 2009, no. 4, pp. 779-781.
 12. Polisskiy Yu.D. Algoritm vypolneniya operatsii deleniya chisel na dva v sisteme ostatochnykh klassov [The algorithm of operation performing of dividing the number by two in the system of residual classes]. *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 16, pp. 68-72.
 13. Polisskiy Yu.D. Vypolneniye slozhnykh operatsiy v modulyarnykh vychislitelnykh strukturakh [Performing of complex operations in modular computing structures]. *Dopovidi XV mizhnarodnoi konferentsii z avtomatichnoho upravlinnia «Avtomatika-2008»* [Proc. of the XV Intern. Conference on Automatic Control «Automation-2008»]. National University «Odessa Maritime Academy», Odessa, 2008, Part I, pp. 444-446.
 14. Polisskiy Yu.D. O vypolnenii slozhnykh operatsiy v sisteme ostatochnykh klassov [On the implementation of complex operations in the residue number system]. *Elektronnoye modelirovaniye – Electronic Modeling*, 2006, vol. 28, no. 3, pp. 117-123.
 15. Polisskiy Yu.D. Pro odyin metod rozshyrennia diapazonu zobrazhennia chysel u systemi zalyshkovykh klasiv [A method for expanding the range of image numbers in the system of residual classes]. *Matematychni modeliuvannia – Mathematical Modelling*, 2007, no. 2, pp. 16-17.
 16. Chervyakov N.I., Averbukh V.M., Babenko M.G. Priblizhenny metod vypolneniya nemodulnykh operatsiy v sisteme ostatochnykh klassov [An approximate method for performing non-modular operations in the residue number system]. *Fundamentalnyye issledovaniya – Fundamental Research*, 2012, no. 6 (1), pp. 189-193.
 17. Chervyakov N.I. Metody, algoritmy i tekhnicheskaya realizatsiya osnovnykh problemnykh operatsiy, vypolnyayemykh v sisteme ostatochnykh klassov [Methods, algorithms and technical implementation of the basic problem operations performed in the system of remaining classes]. *Infokommunikatsionnyye tekhnologii – Information and Communication Technologies*, 2011, no. 4, pp. 4-12.
 18. Chervyakov N.I. Metody i printsipy postroyeniya modulyarnykh neyrokompyuterov [Methods and principles of construction of modular neural computers]. *Trudy yubileynoy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «50 let modulyarnoy arifmetiki»* [Proc. of Anniversary International Sci. and Technical Conf. «50 years of modular arithmetic»]. Moscow, 2005, pp. 232-242.
 19. Boateng K.O., Baagyere E.Y. A Smith-Waterman Algorithm Accelerator Based on Residue Number System. *International Journal of Electronics and Communication Engineering*, 2012, vol. 5, no. 1, pp. 99-112.
 20. Tomczak T. Hierarchical residue number systems with small moduli and simple converters. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 2011, vol. 21, issue 1, pp. 173-192. doi: 10.2478/v10006-011-0013-2
 21. Youssef M.I., Emam A.E., Abd Elghany M. Multi-Layer Data Encryption Using Residue Number System in DNA Sequence. *International Journal of Security and Its Applications*, 2012, vol. 6, no. 4, pp. 1-12.

Статья рекомендована к публикации д.физ.-мат.н., проф. С. А. Пичуговым (Украина); проф. О. Е. Потапом (Украина)

Поступила в редколлегию: 11.03.2016

Принята к печати: 08.06.2016

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 669.15

В. В. НЕТРЕБКО^{1*}

^{1*}Каф. «Оборудование и технология сварочного производства», Запорожский национальный технический университет, ул. Жуковского, 64, Запорожье, Украина, 69063, тел. +38 (050) 486 27 40, эл. почта olgavnp@mail.ru, ORCID 0000-0003-3283-0116

К ВОПРОСУ ОБРАЗОВАНИЯ КАРБИДОВ Fe_3C И Fe_7C_3 В ВЫСОКОХРОМИСТЫХ ЧУГУНАХ

Цель. В исследовании должен быть проведен анализ условий формирования, трансформации и систематизации карбидных фаз, образующихся в системе $Fe - C - Cr$. **Методика.** Пересчет содержания элементов из массовых процентов в атомарные проценты и наоборот осуществлялся по стандартной методике. Для выявления структурных составляющих и травления карбидов применяли травитель Марбле. Исследовали чугун 300X28H2 в литом состоянии без термической обработки и после изотермической выдержки при 1 050 °C в течение 4,5 часов с последующей нормализацией. **Результаты.** Изотермические диаграммы состояния системы $Fe - C - Cr$ не предусматривают существования карбида Fe_7C_3 , легированного хромом, однако имеются данные о существовании хромистых карбидов, содержащих 24–37,6 % Cr, что превышает его максимальную растворимость в цементите, но недостаточно для формирования Cr_7C_3 . Анализ содержания хрома и углерода в карбидных фазах, образующихся в высокохромистых чугунах, позволил обосновать образование карбида Fe_7C_3 , стабилизированного хромом. Оценка карбидной фазы по химическому составу в массовых процентах не позволяет достаточно точно определить основной карбидообразующий элемент. Показано, что по мере увеличения концентрации хрома в карбидах, массовое содержание углерода увеличивается. Определены области существования карбидов различного типа в зависимости от содержания в них углерода и хрома. Максимальное содержание хрома в карбиде $(Fe, Cr)_7C_3$ составляет 44,0 %. Выделение легированного цементита происходит на имеющихся карбидах Me_7C_3 или границах зерен, а при повышении скорости охлаждения – в объеме зерна. Этот процесс является термодинамически неизбежным, что связано со снижением растворимости углерода в феррите или аустените при температурах, когда диффузия хрома затруднена, а возможна только диффузия углерода. При больших концентрациях хрома формируется карбид Fe_7C_3 , который по мере диффузии хрома трансформируется в карбид Cr_7C_3 . **Научная новизна.** Автором построена модель слоистого строения карбидов, формирующихся из жидкой фазы в системе $Fe - C - Cr$. Предложена идентификация карбидной фазы, исходя из концентрации элементов в атомарных процентах. Построена модель изменения содержания углерода в карбидах различного типа в зависимости от концентрации хрома. **Практическая значимость.** Предложенная система классификации карбидов и модель их строения позволят оптимизировать составы чугунов и режимы термической обработки для разных условий эксплуатации.

Ключевые слова: чугун; легирование; карбиды железа; хромистые карбиды; структура; систематизация

Введение

Процессы образования карбидов в высокохромистых чугунах оказывают большое влияние на их износостойкость [3, 21, 23], а также на обрабатываемость резанием [13]. Тип и со-

став карбидов зависит от общего содержания хрома в чугуне, а так же от количества других карбидообразующих элементов [12, 22]. Влияние хрома на процессы образования карбидов железа изучены недостаточно.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Принято считать, что в высокохромистых чугунах, в зависимости от соотношения хрома и углерода, формируется карбиды Cr_{23}C_6 и Cr_7C_3 , а также цементит Fe_3C .

В настоящее время отсутствует единое мнение о растворимости хрома в цементите. Растворимость хрома в цементите, по мнению [5, 18] достигает 20 масс. %. Авторами [8] отмечается, что в цементите может растворяться до 18 % (ат.) Cr, что соответствует 21,18 масс. %.

В то же время в работе [2] отмечается, что при общем содержании хрома в чугуне до 9,5 % карбидная фаза представлена цементитом. При увеличении содержания хрома от 9,5 до 12,5 % ледебурит постепенно замещается аустенито-хромисто-карбидной эвтектикой, состоящей из карбидов $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$. При 12 % Cr в чугуне его содержание в аустените составляло около 7 %, в цементите – 18 %, а в хромистых карбидах – около 24 %. При увеличении общего содержания хрома до 29 % его содержание в карбидах увеличилось до 52 %.

Таким образом, возникает вопрос о том, что представляет собой фаза – «хромистые карбиды», содержащая 24 % хрома, находящаяся в фазовом равновесии с цементитом, содержащим 18 % хрома.

Многими исследователями [3–5, 19, 20, 23] принято, что в карбиде Cr_7C_3 растворяется 30–50 % Fe, а в Cr_{23}C_6 – до 35 % Fe, а факт существования карбида Fe_7C_3 , легированного хромом в системе Fe – C – Cr, не отмечается.

В работах [6, 8] отмечается факт практического и теоретического существования карбида Fe_7C_3 в системе Fe – C.

Учитывая то, что Fe и Cr образуют непрерывные ряды твердых растворов, утверждение о том, что в карбиде Cr_7C_3 растворяется 30–50 % Fe, вызывает сомнения. По данным [10, 11], максимальная растворимость железа в карбиде $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$ составляет 55 %.

Авторами [11] отмечается, что в системе Fe – C – Cr присутствовали карбиды $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$, в которых в равновесии с α -твердым раствором с 6,5 % Cr два атома хрома были замещены двумя атомами железа, а в равновесии с α -твердым раствором с 0,75 % Cr замещались четыре атома хрома. Карбидная фаза $\text{Cr}_5\text{Fe}_2\text{C}_3$ содержала 63,8 % Cr, 27,3 % Fe и 8,9 % C, а $\text{Cr}_3\text{Fe}_4\text{C}_3$ – 37,6 % Cr, 53,8 % Fe и 8,8 % C.

Таким образом, имеется противоречие, заключающееся в том, как идентифицировать фазу $\text{Cr}_3\text{Fe}_4\text{C}_3$. Исходя из содержания железа и хрома это карбид железа Fe_7C_3 , легированный хромом.

Авторами [8] была рассмотрена орторомбическая структура карбидов Fe_7C_3 и Cr_7C_3 , с элементарной ячейкой из 40 атомов, получившая экспериментальное подтверждение. Параметры решетки карбида Fe_7C_3 составили: a – 0,454; b – 0,689; c – 1,191 Å. Для карбида Cr_7C_3 : a – 0,453; b – 0,701; c – 1,214 Å. Установлено, что энергия образования Fe_7C_3 (+ 0,058 эВ/атом) является положительной величиной, незначительно меньшей, чем у Fe_3C (+ 0,07 эВ/атом). Для карбида Cr_7C_3 со структурой цементита энергия образования равна – 0,07 эВ/атом. Проведенные расчеты показали, что образование карбидов Cr_3C_2 , Cr_7C_3 и Cr_{23}C_6 (их энергии образования получены в пределах от –0,12 до –0,23 эВ/атом) являются более предпочтительными по сравнению с метастабильным Cr_3C . Таким образом, замещение атомов железа на атомы хрома снижает энергию образования карбидов железа до отрицательных величин, при этом образование $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$ является энергетически более выгодным при высоком содержании хрома, что объясняет трансформацию $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C} \rightarrow (\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3 \rightarrow \text{Cr}_7\text{C}_3$.

В связи с тем, что в работе [14] отмечается образование карбидных фаз, содержащих 31,3–36,9 % и 35,3–48,5 % Cr в чугунах без термической обработки с общим содержанием 11,5 % и 21,7 % Cr соответственно, трансформация карбидной фазы, рассмотренная авторами [8], не полностью характеризует этот процесс.

На основании вышеизложенного можно сделать заключение о том, что карбид Fe_7C_3 , легированный хромом, имеющий отрицательную энергию образования, находится в ряду трансформаций между $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$ и $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$. Полная трансформация карбидной фазы имеет вид $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C} \rightarrow (\text{Fe}, \text{Cr})_7\text{C}_3 \rightarrow (\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3 \rightarrow \text{Cr}_7\text{C}_3$.

Массовые отношения элементов в карбидах не позволяют однозначно идентифицировать карбидные фазы. Поэтому идентификацию карбидов необходимо производить исходя из того, какого элемента содержится более 50 ат. % от общего количества карбидообразующих металлов.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

До настоящего времени отсутствует полная систематизация карбидных фаз, формирующихся в системе Fe – C – Cr.

Цель

Цель работы заключалась в анализе условий формирования, трансформации и систематизации карбидных фаз, образующихся в системе Fe – C – Cr.

Методика

Исследовали карбиды, образующиеся в чугуне 300X28H2 в литом состоянии без термической обработки и после изотермической выдержки при 1 050 °C в течение 4,5 часов и последующей нормализации. Для выявления структурных составляющих и травления карбидов применяли травитель Марбле. Химический состав карбидов и металлической основы определяли на микроскопе РЕМ 106И в локальных точках.

Пересчет содержания элементов из масс. % в ат. % и наоборот осуществлялся по стандартной методике. Погрешность вычислений, за счет округлений атомных масс элементов, не превышала 0,3 %.

Количество атомов в элементарной решетке было принято по данным [1, 2, 7, 15, 17] и составило для карбидов Me_3C – 16, Me_7C_3 – 40, Me_{23}C_6 – 116 и Me_3C_2 – 20 атомов.

Результаты

Образование карбидной фазы в высокохромистых чугунах происходит в результате снижения растворимости углерода как в жидком, так и твердом состоянии. Углерод является регулятором количества карбидов, а содержание хрома (карбидообразующих элементов) определяет тип карбида и его морфологию. В системе Fe – C – Cr выделение карбидов из жидкой фазы наблюдается как в заэвтектических, так и доэвтектических чугунах. В этой системе происходят перитектические невариантные превращения: три в жидком состоянии и два в твердом.

При рассмотрении процессов формирования карбидов следует учитывать концентрацию элементов и диффузионные возможности атомов углерода и хрома при соответствующих

температурах; количество атомов, образующих элементарную кристаллическую решетку карбидов; а также переменную растворимости железа в карбидах хрома, зависящую от температуры [17].

Составы карбидов в ат. % и соответствующих масс. %, не содержащих растворенных металлов, а также при концентрации Cr 50 ат. % и максимальной растворимости Cr и Fe, с указанием количества атомов, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Составы карбидов в ат. % и масс. % с разной концентрацией хрома и железа

Table 1

Composition of carbides in at. % and mass % with different concentrations of chromium and iron

Тип карбида	Элемент / кол. атомов	Содержание	
		ат. %	масс. %
Fe_3C	C / 4a	25	6,69
	Fe / 12a	75	93,31
$(\text{Fe,Cr})_3\text{C}$ Cr–18 ат. %	C / 4a	25	6,79
	Cr	18	21,18
	Fe	57	72,03
Cr_3C	C / 4a	25	7,15
	Cr / 12a	75	92,85
Cr_7C_3	C / 12a	30	9,01
	Cr / 28a	70	90,99
Fe_7C_3	C / 3a	30	8,44
	Fe / 7a	70	91,56
$(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$ Fe–30 масс. %	C / 12a	30	8,82
	Cr / 19a	47,5	60,44
	Fe / 9a	22,5	30,75
$(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$ Fe–50 масс. %	C / 12a	30	8,71
	Cr / 14a	35	44,01
	Fe / 14a	35	47,27
$(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$ Fe–55 масс. %	C / 12a	30	8,69
	Cr / 13a	32,5	40,77
	Fe / 15a	37,5	50,53

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Окончание табл. 1

End of table 1

Тип карбида	Элемент / кол. атомов	Содержание	
		ат. %	масс. %
Cr_{23}C_6	C / 24a	20,68	5,68
	Cr / 92a	79,32	94,32
(Cr,Fe) $_{23}\text{C}_6$ Fe–35 масс. %	C / 24a	20,68	5,55
	Cr / 60a	51,74	60,07
	Fe / 32a	27,58	34,39
Cr_3C_2	C / 8a	40	13,34
	Cr / 12a	60	86,66
(Cr,Fe) $_3\text{C}_2$ Fe–15 масс. %	C / 8a	40	13,20
	Cr / 10a	50	71,45
	Fe / 2a	10	15,35

Анализ табл. 1 показывает, что замещение атомов основного карбидообразующего элемента атомами других металлов изменяет их массовое соотношение, что связано с различием в атомных весах этих элементов. При одинаковом количестве атомов железа и хрома (равноатомная концентрация) в карбиде Me_7C_3 содержание хрома меньше чем железа и составляет 44,01 и 47,27 масс. % соответственно. Следовательно, карбиды Me_7C_3 , содержащие до 44,0 масс. % Cr, идентифицируются как карбиды железа $(\text{Fe}, \text{Cr})_7\text{C}_3$, а содержащие хром свыше этого количества – как $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$.

Учитывая то, что карбидные фазы Cr_{23}C_6 – Mn_{23}C_6 и Cr_7C_3 – Mn_7C_3 изоморфны и образуют непрерывные ряды твердых растворов [17], а также близость параметров решеток карбидов Cr_7C_3 и Fe_7C_3 и свойства твердых растворов в системе Fe – Cr, можно предположить существование непрерывного ряда твердых растворов карбидов Fe_7C_3 – Cr_7C_3 с орторомбической решеткой.

При растворении железа в карбидах хрома содержание углерода в них снижается. Так, в карбиде Cr_7C_3 содержание углерода снижается с 9,01 масс. % до 8,44 при полном замещении хрома, а в карбиде Cr_{23}C_6 – с 5,68 масс. % до 5,55 при растворимости железа 35 масс. %. Таким образом, для образования карбидов, содержащих большое количество железа, требуются меньшие флуктуации углерода, что имеет большое значение при быстром охлаждении.

Быстрое охлаждение способствует формированию метастабильных структур, в том числе карбидов, которые при последующей термической обработке трансформируются в карбиды, обладающие меньшим уровнем свободной энергии.

Карбид Cr_{23}C_6 отличается низкой способностью к кристаллизации, поэтому при быстром охлаждении образуется карбид Cr_7C_3 [7]. Автором [1, 9] отмечается, что при быстром охлаждении образуется метастабильный карбид Cr_7C_3 , а при медленном – Cr_{23}C_6 , это свидетельствует о том, что координация атомов хрома и углерода в расплаве ближе к координации, существующей у карбида Cr_7C_3 , чем у Cr_{23}C_6 . С этим утверждением трудно согласиться, потому что для образования карбида Cr_7C_3 требуется соотношение Cr/C равное 2,33, а для Cr_{23}C_6 – 3,83. Таким образом, для образования Cr_7C_3 требуется меньшая флуктуация хрома, а учитывая тот факт, что карбид Cr_7C_3 может растворять железо в количествах больших, чем Cr_{23}C_6 образование карбида $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$, с учетом термодинамических факторов более вероятно и совсем не связано с координацией атомов в расплаве. Флуктуация углерода в данном случае не является определяющим фактором, потому что в жидком расплаве возможно образование свободного углерода.

По соотношению углерода к хрому карбиды располагаются в следующей последовательности: Me_7C_3 , Me_3C , и Me_{23}C_6 . В простых цифрах этот ряд составляет 2 – 3 – 4. Соответственно для образования Me_7C_3 требуется меньшая флуктуация карбидообразующего элемента, а для Me_{23}C_6 – максимальная.

Авторами [8] отмечается, что методами быстрой закалки получен метастабильный карбид Cr_3C со структурой цементита.

Химический состав и тип карбидов характерен для конкретного состава чугуна и зависит от многих факторов. Образование карбидов носит диффузионный характер. Поэтому химический состав и тип карбидов зависит от влияния термодинамических (скорость диффузии, степень структурной и химической близости исходной и образующейся фаз) и термодинамических факторов (отклонение от равновесия), на которые оказывают влияние легирующие элементы.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Изменение содержание углерода в карбидах в зависимости от содержания хрома представлено на рис. 1.

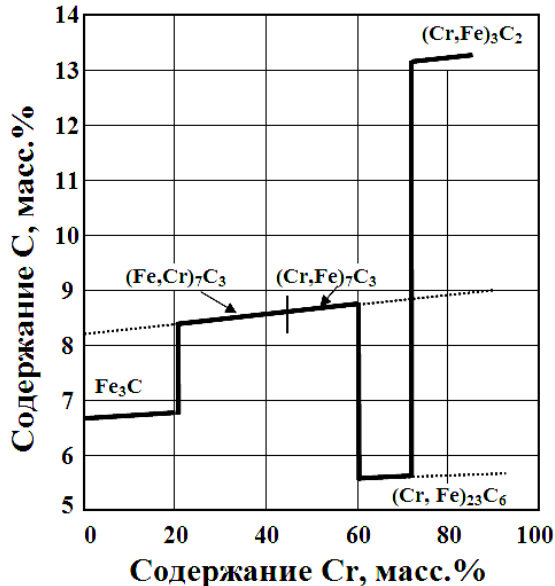


Рис. 1. Содержание углерода в карбидах в зависимости от типа карбида и концентрации хрома

Fig. 1. Carbon content in carbides depending on the carbide type and chromium concentration

На основании литературных данных и значений табл.1 построены области существования карбидов, образующихся в высокохромистых чугунах (рис. 2).

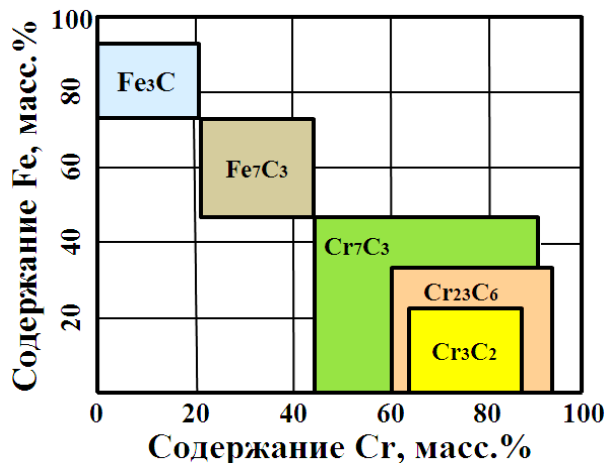


Рис. 2. Области существования карбидов в зависимости от содержания в них C, Fe и Cr

Fig. 2. Areas of carbide existence depending on C, Fe and Cr content in them

Для образования карбида Me_{23}C_6 требуется минимальная концентрация углерода, а для Me_3C_2 – максимальная. Поэтому карбид Me_{23}C_6 образуется в сплавах с низким содержанием углерода и большим содержанием хрома. Карбиды хрома имеют разную температуру растворения в твердом растворе. Автором [5] отмечается, что при нагреве на $1\,100\,^\circ\text{C}$ карбид Cr_{23}C_6 полностью растворяется, тогда как Cr_7C_3 сохраняется и является единственным нерастворимым карбидом. Карбиды Me_3C растворяются при нагреве выше температуры $\alpha - \gamma$ превращения или при повышении растворимости углерода в α -фазе.

В сплавах Fe – C – Cr [11], содержащих до 1 % C, из жидкой фазы преимущественно выделяются карбиды Me_{23}C_6 , а выделение карбидов Me_7C_3 и Me_3C наблюдается из твердого раствора в процессе охлаждения. В сплаве с 1 % C выделение карбидов Me_7C_3 из расплава наблюдается при содержании хрома 10–20 % и более 30 %. В интервале концентраций хрома 20–25 % из расплава выделяются карбиды Cr_{23}C_6 , а при 25–30 % – кристаллы γ – и α – фазы. В сплавах, содержащих 2–4 % C и 13–25 % Cr, из жидкого расплава выделяются карбиды Cr_7C_3 , а при охлаждении из твердого раствора выделяются карбиды Me_{23}C_6 , Me_7C_3 и Me_3C . Следует отметить, что при содержании в чугуне 25 % Cr первоначально в расплаве формируются карбиды Cr_{23}C_6 , которые при охлаждении расплава трансформируются в карбиды Me_7C_3 по механизму перитектического превращения. При дальнейшем охлаждении из твердого раствора выделяются карбиды Me_{23}C_6 .

Это связано с тем, что при формировании карбида Me_7C_3 происходит значительное обеднение металлической основы углеродом и соотношение Cr/C повышается, что способствует формированию карбидов Cr_{23}C_6 .

По данным [9], образование Cr_3C_2 начинается при температурах $1\,150\text{--}1\,200\,^\circ\text{C}$ и идет через образование низших карбидов, при этом однофазный карбид образуется при $1\,500\text{--}1\,600\,^\circ\text{C}$. Таким образом, для образования Cr_3C_2 требуется большая флуктуация углерода и хрома, поэтому его образование возможно только в процессе изотермической выдержки при температурах, обеспечивающих большую диффузионную способность хрома.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

При рассмотрении процессов выделения и формирования карбидной фазы следует учитывать, что в процессе кристаллизации и охлаждения чугунов, карбидная фаза является ведущей, а металлическая основа формируется в зависимости от типа и количества образовавшихся карбидов, что связано со снижением свободной энергии системы. При этом температура и концентрация карбидообразующих элементов в металлической основе, из которой выделяются карбиды, так же определяет их тип и состав. То есть, в процессе образования карбидной фазы в первоначальный момент формируется один тип карбида, а затем вследствие обеднения металлической основы происходит образование карбидов другого химического состава и даже типа. Модель слоистых карбидов представлена на рис. 3.

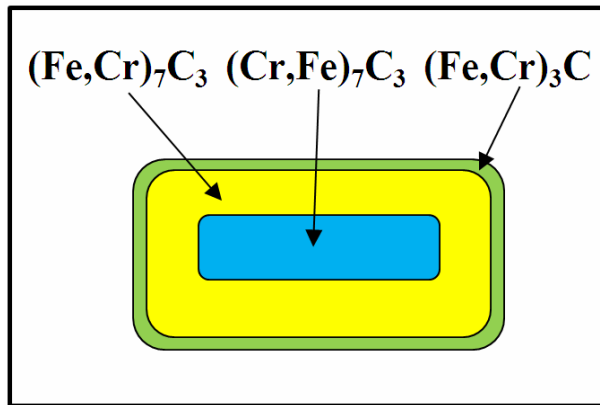
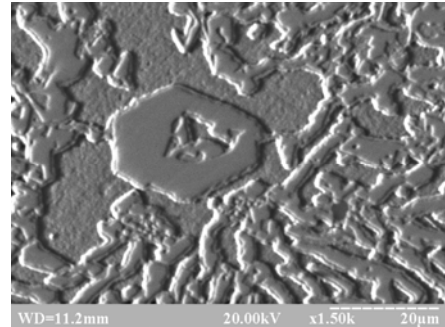


Рис. 3. Схема строения слоистого карбида

Fig. 3. Structural scheme of the laminated carbide

В чугунах, легированных Cr, Mn, Ni и Si, в процессе первичной кристаллизации образуются карбиды сложного состава, что связано с их формированием в жидкой фазе при высокой температуре и быстрым фронтом кристаллизации [2, 14]. В состав хромистых карбидов входят Mn, Ni и Si, которые в процессе охлаждения замещаются атомами хрома, обладающего большим сродством к углероду. Процесс замещения атомов металла в карбидах определяется не только сродством элемента к углероду, но и его концентрацией в сплаве [14]. В процессе изотермической выдержки при 1050 °С произошло образование равновесных фаз, что вызвало преобразование слоистых карбидов в монокарбиды (рис. 4).

a-a



б-б

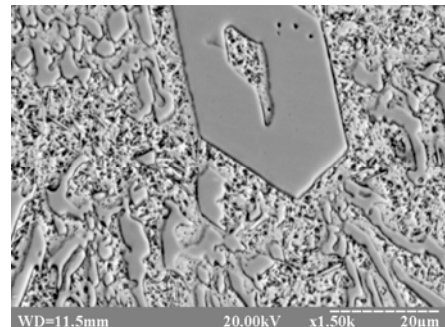


Рис. 4. Трансформация слоистого карбида в монокарбид $(Cr, Fe)_7C_3$ в чугуне 300X28H2:
а – слоистые карбиды; б – карбид $(Cr, Fe)_7C_3$ с участками аустенита

Fig. 4. Transformation of the laminated carbide into the monocarbide $(Cr, Fe)_7C_3$ in the cast iron 300X28H2:
a – laminated carbides; b – carbide $(Cr, Fe)_7C_3$ with austenite zones

В процессе травления поверхностные слои карбида с меньшим содержанием хрома растворялись (рис. 4, а). Это связано с тем, что карбид $(Fe, Cr)_3C$ не обладает достаточной химической стойкостью [15]. В процессе изотермической выдержки при 1050 °С в течение 4,5 часов и последующей нормализацией содержание хрома в поверхностных слоях карбида повысилось, что устранило травление карбида (рис. 4, б). Появление участков аустенита внутри карбида (рис. 4, б) подтверждает протекание трансформации карбида $(Fe, Cr)_7C_3$ в карбид $(Cr, Fe)_7C_3$ по механизму, описанному в [14]. Содержание хрома в центральных зонах карбида повысилось с 62,7 до 67,8 %. В матрице чугуна 300X28H2, в процессе нормализации наблюдалось выделение мелкодисперсных карбидов Fe_3C , содержащих 17,3–21,5 % Cr (рис. 4, б).

В процессе термической обработки система стремится к минимуму свободной энергии, что

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

вызывает замещение атомов слабых карбидообразующих элементов, на атомы элементов, обладающих большим сродством к углероду, что проявляется в изменении не только химического состава карбида, но и его типа.

Автором [2] отмечается, что цементит описывается как ромбически искаженный упорядоченный раствор углерода в γ -Fe, следовательно, для образования легированного цементита необходима только диффузия углерода. Поэтому при низких температурах, а также в условиях быстрого охлаждения, когда диффузионные процессы замедляются, и возможна только диффузия углерода, образуются карбиды Me_3C , содержащие атомы железа и других металлов в количествах, соответствующих их концентрации в металлической основе (аустените).

В чугунах 28Х32Н3Ф после аустенизации при 950 и 1050 °С и изотермической выдержки при 350 °С в течении 3 часов остаточный аустенит претерпевает распад на феррит, карбид хрома Cr_7C_3 и цементит Fe_3C [16].

Это подтверждает то, что в области температур, при которых происходит диффузия хрома, образуются карбиды хрома, а по мере снижения температуры, когда диффузия хрома затруднена или невозможна, образуются карбиды Fe_7C_3 или Fe_3C , легированные хромом.

Научная новизна и практическая значимость

Построена модель слоистого строения карбидов, формирующихся из жидкой фазы в системе Fe – C – Cr. Предложена идентификация карбидной фазы, исходя из концентрации элементов в атомарных процентах. Построена модель изменения содержания углерода в карбидах различного типа в зависимости от концентрации хрома.

Предложенная система классификации карбидов и модель их строения позволят оптимизировать составы чугунов и режимы термической обработки для разных условий эксплуатации.

Выводы

1. Идентификацию карбидов необходимо производить в атомарных процентах по содержанию основного карбидообразующего элемента.

2. В процессе первичного формирования карбидной фазы в системе Fe – C – Cr образуются слоистые карбиды, представляющие собой непрерывный ряд твердых растворов Fe_7C_3 – Cr_7C_3 .

3. Выделение легированного цементита происходит на имеющихся карбидах Me_7C_3 или границах зерен, а при повышении скорости охлаждения – в объеме зерна.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Влияние хрома на электронную структуру и магнитные свойства цементита / Н. И. Медведева, И. Р. Шеин, М. А. Коняева, А. Л. Ивановский // Физика металлов и металловедение. – 2008. – Т. 105, № 6. – С. 602–607.
2. Бунин, К. П. Основы металлографии чугуна / К. П. Бунин, Я. Н. Малиночка, Ю. Н. Таран. – Москва : Металлургия, 1969. – 416 с.
3. Воронков, Б. В. Комплексно-легированные белые износостойкие чугуны / Б. В. Воронков, В. М. Колокольцев, Е. В. Петроченко. – Челябинск : РЕКПОЛ, 2005. – 178 с.
4. Гарбер, М. Е. Износостойкие белые чугуны / М. Е. Гарбер. – Москва : Машиностроение, 2010. – 280 с.
5. Гудремон, Э. Специальные стали / Э. Гудремон. – Москва : Металлургия, 1966. – Т. 1. – 736 с.
6. Жуков, А. А. Псевдогексагональный карбид Fe_7C_3 и эвтектика Fe_3C - Fe_7C_3 в системе Fe-C / А. А. Жуков // Изв. Акад. наук СССР. Металлы. – 1973. – № 1. – С. 181–183.
7. Киффер, Р. Твердые материалы : [пер. с нем.] / Р. Киффер, Ф. Бенезовский. – Москва : Металлургия, 1968. – 384 с.
8. Коняева, М. А. Электронная структура, магнитные свойства и стабильность бинарных и тройных карбидов $(\text{Fe,Cr})_3\text{C}$ и $(\text{Fe,Cr})_7\text{C}_3$ / М. А. Коняева, Н. И. Медведева // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, вып. 10. – С. 1965–1969.
9. Косолапова, Т. Я. Карбиды / Т. Я. Косолапова. – Москва : Металлургия, 1968. – 300 с.
10. Лахтин, Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов / Ю. М. Лахтин. – Москва : Металлургия, 1983. – 360 с.
11. Металловедение и термическая обработка стали : справочник / Под ред. М. Л. Бернштейна, А. Г. Рахштадта. – Москва : Металлургиздат, 1961. – Т. 1. – 747 с.
12. Нетребко, В. В. Влияние марганца на структуру высокохромистых чугунов / В. В. Нетребко

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

- // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 42. – С. 167–169.
13. Нетребко, В. В. Влияние химического состава высокохромистых чугунов на обрабатываемость резанием / В. В. Нетребко // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 1 (61). – С. 122–130. doi: 10.15802/stp2016/61015.
 14. Нетребко, В. В. Особенности процессов образования карбидов и распределения Cr, Mn и Ni в белых чугунах / В. В. Нетребко // Литье и металлургия. – 2015. – № 3. – С. 40–46.
 15. Самсонов, Г. В. Твердые соединения тугоплавких металлов / Г. В. Самсонов. – Москва : Металлургиздат, 1957. – 388 с.
 16. Триботехнические свойства высокохромистых сплавов в литом и термообработанном состоянии / М. В. Киндрачук, В. З. Куцова, М. А. Ковзель [и др.] // Проблеми трибології. – 2012. – № 2. – С. 58–63.
 17. Холлек, Х. Двойные и тройные карбидные и нитридные системы переходных металлов : справочник / Х. Холлек. – Москва : Металлургия, 1988. – 319 с.
 18. Циммерман, Р. Металлургия и материаловедение : справочник / Р. Циммерман, К. Гюнтер. – Москва : Металлургия, 1982. – 480 с.
 19. Цыпин, И. И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства / И. И. Цыпин. – Москва : Металлургия, 1983. – 176 с.
 20. Чейлях, А. П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие технологии / А. П. Чейлях. – Харьков : ННЦ ХФТИ, 2003. – 212 с.
 21. Analysis of the Structure and Abrasive Wear Resistance of White Cast Iron With Precipitates of Carbides / D. Kopyciński, M. Kawalec, A. Szczęsny [et al.] // Archives of Metallurgy and Materials. – 2013. – Vol. 58. – Iss. 3. – P. 973–976. doi: 10.2478/amm-2013-0113.
 22. Belikov, S. Manganese influence on chromium distribution in high-chromium cast iron / S. Belikov, I. Volchok, V. Netrebko // Archives of Metallurgy and Materials. – 2013. – Vol. 58. – Iss. 3. – P. 895–897. doi: 10.2478/amm-2013-0095.
 23. Gierек, A. Zeliwo stopowe jako tworzywo konstrukcyjne / A. Gierек, L. Bajka. – Katowice : Slask, 1976. – 230 p.

В. В. НЕТРЕБКО^{1*}

^{1*}Каф. «Обладнання та технологія зварювального виробництва», Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, Україна, 69063, тел. +38 (050) 486 27 40, ел. пошта olgavvn@mail.ru, ORCID 0000-0003-3283-0116

ДО ПИТАННЯ УТВОРЕННЯ КАРБІДІВ Fe_7C_3 ТА Fe_7C_3 У ВИСОКОХРОМИСТИХ ЧАВУНАХ

Мета. У дослідженні повинен бути проведений аналіз умов формування, трансформації та систематизації карбідних фаз, що утворюються в системі Fe – C – Cr. **Методика.** Переведення вмісту елементів із масових відсотків у атомні відсотки та навпаки виконували за стандартною методикою. Для виявлення структурних складових та травлення карбідів застосовували розчин Марбле. Досліджували чавун 300X28H2 в стані литва без термічної обробки та після ізотермічної витримки при 1050 °C протягом 4,5 годин із наступною нормалізацією. **Результати.** Ізотермічні діаграми стану системи Fe – C – Cr не передбачають існування карбиду Fe_7C_3 , легованого хромом, але існують ствердження про існування хромистих карбідів, які містять 24...37,6 % хрому, що перевищує його максимальну розчинність у цементиті, але недостатньо для формування Cr_7C_3 . Аналіз вмісту хрому та вуглецю в карбідних фазах, які утворюються у високохромистих чавунах, дозволив довести утворення карбиду Fe_7C_3 , стабілізованого хромом. Оцінювання карбідної фази за хімічним складом у масових відсотках не дозволяє достатньо вірно визначити основний карбідоутворюючий елемент. Наведено, що при поступовому збільшенні концентрації хрому в карбідах масова частка вуглецю збільшується. Визначені межі існування карбідів різного типу в залежності від вмісту в них вуглецю та хрому. Максимальний вміст хрому в карбіді $(Fe, Cr)_7C_3$ складає 44,0 %. Утворення легованого цементиту відбувається на існуючих карбідах Me_7C_3 або межах зерен, а при збільшенні швидкості охолодження – в об'ємі зерен. Цей процес є термодинамічно невідворотним, що пов'язано зі зниженням розчинності вуглецю у фериті або аустеніті при температурі, коли можлива лише дифузія вуглецю, а дифузія хрому майже відсутня. При великих концентраціях хрому формується карбід Fe_7C_3 , який завдяки дифузії хрому трансформується у карбід Cr_7C_3 . **Наукова новизна.** Автором побудована модель пошарової структури карбідів, які утворюються з рідини в системі Fe – C – Cr. Запропонована ідентифікація карбідної фази, виходячи з концентрації елементів у атомних відсотках. Побудована модель

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

зміни вмісту вуглецю в карбідах різного типу в залежності від концентрації хрому. **Практична значимість.** Запропонована система класифікації карбідів та модель їх будови дозволить оптимізувати склад чавунів та режими термічної обробки для різних умов експлуатації.

Ключові слова: чавун; легування; карбіди заліза; хромисті карбіди; побудова; систематизація

V. V. NETREBKO^{1*}

^{1*} Dep. «Equipment and Technology of Welding Production», Zaporizhzhia National Technical University, Zhukovskiy St., 64, Zaporizhzhia, Ukraine, 69063, tel. +38 (050) 486 27 40, e-mail olgavvn@mail.ru, ORCID 0000-0003-3283-0116

ABOUT THE ISSUE OF CARBIDES Fe_3C AND Fe_7C_3 FORMATION IN HIGH-CHROMIUM CAST IRONS

Purpose. This article analyzes the formation conditions, transformation and systematization of carbide phases formed in the system $\text{Fe} - \text{C} - \text{Cr}$. **Methodology.** Conversion of the elements' content from mass % into atomic % and vice versa was carried out using standard methods. In order to identify the structural components and etching of carbides the Marble etchant was applied. Cast iron 300X28H2 in cast state without heat treatment and after isothermal holding at 1050 °C during 4.5 hours with further normalization was studied. **Findings.** Isothermal state diagrams of the $\text{Fe}-\text{C}-\text{Cr}$ system don't take into account the existence of Fe_7C_3 carbide alloyed with chromium. But there is evidence of the existence of chromic carbides containing 24...37.6 % of chromium, which exceeds its maximum solubility in cementite, but is not enough to form Cr_7C_3 . Analysis of chromium and carbon content in carbide phases which are formed in high-chromium cast irons allowed to substantiate the formation of Fe_7C_3 carbide, stabilized with chromium. Assessment of the carbide phase by chemical composition in mass percent doesn't allow determining the main carbide-forming element with sufficient accuracy. It is shown that with the increase of chromium concentration in carbides, mass content of carbon increases. Areas of existence of carbides of different types depending on carbon and chromium content in them were determined. Maximum content of chromium in the carbide $(\text{Fe}, \text{Cr})_7\text{C}_3$ is 44.0 %. Allocation of alloyed cementite occurs on the present carbides Me_7C_3 or grain boundaries, and with the increase of cooling rate – in the grain volume. This process is thermodynamically inevitable due to the decrease of carbon solubility in ferrite or austenite at temperatures when chromium diffusion is impeded, and only carbon diffusion is possible. At high chromium concentrations carbide Fe_7C_3 is formed, which transforms into Cr_7C_3 carbide as chromium diffusion takes place. **Originality.** The model of laminated structure of carbides, formed out of the liquid phase in the system $\text{Fe}-\text{C}-\text{Cr}$ was built. The identification of the carbide phase based on the elements' concentration in atomic percent was suggested. The model of the change of carbon content in carbides of different types depending on chromium concentration was built. **Practical value.** The suggested system of carbide classification and their structural model allows optimizing the cast irons' composition and heat treatment modes for different exploitation conditions.

Key words: cast iron; alloying; carbides of iron; chromic carbides; structure; systematization

REFERENCES

1. Medvedeva N.I., Shein I.R., Konyayeva M.A., Ivanovskiy A.L. Vliyaniye khroma na elektronnyuyu strukturu i magnitnyye svoystva tsementita [Chromium influence on the electronic structure and magnetic properties of cementite]. *Fizika metallov i metallovedeniye – Physics of Metals and Metal Science*, 2008, vol. 105, no. 6, pp. 602-607.
2. Bunin K.P., Malinochka Ya.N., Taran Yu.N. *Osnovy metallografii chuguna* [Foundations of cast iron metallography]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1969. 416 p.
3. Voronkov B.V., Kolokoltsev V.M., Petrochenko Ye.V. *Kompleksno-legirovannyye belyye iznosostoykiye chuguny* [Complex-alloyed white wear resistant cast irons]. Chelyabinsk, REKPOL Publ., 2005. 178 p.
4. Garber M.Ye. *Iznosostoykiye belyye chuguny* [Wear resistant white cast irons]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2010. 280 p.
5. Gudremon E. *Spetsialnyye stali. T. 1* [Special steels. Vol. 1]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1966. 736 p.
6. Zhukov A.A. Psevdogeksagonalnyy karbid Fe_7C_3 i evtektika $\text{Fe}_3\text{C}-\text{Fe}_7\text{C}_3$ v sisteme $\text{Fe}-\text{C}$ [Pseudo hexagonal carbide and eutectic $\text{Fe}_3\text{C}-\text{Fe}_7\text{C}_3$ in the $\text{Fe}-\text{C}$ system]. *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Metally – Bulletin of the USSR Science Academy. Metals*, 1973, no. 1, pp. 181-183.
7. Kiffer R., Benozovskiy F. *Tverdyye materialy* [Solid materials.]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1984. 384 p.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

8. Konyaeva M.A., Medvedeva N.I. Elektronnaya struktura, magnitnyye svoystva i stabilnost binarnykh i troynnykh karbidov (Fe,Cr)₃C i (Fe,Cr)₇C₃ [Electronic structure, magnetic properties and the stability of binary and triple carbides]. *Fizika tverdogo tela – Physics of the Solid Body*, 2009, vol. 51, issue 10, pp. 1965-1969.
9. Kosolapova T.Ya. *Karbidy* [Carbides]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1968. 300 p.
10. Lakhtin Yu.M. *Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov* [Metal science and heat treatment of metals]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1983. 360 p.
11. Bernshteyn M.L., Rakhshadt A.G. *Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka stali. Spravochnik. T.1* [Metal science and heat treatment of steel. Reference book. Vol. 1]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1961. 747 p.
12. Netrebko V.V. Vliyaniye margantsa na strukturu vysokokhromistykh chugunov [The influence of manganese for structure of high-chromium white cast iron]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 167-169.
13. Netrebko V.V. Vliyaniye khimicheskogo sostava vysokokhromistykh chugunov na obrabatyvayemost rezaniyem [The influence of chemical composition of high-chromium cast irons on the machinability]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2016, no. 1, pp. 122-130. doi: 10.15802/stp2016/61015.
14. Netrebko V.V. Osobennosti protsessov obrazovaniya karbidov i raspredeleniya Cr, Mn i Ni v belykh chugunakh [Peculiarities of carbide formation and distribution of Cr, Mn and Ni in white cast irons]. *Litye i metallurgiya – Foundry and Metallurgy*, 2015, no. 3, pp. 40-46.
15. Samsonov G.V. *Tverdyye soyedineniya tugoplavkikh metallov* [Solid compounds of infusible metals]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1957. 388 p.
16. Kindrachuk M.V., Kutsova V.Z., Kovzel M.A., Grebeneva A.V., Danilov A.P., Khlevna Yu.L. Tribotekhnicheskiye svoystva vysokokhromistykh splavov v litom i termoobrabotannom sostoyanii [Tribological properties of high-chromium alloys in cast and heat treated condition]. *Problemy trybolohii – Tribology Problems*, 2012, no. 2, pp. 58-63.
17. Khollek Kh. Dvoynnye i troynnye karbidnyye i nitridnyye sistemy perekhodnykh metallov [Double and triple carbide and nitride systems of transitive metals]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1988. 319 p.
18. Tsimmerman R., Gyunter K. *Metallurgiya i materialovedeniye* [Metallurgy and material science]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1982. 480 p.
19. Tsypin I.I. *Belye iznosostoykiye chuguny. Struktura i svoystva* [White wear resistant cast irons. Structure and properties]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1983. 176 p.
20. Cheylyakh A.P. *Ekonomnolegirovannyye metastabilnyye splavy i uprochnyayushchiye tekhnologii* [Economically alloyed metastable alloys and reinforcement technologies]. Kharkov, Natsionalnyy nauchnyy tsentr. Kharkovskiy fiziko-tekhnicheskyy institut Publ., 2003. 212 p.
21. Kopyciński D., Kawalec M., Szczęsny A., Gilewski R., Piasny S. Analysis of the Structure and Abrasive Wear Resistance of White Cast Iron With Precipitates of Carbides. *Archives of Metallurgy and Materials*, 2013, vol. 58, issue 3, pp. 973-976. doi: 10.2478/amm-2013-0113.
22. Belikov S., Volchok I., Netrebko V. Manganese influence on chromium distribution in high-chromium cast iron. *Archives of Metallurgy and Materials*, 2013, vol. 58, issue 3, pp. 895-897. doi: 10.2478/amm-2013-0095.
23. Gierak A., Bajka L. *Zeliwo stopowe jako tworzywo konstrukcyjne* [Cast iron alloy as a structural material]. Katowice, Slask Publ., 1976. 230 p.

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

Поступила в редколлегию: 03.02.2016

Принята к печати: 28.05.2016

УДК 629.463.66.018»401.4»

В. Г. АНОФРИЕВ¹, А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР², В. А. КАЛАШНИК^{3*}, В. П. КУЛЕШОВ⁴

¹Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 793 19 16, эл. почта anofrievvg@mail.ru, ORCID 0000-0002-0622-9231

²Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. /факс +38 (056) 793 19 16, эл. почта reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180

³Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 793 19 16, эл. почта kv47@i.ua, ORCID 0000-0002-8073-4631

⁴Каф. «Тяговый подвижной состав железных дорог», Киевский государственный экономико-технологический университет транспорта, ул. Лукашевича, 19, Киев, Украина, 03049, тел. +38 (044) 591 51 39, эл. почта kulieshov.volodymyr@gmail.com, ORCID 0000-0002-8002-1519

К ВОПРОСУ ПРОДЛЕНИЯ ПОЛЕЗНОГО СРОКА СЛУЖБЫ ВАГОНОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ОКАТЫШЕЙ

Цель. Грузовой вагонный парк «Укрзалізниці» имеет в основном вагоны с превышением установленного нормативного срока службы. Такая же ситуация наблюдается и в парке специализированных вагонов. Так, парк вагонов для перевозки окатышей имеет около 50 % вагонов, отслуживших полуторный и более срок эксплуатации. Вместе с тем, объем перевозок железорудного сырья постоянен в течение ряда лет. В связи с этим возникает необходимость в поиске методов обоснования возможности продолжения полезной эксплуатации вагонов и оценки соответствия остаточного ресурса конструкции кузовов вагонов эксплуатационным нагрузкам в течение продленного срока использования. **Методика.** При отборе вагонов для испытаний выполнялось техническое диагностирование состояния вагонов с целью выявления уровня коррозионных и механических повреждений. Для оценки возможности дальнейшей эксплуатации вагонов проводилось экспериментальное определение уровня нагруженности и напряженного состояния несущих конструкций кузовов вагонов на основе статических, ударных на прочность и ресурсных испытаний. При ресурсных испытаниях вагоны должны выдерживать соударения с продольными усилиями до 3,5 МН, общее количество которых эквивалентно заданному сроку службы. **Результаты.** Диагностирование вагонов до испытаний показало, что техническое состояние вагонов для перевозки окатышей, в целом, находится в удовлетворительном состоянии. Проведенные статические и ударные испытания на прочность с последующей оценкой прочности элементов конструкции вагонов показали, что она обеспечивается согласно нормативных документов, и такие вагоны не несут угрозы безопасности движения. Ударные ресурсные испытания показали, что все вагоны прошли эти испытания без повреждений, которые бы препятствовали их проведению и не могли быть устранены при плановых видах ремонта. Вагоны имели наработку на ресурс, которая позволяет продлить их полезную эксплуатацию после полуторного срока службы. **Научная новизна.** Авторами получена оценка остаточного ресурса кузовов вагонов для перевозки окатышей, отработавших назначенный полуторный срок службы. **Практическая значимость.** Проведенные экспериментальные исследования подтверждают возможность обоснованного продления срока службы вагонов после полуторного срока их эксплуатации. Результаты работы могут быть использованы при продлении срока службы вагонов для перевозки окатышей. Часть вагонного парка, которая должна была списываться в связи с истечением назначенного полуторного срока эксплуатации, без дополнительных мероприятий может продолжить срок службы.

Ключевые слова: вагон для перевозки окатышей; срок эксплуатации; прочность конструкции; соответствие; статические испытания; ударные испытания; наработка на ресурс

Введение

Общий парк грузовых вагонов Украины на начало 2016 г. насчитывает более 170 тыс. вагонов, большую часть которого составляют

универсальные вагоны. Структура парка грузовых вагонов по типам в процентах приведена на рис. 1: здесь категории 1–4 обозначают универсальные вагоны (72 %), категории 5–9 – специализированные (28 %).

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

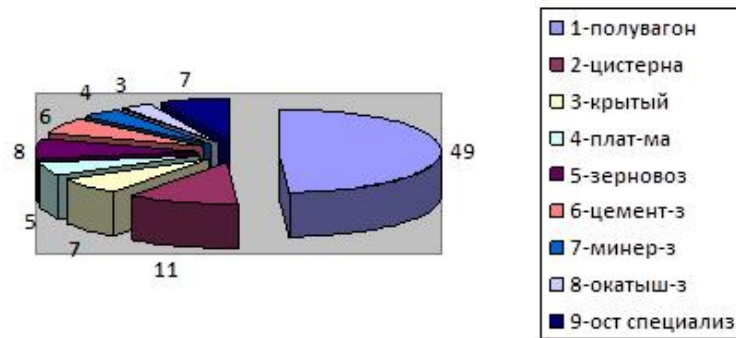


Рис. 1. Структура парка грузовых вагонов по типам

Fig. 1. Structure of freight cars fleet by types

При этом инвентарный парк УЗ составляет около 63 %, частный парк вагонов – 37 %. Последний принадлежит преимущественно крупным металлургическим, горнодобывающим и железнодорожным операторским компаниям. Важную роль в структуре вагонного парка играют специализированные вагоны, которые отвечают требованиям относительной малозатратности грузовых операций и сохранности перевозимого груза. Увеличение порожних пробегов компенсируется за счет сокращения подготовительных операций. Из диаграммы (рис. 1) видно, что доля специализированных вагонов в парке по типам составляет от 3 до 8 %.

Среди всех типов специализированных вагонов выделяется вагон для перевозки окатышей. И хотя в количественном отношении это лишь 3 % от общего парка вагонов, что составляет чуть более 5 000 единиц, ввиду специфичности груза таким вагонам замены нет. Кроме того, в таких вагонах возможна перевозка достаточно большой гаммы сыпучих грузов, что приводит к уменьшению порожнего пробега.

В конструктивном отношении это вагон, который имеет высокую прочность каркаса кузова и плавающую обшивку. Изначально вагон проектировался на грузоподъемность 63 т, затем грузоподъемность поэтапно повышалась до 70 т. Причем это достигалось путем ввода в каркас боковой стены дополнительных раскосов без изменения конструктивной схемы вагона. Обоснование такого подхода путем расчетных и экспериментальных исследований выполнено ДНУЖТ [7], [14]. Это позволяет производить модернизацию вагонов с мини-

мизацией расходов. Одновременно ужесточение каркаса боковой стены ведет к общему повышению прочности кузова – соответственно ожидаемо и увеличение срока службы таких вагонов.

В данной статье рассматриваются вопросы возможности эксплуатации вагонов для перевозки окатышей, отслуживших полуторный и более срок службы. С целью детального исследования весь парк вагонов (по состоянию на 01.01.2016 г.) был разбит на диапазоны сроков эксплуатации отдельно для частных собственников и УЗ. На рис. 2 представлена диаграмма распределения вагонов по срокам эксплуатации.

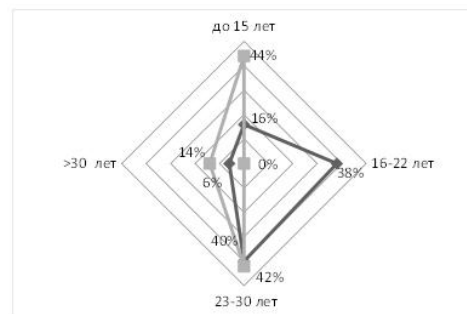


Рис. 2. Состояние парка окатышевозов по срокам эксплуатации

Fig. 2. State Park of pellet cars upon operating terms

На диаграмме светлым цветом отображены вагоны парка частных владельцев, темным – УЗ. Видно, что парк частных включает в себя две большие группы: вагоны до 15 лет (44 %), 23–30 лет (42 %) и некоторую часть свыше 30 лет (14 %) эксплуатации. Парк окатышевозов

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УЗ имеет небольшую часть вагонов до 15 лет (16 %), примерно поровну вагонов со сроком эксплуатации 16–22 лет (38 %), 23–30 лет (40 %) и незначительную часть свыше 30 лет (6 %). Однако вагоны свыше полуторного срока службы составляют около 50 % для всех видов собственников (56 % частный парк и 46 % УЗ соответственно).

Потому из вышеназванных объективных причин возникает необходимость продления срока службы вагонов, которые исчерпали свой установленный ресурс. Это дает возможность замедлить рост дефицита вагонов с помощью обоснованного продления их срока службы.

Цель

Возможность продления срока службы несущих конструкций вагонов должна быть обоснована методами, которые включают в себя: обследование их технического состояния; теоретическое и экспериментальное определение уровня нагруженности и напряженного состояния элементов конструкции, оценка остаточного ресурса (определение величины продленного срока эксплуатации) путем экспериментальных ресурсных испытаний.

Вопросы продления срока службы подвижного состава в целом и для специализированных вагонов рассматривались в работах [1], [2], [5], [11], [13], [15] соответственно. В [1] изложена методика выявления типовых неисправностей и величин коррозионных повреждений. В работах [2], [5] излагается методика расчетов напряженного состояния и экспериментальных испытаний по определению уровня напряжений, которые создаются в условиях эксплуатации в несущих конструкциях. Математическое моделирование продольных усилий, действующих при соударении и оценка напряженного состояния грузовых вагонов в эксплуатации предложены в [16], [17]. В работе [11] устанавливается срок службы на основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований хоппера-дозатора. В работе [13] производилась оценка ресурса модернизированной платформы для перевозки контейнеров по результатам экспериментальных испытаний. А работа [15] содержит оценку состояния работ и перспективы по продлению срока службы подвижного состава.

На основании анализа выше указанных работ и в соответствии с возможностями (исследования выполнялись в инициативном порядке без стороннего финансирования) был принят следующий вариант.

На основании результатов испытаний определялся не остаточный ресурс вагонов для перевозки окатышей, а вообще возможно ли продление жизненного цикла после полуторного и двойного срока эксплуатации. Для этого в качестве критерия выбрана возможность продления службы на 3 года после полуторного срока и 2 года после двойного.

Техническое диагностирование вагонов для перевозки окатышей показало, что их большое количество остается еще в удовлетворительном техническом состоянии. В связи с этим в 2011 году испытательной лабораторией вагонов Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (ДНУЖТ) выполнен комплекс натурных испытаний вагонов для перевозки окатышей. Испытания проводились с целью оценки возможности продления срока полезной эксплуатации вагонов свыше полуторного. Работа была выполнена в инициативном порядке: «Укрспецвагоном» выделены объекты для исследований, а университетом на опытном полигоне Приднепровская ж.д. – ДНУЖТ проведены комплексные испытания.

В рамках работы проведены следующие виды испытаний: статические на прочность, ударные на прочность (определятельные) и ударные ресурсные испытания вагонов на установленный срок.

Методика

Перед проведением испытаний случайным образом отбирались вагоны из рабочего парка, которые отработали назначенный срок службы и прошли плановые виды ремонта. В качестве опытных вагонов было отобрано два вагона: 1983 г. и 1988 г. постройки, что соответствует 28,5 и 22,5 годам эксплуатации (далее по тексту 30 и 25 лет). Перед началом испытаний проводилось техническое диагностирование состояния вагонов с целью выявления уровня коррозионных и механических повреждений с замерами толщины элементов.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Для оценки возможности дальнейшей эксплуатации вагонов использовались следующие критерии: суммарные напряжения от вертикальных статических нагрузок и от продольных сил не должны превышать допускаемых, вагоны должны выдержать соударения с силами до 3,5 МН, общее количество которых эквивалентно заданному сроку службы. Соответствие вагонов заданным критериям проверялось путем испытаний, которые включали в себя: статические на прочность, ударные на прочность и ресурсные испытания. Все виды испытаний выполнялись согласно «Норм...»[8] и РД...[12].

Статические испытания на прочность выполнялись с целью определения напряжений в элементах вагонов с существующими толщинами элементов от веса груза. Вертикальное статическое нагружение на элементы кузова вагона осуществлялось посредством загрузки в вагон песка (рис. 3) на территории ГП «Укрспецвагон» (Украинский государственный центр по эксплуатации специализированных вагонов). Напряжения от собственного веса конструкции учитывались при определении суммарных напряжений путем введения коэффициента, который учитывает массу кузова. При осуществлении статических испытаний проводилась запись показаний приборов, регистрирующих напряжения в соответствующих сечениях конструкции кузова вагона.

Задачей ударных испытаний на прочность является определение напряжений в элементах кузова и рамы с существующими толщинами от действия детерминированных продольных сил в диапазоне 0,5–3,5 МН (50–350 т) [8, 12]

и оценка напряженно-деформированного состояния элементов конструкции вагона. При этом регистрировались значения напряжений в элементах конструкции вагона и значение усилий соударения.

Ударные ресурсные испытания выполнялись с целью расчета наработки несущих элементов кузова вагона на ударную выносливость от действия продольных усилий. Критерием соответствия является наработка на ресурс, а объем испытаний определяется равенством наработки вагона во время испытаний и в период эксплуатации.

Соударения вагонов происходили путем накатывания вагона-бойка с горки на испытываемый вагон, находящийся в голове подпорной стенки (рис. 4, где на дальнем плане видна бетонная упорная стенка с автосцепным устройством). Вагон, находящийся между головным вагоном и упорной стенкой играет двойную роль: уменьшает усилие удара в автосцепку упорной стенки и на этом вагоне также фиксируются сила соударения. Учет усилий соударения второго вагона позволяет сократить срок ресурсных испытаний. Испытания выполнялись со скоростями соударения от 3 до 13 км/ч [8, 12] с постепенным ступенчатым повышением скорости с шагом 1–2 км/час. Соударения осуществлялись сериями, которые соответствуют одному году эксплуатации. Условием завершения испытаний было получение необходимого объема экспериментальных данных или нарушения целостности конструкции вагона, которые угрожали бы безопасности дальнейшего проведения испытаний.



Рис. 3. Статические испытания

Fig. 3. Static tests

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ



Рис. 4. Расположение вагонов при ударных испытаниях

Fig. 4. Location of cars during impact tests

Все виды ударных испытаний проводились на опытном полигоне Приднепровская ж.д. – ДНУЖТ (ст. Илларионово Приднепровской ж.д.). Для этого на кузова вагонов были наклеены тензометрические датчики для определения напряжений, а серийные автосцепки были заменены на автосцепки-динамометры для определения усилий соударений.

Регистрация процессов осуществлялась путем их записи в память компьютера, а затем известными способами амплитуды деформаций переводились в усилия и напряжения.

По результатам математической обработки регистрируемых процессов (напряжения в элементах конструкции и усилия соударения) в каждом виде испытаний определялось следующее:

- по результатам статических испытаний определялись напряжения в элементах конструкции от веса груза и собственного веса кузова;

- на основании результатов ударных испытаний на прочность строились графики зависимости усилий соударения от скорости напряжений в элементах вагона от усилий соударения, находились напряжения в отдельных элементах кузова, проводилась оценка напряженного состояния конструкции кузова вагона по расчетным режимам [8];

- на основании результатов ресурсных испытаний производился расчет наработки на ресурс каждого вагона.

Результаты

Состояние конструкции кузовов вагонов после 25 и 30 лет службы мало отличалось и является типичным для таких вагонов. Уменьшение толщины основных несущих элементов (хребтовой, шкворневой, промежуточной поперечной балок) вследствие коррозии не превышало 10 %, отсутствовали трещины, деформации, обрывы стоек и прочее. Наибольшие коррозионные повреждения отмечены в элементах нижней обвязки (уменьшение толщины на 10 %) . Тогда как изменение толщин элементов несущих хребтовой и шкворневой балок незначительно (около 3 %).

Перечисленные повреждения могут быть устранены при плановом ремонте согласно инструкции ЦВ-0016 [2], ЦВ-0017 [1], ЦВ-0019 [5], ЦВ-0122 [7] – поэтому все выше перечисленные вагоны были приняты к испытаниям.

После обработки результатов статических испытаний на прочность получены напряжения в элементах конструкции вагонов 1983 и 1988 г.г. постройки. На основании выборки максимальных величин напряжений по основным несущим элементам конструкции кузова построена диаграмма их распределения по элементам.

На рис. 5 приняты следующие обозначения: ХБС – хребтовая балка посередине вагона, ШБ – шкворневая балка, НОС – нижняя обвязка посередине вагона, ВОС – верхняя обвязка посередине, ВОШ – верхняя обвязка у шкворневой стойки, Ш Ст – шкворневая стойка, НкП – наклонный пояс. Статические испытания на

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

прочность показали, что общий уровень статических напряжений в вагоне 1988 г. постройки примерно одинаков и конструкция, в целом, является равно напряженной. В вагоне 1983 г. постройки максимальные напряжения зафиксированы в верхней обвязке у шкворневой стойки – 115 МПа, в то время как в наклонном поясе не превысили 24 МПа. По остальным элементам уровень напряжений примерно одинаков с уровнем напряжений в конструкции вагона постройки 1988 г.

На основании результатов соударений вагонов на прочность проведена обработка записей динамических процессов и выполнена оценка прочности конструкции кузова.

На рис. 6 приведен фрагмент записи динамических процессов при соударении вагона 1983 г. постройки для двух характерных точек: в шкворневой стойке (линия 1) и нижней обвязки посередине вагона (линия 2).

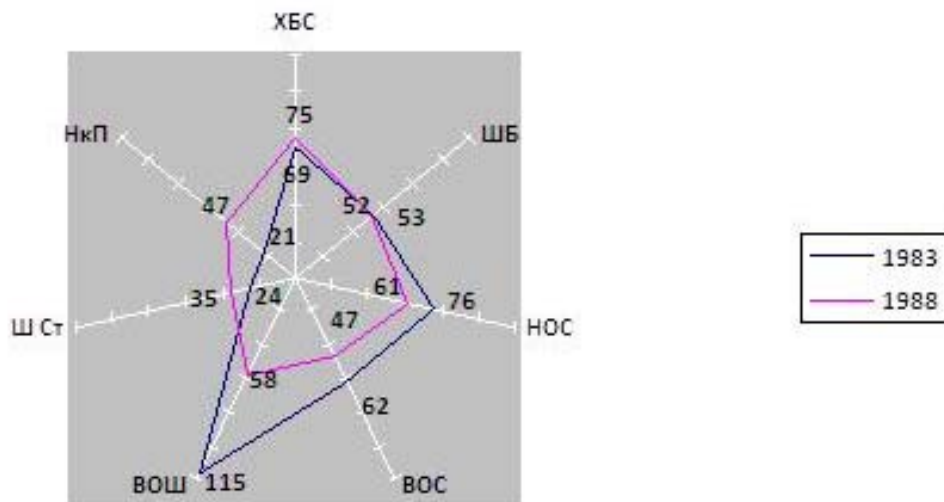


Рис. 5. Диаграмма распределения напряжений (в МПа) по элементам кузовов вагонов

Fig. 5. Stress distribution diagram (in MPa) upon the elements of the cars bodies



Рис. 6. Фрагмент записи динамических процессов при соударении

Fig. 6. A fragment of dynamic processes recording at the collision

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

По горизонтали – время соударения в секундах, по вертикали – величины напряжений в момент соударения в МПа (линии 1, 2) и усилие в автосцепке в МН (линия 3). Из записи видно, что при величине силы удара 148 т напряжения в шкворневой стойке у нижней обвязки составили 18,5 МПа, напряжения в нижней обвязке посередине вагона – 38 МПа. При повторном ударе через 0,473 сек с величиной 65 т (вследствие небольшого отката вагона от действия упруго-диссипативных сил) уровень напряжений значительно ниже – 20 МПа.

В процессе обработки результатов ударных испытаний на прочность получены значения усилий и зависимость от них напряжений в элементах конструкции (рис. 7).

На рисунке для примера приведен точечный график зависимости величины напряжений в хребтовой балке от усилия соударения. Между рассматриваемыми величинами существует линейная зависимость – напряжения растут с увеличением силы удара и достигают 122 МПа при силе 278 т. Такая же картина наблюдается во всех элементах вагонов.

На основании результатов обработки произведена оценка прочности кузовов вагонов по I и III расчетным режимам от действия квазистатических сил. Для удобства сравнительного анализа величины суммарных напряжений в элементах кузова сведены в диаграммы (рис. 8).

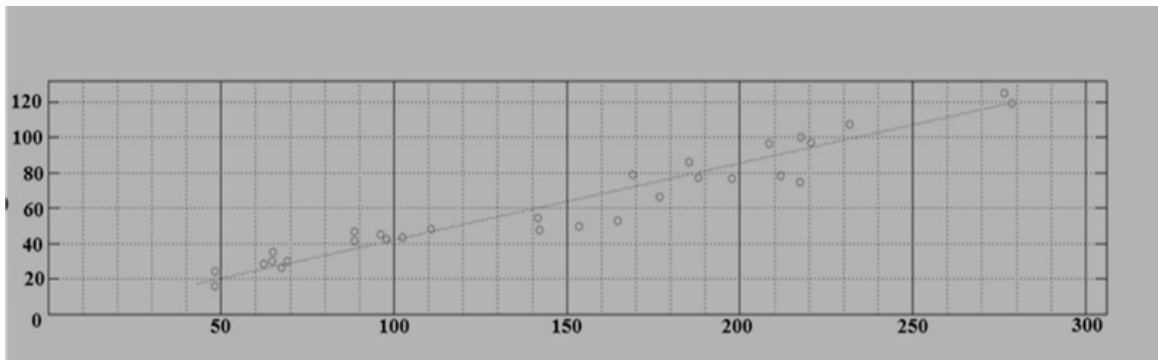
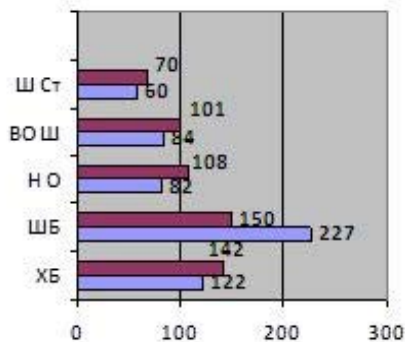


Рис. 7. Зависимость напряжений (по вертикали, МПа) в хребтовой балке от силы соударения (по горизонтали, т)

Fig. 7. Dependence of stresses (vertical MPa) in the center sill from collision forces (horizontal, m)

a-a



б-б

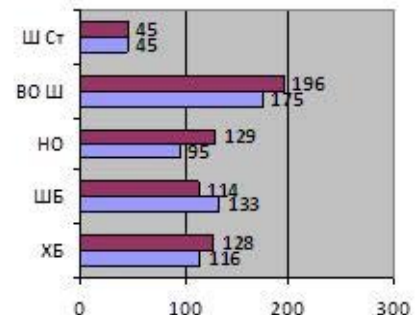


Рис. 8. Суммарные напряжения (по горизонтали, МПа) в элементах конструкции вагонов

Fig. 8. The total stresses (horizontal MPa) in the design elements of cars

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

На рис. 8, *а* приведена ілюстрація сумарних напружень в елементах вагона 1988 г., на рис. 8, *б* – вагона 1983 г. постройки. Уровень напружень в хребтовій балці (ХБ), нижній обвязке (Н О) і шкворневої стойке (Ш Ст.) в обох вагонах приблизно однаковий. Відличаються напруження в шкворневої балці (ШБ) по І режиму і в верхній обвязці у шкворневої стойки (ВО Ш) – по І і ІІІ режимам. Ню, в цілому, рівень напружень по обоим розрахунковим режимам не перевищує допустимих [8].

Крім того, для повноти картини, була произведена оцінка міцності конструкції обох вагонів при випробуваннях на спротивлення удару. При цьому сумарні напруження включали в себе напруження від вертикальної статическої навантаження і від продольної сили 3,5 МН (350 т) – ударної навантаження. Величини максимальних сумарних напружень приведені на гістограмі (рис. 9).

Из гістограми видно, що максимальні сумарні напруження з урахуванням ударних на-

вантажень в елементах конструкції не перевищують межі текучесті 305 МПа. І якщо в вагоні 1988 г. вони досягають в шкворневої балці 297 МПа, то в вагоні 1983 г. по всім елементам не перевищують 190 МПа. Таким образом, міцність кузовів обох вагонів від дії квазістатических і ударних навантажень згідно нормативним документам забезпечується.

В процесі ресурсних випробувань було виконано 2 117 соударень з продольними силами 0,5–3,8 МН для вагона 1988 г. і 1684 – для вагона 1983 г. постройки. При цьому пошкодження елементів кузова вагона не спостерігалося. По результатам ударних ресурсних випробувань весь діапазон продольних сил розподілявся на інтервали і для кожного з них виконувалася розрахунок наработки на ударну вивносність, а потім загальні наработки для кожного вагона. На рис. 10 приведено розподілення кількості соударень в кожному діапазоні зусиль (МН) для обох вагонів.

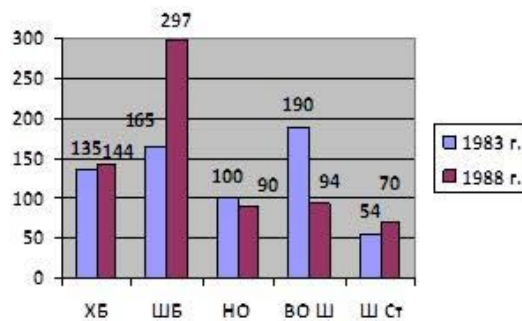


Рис. 9. Сумарні напруження (по вертикалі, МПа) при ударних навантаженнях

Fig. 9. The combined stresses (vertical MPa) at shock loads

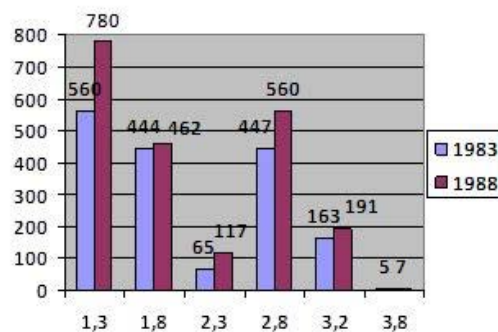


Рис. 10. Кількість соударень (по вертикалі) в діапазонах зусиль (по горизонталі, МН)

Fig. 10. The number of collisions (vertical) in the range of forces (horizontal MN)

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Гистограмма на рис. 10 отображает спектр усилий и количество соударений в каждом диапазоне спектра, выполненных в процессе ресурсных испытаний. Фактическое количество соударений приводилось к эквивалентной нагрузке, на основании которой определялась возможность продления срока службы вагона.

Научная новизна и практическая значимость

На основании результатов выполненных статических и ударных испытаний на прочность показано, что после 25 и 30 лет эксплуатации вагоны соответствуют требованиям нормативных документов по условиям прочности и безопасности движения. Проведенные ресурсные испытания показали, что из условий сопротивления усталости срок службы вагонов может быть продлен на следующие 2–3 года. Результаты работы могут быть использованы при продлении срока службы выше указанных вагонов. Настоящие исследования позволили без дополнительных мер продолжить срок эксплуатации вагонов.

Выводы

По результатам проведенных экспериментальных исследований установлено:

- суммарные напряжения по I и III расчетным режимам от квазистатических нагрузок в элементах конструкции кузова не превышают допускаемых;
- суммарные напряжения от ударных нагрузок с величиной продольного усилия до 3,5 МН не превышают предела текучести (305 МПа);
- оба вагона прошли ресурсные испытания без повреждений, которые бы препятствовали проведению испытаний и не могли бы быть устранены при проведении очередного планового вида ремонта;
- оба вагона имели наработку на ресурс, позволяющие продлить срок их полезной эксплуатации на последующие 2 года для вагона 1983 г. и 3 года – для 1988 г. постройки.

На основе проведенных исследований определено, что вагоны после полуторного и двойного срока эксплуатации с характерным уровнем коррозионных повреждений имеют наработку на ресурс, достаточную для их дальней-

шей эксплуатации на протяжении вышеуказанного срока. После исчерпания этого срока рекомендуется проведение ресурсных испытаний для оценки остаточного ресурса, который будет зависеть от условий эксплуатации и общего состояния вагонов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аналіз виникнення несправностей та зносу елементів шкворневої балки піввагону / В. Г. Анофрієв, О. А. Донєв, А. С. Мацюк, С. М. Оберняк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 41. – С. 7–10.
2. Бондарєв, О. М. Методика та дослідження з продовження терміну служби несучих конструкцій тягового рухомого складу для промислового транспорту / О. М. Бондарєв, В. Л. Горобець, С. В. Мямлін // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 2 (50). – С. 130–151. doi: 10.15802/stp2014/23790.
3. Вантажні вагони залізниць України колії 1520 (1524) мм. Правила з деповського ремонту : ЦВ–0017. – Київ : Укрзалізниця, 2008. – 126 с.
4. Вантажні вагони залізниць України колії 1520 мм. Правила капітального ремонту : ЦВ–0016. – Київ : Укрзалізниця, 2007. – 125 с.
5. Горобець, В. Л. Аналіз експлуатаційної наробки несучих конструкцій рухомого складу в задачах продовження терміну його експлуатації / В. Л. Горобець, О. М. Бондарєв, В. М. Скобленко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 35. – С. 10–16.
6. Інструкція по зварюванню та наплавленню при ремонті вантажних вагонів та контейнерів : ЦВ–0019. – Київ : Укрзалізниця, 2007. – 275 с.
7. Калашник, В. А. Результаты динамических (ходовых) испытаний вагонов для перевозки окатышей / В. А. Калашник // Вопросы улучшения техн. содержания и совершенствования ходовых частей : межвуз. сб. науч. тр. / Днепропетр. ин-т инженеров транспорта. – Днепропетровск, 1980. – Вип. 212/8. – С. 89–95.
8. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных), с изменениями и дополнениями (01.02.2000 г. и 01.03.2002 г.). – Москва : ГосНИИВ : ВНИИЖТ, 1996. – 354 с.
9. Положення про організацію ремонту та модернізації вантажних вагонів на вагоноремонтних підприємствах залізничного транс-

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- порту України : ЦВ–0122. – Київ : Укрзалізниця, 2008. – 27 с.
10. Правила виключення вантажних вагонів із інвентарного парку : ЦВ–0063 / М-во трансп. і зв'язку. – Київ : Март, 2005. – 40 с.
 11. Пигарев, Р. М. Особенности продления специального подвижного состава / Р. М. Пигарев, С. В. Борисов, А. В. Васильев // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты : тез. докл. VIII Междунар. науч.-техн. конф. / Петербург. гос. ун-т путей сообщ. – Санкт-Петербург, 2013. – С. 97.
 12. РД 24.050.37–95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. – Москва : ГОСНИИВ, 1995. – 101 с.
 13. Рейдемейстер, О. Г. Модернизация как способ улучшения использования универсальных вагонов / А. Г. Рейдемейстер, В. А. Калашник, А. А. Шикун // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 2 (62). – С. 148–156. doi: 10.15802/stp2016/67334.
 14. Савчук, О. М. Исследование прочности кузовов вагонов для перевозки окатышей / О. М. Савчук, В. А. Калашник // Совершенствование ремонта использования и конструирования вагонов : сб. тр. / Днепропетр. ин-т инженеров транспорта. – Днепропетровск, 1975. – Вып. 164/5. – С. 38–41.
 15. Третьяков, А. В. Продление сроков службы подвижного состава (история, текущее состояние, проблемы и перспективы) / А. В. Третьяков // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты : сб. науч. ст. / Петербург. гос. ун-т путей сообщ. – Санкт-Петербург, 2011. – Вып. 6. – С. 41–44.
 16. Mathematical model for determination of torsional stiffness of three axled wagons / N. Bogojevic, Z. Soskic, D. Petrovic, R. Rakanovic // Heavy machinery 2008 : Proc. of the Sixth Intern. Triennial Conf. (24.06–29.06.2008). – Kraljevo, 2008. – P. 45.
 17. Slavchev, S. Application of the methodology for evaluation of stress using numerical method / S. Slavchev, V. Stoilov // BullTrans-2011 : Proc. Conf. (27.09–30.09.2011). – Sozopol, 2011. – P. 65–69.

В. Г. АНОФРИЄВ¹, О. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР², В. О. КАЛАШНИК^{3*}, В. П. КУЛЄШОВ⁴

¹Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. /факс +38 (056) 793 19 16, ел. пошта anofrievvg@mail.ru, ORCID 0000-0002-0622-9231

²Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. /факс +38 (056) 793 19 16, ел. пошта reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180

³Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. /факс +38 (056) 793 19 16, ел. пошта kv47@i.ua, ORCID 0000-0002-8073-4631

⁴Каф. «Тяговий рухомий склад залізниць», Київський державний економічно-технологічний університет транспорту, вул. Лукашевича, 19, Київ, Україна, 03049, тел. +38 (044) 591 51 39, ел. пошта kulieshov.volodymyr@gmail.com, ORCID 0000-0002-8002-1519

ДО ПИТАННЯ ПРОДОВЖЕННЯ КОРИСНОГО ТЕРМІНУ СЛУЖБИ ВАГОНІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ОКАТИШІВ

Мета. Вантажний вагонний парк «Укрзалізниця» має в основному вагони з перевищенням встановленого нормативного терміну служби. Така ж ситуація спостерігається і в парку спеціалізованих вагонів. Так, парк вагонів для перевезення окатишів має близько 50 % вагонів, які відслужили полуторний і більше термін експлуатації. Разом з тим, обсяг перевезень залізничної сировини постійний протягом ряду років. У зв'язку з цим виникає необхідність пошуку методів обґрунтування можливості продовження корисної експлуатації вагонів та оцінки відповідності залишкового ресурсу конструкції кузовів вагонів експлуатаційним навантаженням протягом продовженого терміну використання. **Методика.** При відборі вагонів для випробувань виконувалося технічне діагностування стану вагонів із метою виявлення рівня корозійних і механічних пошкоджень. Для оцінки можливості подальшої експлуатації вагонів проводилося експериментальне визначення рівня навантаження та напруженого стану несучих конструкцій кузовів вагонів на основі статичних, ударних на міцність та ресурсних випробувань. При ресурсних випробуваннях вагони повинні витримувати зіткнення з позовжніми зусиллями до 3,5 МН, загальна кількість яких еквівалентна заданому терміну слу-

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

жби. **Результати.** Діагностування вагонів до випробувань показало, що технічний стан вагонів для перевезення окатишів, в цілому, знаходиться в задовільному стані. Проведені статичні та ударні випробування на міцність із подальшою оцінкою міцності елементів конструкції вагонів показали, що вона забезпечується відповідно до нормативних документів, і такі вагони не несуть загрози безпеці руху. Ударні ресурсні випробування показали, що всі вагони пройшли ці випробування без ушкоджень, які б перешкождали їх проведенню та не могли бути усунені при планових видах ремонту. Вагони мали напрацювання на ресурс, що дозволяє продовжити їх корисну експлуатацію після полуторного терміну служби. **Наукова новизна.** Авторами отримана оцінка залишкового ресурсу кузовів вагонів для перевезення окатишів, які відпрацювали призначений полуторний термін служби. **Практична значимість.** Проведені експериментальні дослідження підтверджують можливість обґрунтованого продовження терміну служби вагонів після полуторного терміну їх експлуатації. Результати роботи можуть бути використані при продовженні терміну служби вагонів для перевезення окатишів. Частина вагонного парку, яка повинна була списуватися у зв'язку з закінченням призначеного полуторного терміну експлуатації, без додаткових заходів може продовжити термін служби.

Ключові слова: вагон для перевезення окатишів; термін експлуатації; міцність конструкції; відповідність; статичні випробування; ударні випробування; напрацювання на ресурс

V. G. ANOFRIEV¹, O. H. REIDEMEISTER², V. A. KALASHNYK³, V. P. KULIESHOV⁴

¹Dep. «Cars and Cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lasaryan, Lasaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 16, e-mail anofrievvg@mail.ru, ORCID 0000-0002-0622-9231

²Dep. «Cars and Cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lasaryan, Lasaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 16, e-mail reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180

³Dep. «Cars and Cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lasaryan, Lasaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 16, e-mail kv47@i.ua, ORCID 0000-0002-8073-4631

⁴Dep. «Traction Rolling Stock of Railways», Kyiv State Economic and Technological Transport University, Lukashevich St., 19, Kyiv, Ukraine, 03049, tel. +38 (044) 591 51 39, e-mail kulieshov.volodymyr@gmail.com, ORCID 0000-0002-8002-1519

TO THE ISSUE OF EXTENDING THE SERVICE LIFE OF CARS FOR TRANSPORTATION OF PELLETS

Purpose. Freight rolling stock of «Ukrzaliznytsia» primarily has cars that are overaged. The same situation is observed in the park of specialized cars. So the car fleet for the transport of pellets consists of about 50% of cars that served one-and-a-half and more lifetimes. However, the volume of shipments of iron ore is constant for a number of years. In this regard, there is a need to find methods to justify continuing useful life of cars and to assess the conformity of residual life of the car body structure to operating load for an extended period of use. **Methodology.** When selecting the cars for the test their condition underwent technical diagnosis in order to identify the level of corrosion and mechanical damage. The next stages of the tests included the experimental determination of the loading level and the stress state of car body carcass based on strength and endurance tests and the evaluation of the possible values of the extended period of operation. **Findings.** Pre-test diagnosing of cars showed that the technical condition of cars for transportation of pellets, as a whole, is in satisfactory condition. Carried out static and impact strength tests with subsequent evaluation of strength of the car structural elements showed that the strength of the latter is provided in accordance with regulations and such cars do not threaten the traffic safety. Shock endurance tests have shown that all the cars have passed endurance tests with no damage that would impede testing and could not be removed during scheduled repairs. The cars had lifelength that allows prolong their useful life after one-and-a-half lifetime. **Originality.** The work presents the estimate of the residual life of bodies of pellet transportation cars, which spent one-and-a-half of the set lifetime. **Practical value.** The experimental results confirm the possibility of extending the service life of cars after one-and-a-half life of their lifetime. The results of the work can be used to extend the service life of cars for transportation of pellets. Part of the rolling stock, which had to be written off in connection with the expiration of the set one-and-a-half lifetime without additional measures can continue its lifetime.

Keywords: cars for transportation of pellets; lifetime; structural strength; conformity; static tests; impact tests; lifelength

REFERENCES

1. Anofriev V.G., Donev A.A., Matsuk A.S., Obernyak S.N. Analiz vynyknennia nespravnosti ta znosu elementiv shkvornevoi balky pivvahonu [Analyses of occurrence of malfunctions and deterioration of body bolster parts for gondola car]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 41, pp. 7-10.
2. Bondariyev O.M., Horobets V.L., Miamlin S.V. Metodyka ta doslidzhennia z prodovzhennia terminu sluzhby nesuchykh konstrukttsii tiahovoho rukhomoho skladu dlia promyslovoho transportu [Methods and research concerning service life extension of supporting structures of traction rolling stock for industrial transport]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2014, no. 2 (50), pp. 130-151. doi: 10.15802/stp2014/23790.
3. *Vantazhni vahony zaliznyts Ukrainy kolii 1520 (1524) mm. Pravyla z depovskoho remontu: TsV–0017* [Freight railroad cars of Ukraine, track 1520 (1524) mm. Terms of depot repair: TsV–0017]. Kyiv, Ukrzaliznytsia Publ., 2008. 126 p.
4. *Vantazhni vahony zaliznyts Ukrainy kolii 1520 mm. Pravyla kapitalnoho remontu: TsV–0016* [Freight railroad cars of Ukraine, track 1520 mm. Rules of overall repair]. Kyiv, Ukrzaliznytsia Publ., 2007. 125 p.
5. Horobets V.L., Bondariyev O.M., Skoblenko V.M. Analiz ekspluatatsiinoi narobky nesuchykh konstrukttsii rukhomoho skladu v zadachakh prodovzhennia terminu yoho ekspluatatsii [Operational life of the rolling stock supporting structures analysis in the tasks of its terms prolongation]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 35, pp. 10-16.
6. *Instruktsiia po zvariuvanniu ta naplavlenniu pry remonti vantazhnykh vahoniv ta konteineriv: TsV–0019* [Instructions for welding and surfacing at the repair of freight cars and containers: TsV–0019]. Kyiv, Ukrzaliznytsia Publ., 2007. 275 p.
7. Kalashnik V.A. Rezultaty dinamicheskikh (khodovykh) ispytaniy vagonov dlya perevozki okatyshey [The results of dynamic (running) tests of cars for transportation of pellets]. *Voprosy uluchsheniya tekhnicheskogo soderzhaniya i sovershenstvovaniya khodovykh chastey* [Improving the technical maintenance and updating the running gears], 1980, issue 212/8, pp. 89-95.
8. Normy dlya rascheta i proyektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh), s izmeneniyami i dopolneniyami (01.02.2000 g. i 01.03.2002 g.) [The rules for the calculation and design of cars MPS, track 1520 mm (unpowered)]. Moscow, SRICB: ARRIRT Publ., 1996. 354 p.
9. Polozhennia pro orhanizatsiiu remontu ta modernizatsii vantazhnykh vahoniv na vahonoremontnykh pidpriemstvakh zaliznychnoho transportu Ukrainy: TsV–0122 [Provisions on the organization of repair and modernization of freight cars at the car-repair enterprises of railway transport of Ukraine: TsV–0122]. Kyiv, Ukrzaliznytsia Publ., 2008. 27 p.
10. *Pravyla vykliuchennia vantazhnykh vahoniv iz inventarnoho parku: TsV–0063* [Elimination rule of freight cars from the inventory fleet]. Kyiv, Mart Publ., 2005. 40 p.
11. Pigarev R.M., Borisov S.V., Vasilev A.V. Osobennosti prodleniya spetsialnogo podvizhnogo sostava [Features of extension of the special rolling stock]. *Tezisy dokladov VIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proekty»* [Proc. of VIIIth Intern. Sci. and Technological Conf. «Rolling Stock of XXI century: ideas, requirements, and projects»]. Saint-Petersburg, 2013. P. 97.
12. *RD 24.050.37–95. Vagony gruzovyye i passazhirskiye. Metody ispytaniy na prochnost i khodovyye kachestva* [RD 24.050.37-95. Freight and passenger cars. Test methods for durability and rideability]. Moscow, SRICB Publ., 1995. 101 p.
13. Reydeymeyster O.G., Kalashnik V.A., Shikunov A.A. Modernizatsiya kak sposob uluchsheniya ispolzovaniya universalnykh vagonov [Modernization as a way to improve the use of universal cars]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2016, no. 2 (62), pp. 148-156. doi: 10.15802/stp2016/67334.
14. Savchuk O.M., Kalashnik V.A. Issledovaniye prochnosti kuzovov vagonov dlya perevozki okatyshey [Research of strength of cars bodies for transportation of pellets]. *Sovershenstvovaniye remonta ispolzovaniya i konstruirovaniya vagonov* [Repair updating of use and design of cars]. Dnepropetrovsk, 1975, issue 164/5, pp. 38-41.
15. Tretyakov A.V. Prodleniye srokov sluzhby podvizhnogo sostava (istoriya, tekushcheye sostoyaniye, problemy i perspektivy) [Service-life extension for rolling stock (history, current state, problems and prospects)].

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proekty* [Rolling Stock of XXI century: ideas, requirements, and projects]. Saint-Petersburg, 2011, issue 6, pp. 41-44.
16. Bogojevic N., Soskic Z., Petrovic D., Rakanovic R. Mathematical model for determination of torsional stiffness of three axled wagons. Heavy machinery 2008: Proc. of the Sixth Intern. Triennial Conf. Kraljevo, 2008. P. 45.
17. Slavchev S., Stoilov V. Application of the methodology for evaluation of stress using numerical method. BullTrans-2011: Proc. Conf. Sozopol, 2011. P. 65-69.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. И. Э. Мартыновым (Украина); к.т.н., доц. В. В. Колбуном, (Украина)

Поступила в редколлегию: 26.02.2016

Принята к печати: 12.05.2016

UDC 621. 822.6.031:621.891

L. M. BONDARENKO¹, M. O. BABYAK², S. O. YAKOVLEV^{3*}, S. O. ISTIN⁴,
G. YU. MOSKALEV⁵¹Dep. «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 admin_diit@inbox.ru, ORCID 0000-0000-0001-6602-2745²Dep. «Transportation Technologies», Lviv branch of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, I. Blazhkevich St., 12a, Lviv, Ukraine, 79052, tel. +38 (097) 907 50 72, e-mail babjk@mail.ru, ORCID 0000-0001-5125-9133^{3*}Dep. «Military Training of Specialists of the State Special Service of Transport», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793 19 19, e-mail Sergei_jak@mail.ru, ORCID 0000-0002-6431-4303⁴Dep. «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 admin_diit@inbox.ru, ORCID 0000-0002-8114-8722⁵Dep. «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 admin_diit@inbox.ru, ORCID 0000-0002-9335-7716RELATIONSHIP BETWEEN ROLLING AND SLIP RESISTANCE
IN ROLLING BEARINGS

Purpose. About one of the causes of slip rolling is known from the second half of the 19th century, it was believed that the slip resistance appears at the place of contact due to different speeds on the arc of contact. Only in the mid-20th century it was proved that this resistance is negligible in rolling resistance. However (for some unknown reason) it is ignored the fact that in practice in rolling bearings may rotate both the inner ring with a stationary outer one, and vice versa almost in equal relations. It is not taken into account the fact that the ball or roller in the rolling bearings runs the different distance along the roller path of the outer and inner bearing cages in one revolution. This fact is not taken into account in determining the calculated values for the friction coefficient of a rolling bearing reduced to the shaft. Therefore, the aim of this work is to determine the influence of path length on the track riding the outer and inner race of the bearing on the determination of the calculated value of the coefficient of friction of rolling bearings is given to the shaft. **Methodology.** The solution technique is based on the theory of plane motion of a rigid body, the theory of Hertzian contact deformation and the analytical dependencies for determination of coefficient of rolling friction. **Findings.** The obtained dependences on determination of rolling resistance of the balls or rollers along the bearing tracks of inner and outer bearing cages as well as path difference metering of the rolling on them allows to analytically obtain the rolling resistance and slipping for any size of bearings and different devices of bearing units. It is also possible at the design stage of rolling nodes to handle not only the design but also the content of the node. **Originality.** Using the analytical dependences for determination of the rolling resistance of bodies at point and line contacts, and also account for the difference in the path of the rolling ball or roller on the outer and inner cages of the bearing one can more accurately find the rolling resistance in the bearings. **Practical value.** The obtained dependences allow designing the bearing units with minimal energy consumption.

Keywords: bearing; slip; rolling; contact; voltage; resistance

Introduction

It is considered that ball and roller bearings can replace the slipping friction by rolling friction appearing during the rolling of balls or rollers on the inner and outer bearing cage in the rotating pair [4, 10, 13]. However, for some unknown reason it is ignored the fact that in practice in rolling bearings may rotate both the inner ring with a stationary outer one, and vice versa almost in equal relations.

The rolling resistances appearing at this have different values and during the rotation of outer ring the causes are analogous to the problem considered by the ancient Greek mathematician Heron [3] when moving two cylinders of different diameters with a rigid connection. However, without having even the laws of friction and even more the laws of rolling his arguments have philosophical nature.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Without complete rejecting the influence of slipping friction on the resistance in the rolling bearings let us note that the first analytical dependence on its definition obtained O. Reynolds [15]. However, his theory was wrong, because he believed that the reason of rolling resistance lies in the slipping in the contact place. If so (it was not doubted, because of sizable reputation of the author), the rolling bearings were also lubricated as the slipping bearings. Another reason Reynolds could not have imagined as yet there was no theory of Hertzian contact deformation. Only 90 years later, D. Tabor [16] showed by experiments that the role of slipping during rolling is small. The theoretical dependences for the determination of the rolling friction coefficient also belong to him. At the linear contact the rolling friction coefficient is

$$k = \frac{2b}{3\pi} \alpha, \quad (1)$$

at the point contact

$$k = \frac{3}{16} b \alpha, \quad (2)$$

where b – is the half-width of the contact area according to Hertz; α – is the coefficient of hysteresis losses.

Since the experimental determination of the coefficient α requires considerable time and money, the works [1, 2, 6, 9] proposed the experimentally-analytical dependence to determine α , which contains only generally accepted dimensions and mechanical contacts.

By analogy with (1) and (2) the formulas are obtained in the form

$$k = 0.225 \cdot \sigma \cdot \exp(-1, 2r); \quad (3)$$

$$k = 0.16 \cdot b \cdot \exp(0, 2r), \quad (4)$$

where r – is the radius of the rolling body in meters.

The unresolved parts of the problem should include solution of the two following problems.

One of the first is the problem related to the Reynolds mistake. Since the main reason of the rolling resistance is the slip, in the works [7, 10, 14] the rolling friction coefficients of the roller along the outer and inner cages are taken as the

equal and the tangential force from the reaction P_i of the roller (Fig. 1, a)

$$F_i = P_i (k/r_b). \quad (5)$$

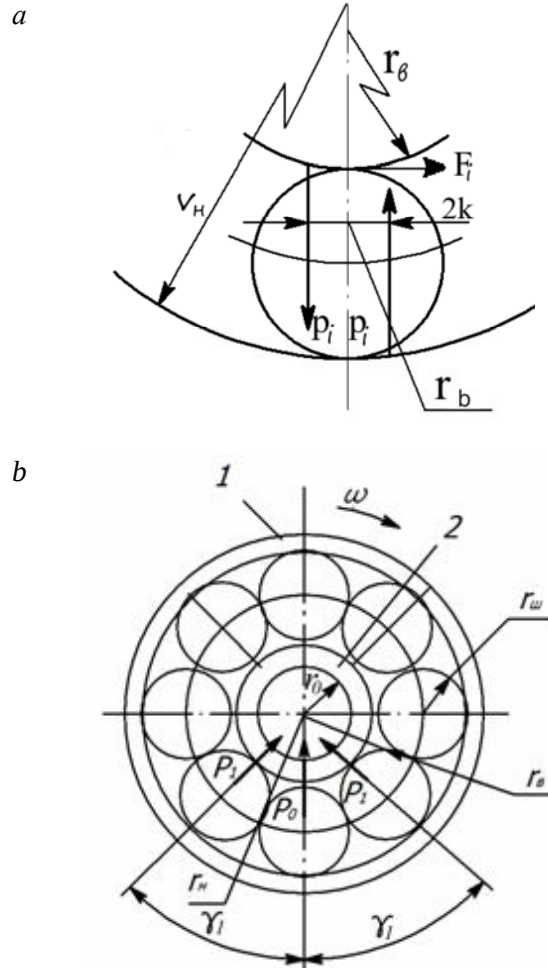


Fig. 1. To the determination of tangential force during rotation of the inner cage [10] (a) and velocity of the points of the outer cage and the ball (b)

The second problem to be solved is accounting which cage is the rotating one. In practice in rolling bearings may rotate both the inner ring with a stationary outer one, and vice versa. The reference literature does not take into account this fact. For example, the efficiency coefficient of the groove pulley is given equal, although any cage can rotate, especially with fixed blocks.

The peculiarity of the bearing functioning is that the balls (rollers) run different distances per revolution of inner or outer cage.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

At the simplified diagram of the bearing the problem can be solved as follows. If the outer cage rotates with angular velocity w_o (Fig. 1, b), the velocity of the point 1 as the point belonging to the outer cage is

$$v_o = (r_i + 2r_b)w_o = 2\pi n(2r_b + r_i), \quad (6)$$

where the letters i, o, b – is belonging of the sizes and velocities to the inner, outer cages and the ball; n – is the rotation frequency of both inner and outer cages.

Naturally, the instantaneous velocity center of this cage will be located at the point 2 of the contact with the ball. Assuming that the slippage between the outer cage and the ball is absent, then $\vec{V}_1 = \vec{V}_2$.

The length of the roller track on the outer cage is $l_o = 2\pi r_o$, and on the inner one is $l_i = 2\pi r_i$ and the difference of distance will be $\Delta l_o = 2\pi(r_o - r_i)$. That is, at this distance the roller slipping on the inner cage will take place.

In the case of inner cage rotation with the fixed outer cage, the difference Δl suggests that on the outer cage the roller will pass a distance equal to the distance on the inner cage.

Purpose

The article is aimed to find analytically reduced coefficient of friction of the ball and roller bearings taking into account the different values of the rolling friction coefficient on the outer and inner cages and take into account the difference in the rolling distance over them.

Methodology

The solution technique is based on the theory of plane motion of a rigid body, the theory of Hertzian contact deformation and the analytical dependencies for determination of coefficient of rolling friction.

Findings

1. Ball bearing (Fig. 1).

The number of balls in the bearing [8] according to the assembly condition

$$z = 2.9 \frac{D+d}{D-d}. \quad (7)$$

The force acting on the most loaded ball

$$P_0 = \frac{5Q}{z}. \quad (8)$$

Ball radius

$$r_b \approx 0.3(D-d). \quad (9)$$

The radius of raceway of the bearing track

$$r_r = 1.03r_b. \quad (10)$$

If the number of balls is $z \geq 10$ the load on bearing Q (for example, at $z = 10$)

$$Q = P_0(1 + 2\cos^{5/2}\gamma + 2\cos^{5/2}2\gamma), \quad (11)$$

where γ – is the angle between the balls (here $\gamma = 36^\circ$).

On that basis the load on the side balls is

$$P_1 = P_0 \cos^{5/2}\gamma; \quad P_2 = P_0 \cos^{5/2}2\gamma. \quad (12)$$

The value of half-widths of the contact areas in the formulas (5) and (6) are determined using the expressions:

$$b_1 = 1.397n_i \sqrt[3]{\frac{P}{E} \frac{1}{\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_r} - \frac{1}{r_i}}}, \quad (13)$$

where $n_i(i)$ – is the coefficient depending on the equation of contact ellipse

$$\frac{A}{B} = \left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_r} \right) / \left(\frac{1}{r_b} + \frac{1}{r_i} \right).$$

In formulas (6)–(9) D – is the outer diameter of the bearing; d – is the inner diameter of the bearing; $r_i \approx (d/2) + r_b$ – is the radius of the bearing track of the inner ring. With b_1 for the most loaded ball one should substitute the value P_0 , and for the lateral ball P_1 or P_2 depending on the number of balls.

When the ball rolling on the outer ring

$$b_o = 1.397n_o \sqrt[3]{\frac{P}{E} \frac{1}{\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_r} - \frac{1}{r_o}}}. \quad (14)$$

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

where n_o is determined as the function

$$\frac{A}{B} = \left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_r} \right) / \left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_o} \right);$$

where $r_o \approx (d/2) + 3r_b$ – is the radius of the bearing track of the outer ring.

To take into account the influence of the bearing size on the efficiency coefficient of the groove pulley and the resistance coefficient to the motion of the crane wheels let us consider two rolling bearing of one series, but with substantially different sizes.

1.1. The bearing no. 304: $d = 20$ mm, $D = 52$, static load $Q = 7.94$ kN, average diameter $D_{av} = (D + d)/2 = 36$ mm, $d_b = 9.6$ mm, number of balls $z = 7$ at $\gamma_1 = 360/7 = 51.4^\circ$, $r_i = 14.8$; $r_o = 24.4$ mm; $r_r = 4.944$ mm.

Half-width of the contact areas of the ball loaded by the force $P_0 = 3150$ N: with the inner cage $b_{i0} = 0.23$ mm at $n_i = 0.38$; with the outer ring $b_{o0} = 0.3$ mm at $n_o = 0.42$. Accordingly, loaded by the force $P_1 = 1740$ N of the lateral balls: $b_{b1} = 0.155$ mm; $b_{o1} = 0.202$ mm. The rolling resistance of the most loaded ball: on the inner ring $W_{i0} = 44.45$ N with a coefficient of rolling friction $k_{o0} = 0.0434$ mm, on the outer ring $W_{o0} = 57.77$ N at $k_{o0} = 0.0564$ mm; two lateral balls on the inner ring $W_{i1} = 18.30$ N at $k_{i1} = 0.029$ and $W_{o1} = 23.9$ N at $k_{o1} = 0.038$ mm.

Let us find the work of forces of rolling friction per revolution of the inner and outer rings:

– during rotation of the inner ring

$$A_i = 2\pi r_i (W_{i0} + W_{i1} + W_{o0} + W_{o1}) = 13.4 \text{ N/m}$$

– during rotation of the outer ring

$$A_o = 2\pi [r_o (W_{o0} + W_{o1}) + r_i (W_{i0} + W_{i1})] + 2\pi f (P_0 + 2P_1)(r_o - r_i) = 58.24 \text{ N/m}$$

The total work of the rolling friction forces of the balls on the inner and outer rings, excluding the sliding friction of balls $A_{tol} = 26.5$ N/m, taking into account the slipping

$$\bar{A} = A_{tol} + A_{sl} = 26.5 + 55.2 = 81.7 \text{ N/m},$$

i.e. the half of the rolling resistance at $f = 0.1$ (grease) accounts for slipping in this ball bearing during rotation of the outer ring.

Using this bearing it is difficult to determine the coefficient values of motion resistance and the friction of bearing reduced to the trunnion, which are used for calculation of the resistances in the running gears of the cranes and groove pooleys because of the small value of Q .

1.2. Bearing no. 312: $d = 20$ mm, $D = 130$ mm, $Q = 49.4$ kN, $D_{av} = 95$ mm, $d_b = 21$ mm, $z = 8$ pcs., $\gamma = 45^\circ$, $r_i = 40.5$ mm; $r_o = 61.5$ mm; $r_r = 10.815$ mm.

By analogy with the preceding bearing let us write: $b_{i0} = 0.413$ m ($n_i = 0.39$), $b_{o0} = 0.68$ mm (at $n_o = 0.42$), $b_{b1} = 0.413$ mm; $b_{o1} = 0.51$ mm, $W_{i0} = 264.8$ N at $k_{i0} = 0.1036$ mm, $W_{o0} = 326.3$ N ($k_{o0} = 0.128$ mm); $W_{i1} = 166.5$ N (at $k_{i1} = 0.0775$ mm), $W_{o1} = 205.4$ N (at $k_{o1} = 0.0956$ mm).

The work of forces of the rolling friction: at the rotation of the ring, N/m

$$A_i = 2\pi r_i (W_{i0} + W_{i1} + W_{o0} + W_{o1}) = 2\pi 0.0405 \times (264.8 + 166.5 + 326.3 + 205.4) = 244.9; \quad (15)$$

of the outer ring taking into account the slipping friction of the balls due to the different diameters of the inner and outer rings, N/m

$$A_o = 2\pi [r_o (W_{o0} + W_{o1}) + r_i (W_{i0} + W_{i1})] + 2\pi f \times (P_0 + 2P_1)(r_o - r_i) = 2\pi [0.0615(326.3 + 205.4) + 0.0405(264.8 + 166.5)] + 2\pi f (30875 + 25960) \times (0.0615 - 0.0405) = 315.25 + 749.5 = 1064.75. \quad (16)$$

In this bearing the slipping resistance 3 times exceeds the rolling resistance.

The values in the formulas (15) and (16) considering the coefficient that takes into account the friction of flanges $k_f = 1.2$ (supporting cranes, central drive, conical wheel rim) $A_{if} = k_f A_i = 293.9$ N/m; $A_{of} = k_f A_o = 1277.7$ N/m.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

With two bearings no. 312 with a total static load $P = 2Q = 98.8 \text{ kN}$ the movement of the crane wheel with the diameter $D_w = 400 \text{ mm}$ along the rail KR-70 with a radius of curvature $R_r = 400 \text{ mm}$ is possible [12].

Rolling resistance with this diameter ($D > 50 \text{ mm}$) should be determined taking into account the hysteresis loss coefficient [2, 6, 7, 8]

$$k = 0.16be^{0.2R_k}, \quad (17)$$

where R_k – in meters.

Comparison of the formulas (6) and (15) shows that for this class of problems the coefficient α is quite accurately determined by the exponential.

Half-width of the contact area with the circuit of contact «cylinders with mutually perpendicular axes» [11] is equal to

$$b = 1.397n_b \sqrt[3]{\frac{P}{E} \frac{R_r R_p}{R_k + R_p}}, \quad (18)$$

where n_b – is a coefficient depending on the ratio R_k/R_p and equal to $n_b = 0.8$; at this $b = 4.44 \text{ mm}$, $k = 0.74 \text{ mm}$ with the value $k = 0.6$ recommended in the work [8] for the diameters of 400 mm, 500, 560 and 630 mm.

Rolling resistance of the wheel

$$W_k = \frac{k_k P}{R_k} \quad (19)$$

is equal to 365.3 N and the work of the rolling friction force per revolution of the inner cage will be $A_w = 458.8 \text{ N/m}$, and with accounting of the flange friction is $A_{wf} = 550.6 \text{ N}$.

Thus, the work of the friction forces per one revolution of the inner cage of the bearing will be $A_{if} = 2 \cdot 293.9 + 550.6 = 1138.4 \text{ Nm}$, and during rotation of the outer bearing cage $A_{of} = 2 \cdot 293.9 + 550.6 = 1138.4 \text{ N/m}$, i.e. it is about 2.7 times more.

On the basis of these data the motion resistance coefficient is $w_b = A_{bc}/P = 0.0115$, and $w_o = A_{bo}/P = 0.0314$ at the recommended value $w = 0.015$ with the rolling bearings and wheel diameters from 200 to 400 mm [11].

The data obtained for the bearing no. 304 are used for determination of the efficiency coefficient of the running and stationary blocks with rotation of the inner (Fig. 2, a, b, c) and outer (conventional design) rings.

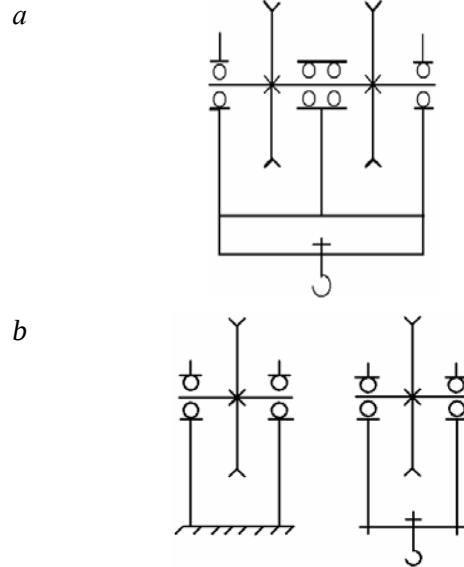


Fig. 2. Recommended supports of the blocks with the rotation of the inner ring of the bearings

Based on the static carrying capacity of the one bearing $Q = 7.94 \text{ kN}$ for the scheme «a» we will take $S_{\max}$ as equal to this value. The breaking tension of the rope will be taken as

$$S_t = n_k S_{\max} = 5.5 \cdot 7.94 = 43.67 \text{ kN},$$

the rope with diameter $d_k = 9.7 \text{ mm}$ corresponds to this, diameter of the block $D_b = d_k e = 9.7 \cdot 25 = 242 \text{ mm}$.

Effective work when rotating the block for one revolution

$$A_o = \pi Q D_b = \pi \cdot 7940 \cdot 0.242 = 6045 \text{ Nm. (A}_o), b$$

The work of friction forces in the bearing during rotation of the inner ring

$$A_{2i} = A_i 2 = 13.42 \cdot 2 = 26.84 \text{ N/m.}$$

Efficiency coefficient of the block scheme «a»

$$\eta_i = \frac{1}{1 + (A_{2i}/A_n)} = \frac{1}{1 + (26.84/6045)} = 0.995. \quad (20)$$

During rotation of the outer ring $A_o = 84.55$

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

N/m and

$$\eta_o = \frac{1}{1 + (136.48/6\,045)} = 0.9779, \quad (21)$$

i.e. the difference in the efficiency coefficient of the block is 1.8%.

At the scheme «b» (the running block) the value Q with the same bearings is 15.88 kN and the work of effective force per revolution will be the same value as in the previous scheme, the value of the efficiency coefficient will be the same.

It should be noted that the recommended value of efficiency coefficient for the rolling bearing is 0.97–0.98, which is close to the obtained value $\eta_o = 0.9956$.

In spite of slight difference in the values of efficiency coefficient when rotating the inner and outer ring of the bearings (1.8%), it should be noted that even at the five bearings, this difference is about 9.6%, which, obviously, should be taken into account when calculating and designing.

Here, during the calculation of the friction works the work for the rope bend on the block is not taken into account. However, as shown in [12], a decrease in the rope contact angle of block does not lead to decrease in its efficiency coefficient, which is clearly associated with a decrease in pressure on the balls, and naturally a decrease of friction forces in the same degree.

It should also be noted that the diameter of the worn-in rolling bearing sleeve equal to the inner diameter of the rolling bearing no. 312 with $d = 60$ mm and $Q = 49.4$ kN we obtain the moment on the trunnion $M = 1.27Q\mu\frac{\alpha}{2} = 1882\mu$, where μ is a coefficient of sliding friction.

With the known work of the frictional forces during rotation of the outer ring in one revolution the required value of the coefficient is $\mu = \frac{A_o}{2\pi} 1.27Q$ and a one order less than its value with the liquid lubricant.

2. Roller bearing. Let us consider the bearing of the medium narrow series no. 2306 with the following dimensions: $d = 30$ mm, $D = 72$ mm, $Q = 20.6$ kN, the diameter roller $d_r = 0.25(D - d) = 10.5$ mm, the number of roll-

ers $z = 5(D + d)/(D - d) = 12$; $\gamma = 30^\circ$, the radius of the bearing track of the inner ring $r_i = \frac{d}{2} + \frac{d_p}{2} = 20.25$ mm, and the same of the outer ring $r_o = \frac{d}{2} + \frac{3}{2}d_p = 30.75$ mm.

The force acting on the most loaded roller [10]

$$P_0 = \frac{Q}{1 + 2\cos^2\gamma + 2\cos^2 2\gamma}, \quad (22)$$

on the lateral rollers

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= P_0 \cos \gamma, \\ P_2 &= P_0 \cos 2\gamma. \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

The works [5, 6] proved that if the load is applied to a group of bodies according to the cosine law, to determine the resistance to their rolling the entire load can be applied to a single body, i.e. the rolling resistance of all five rollers on the inner ring at the linear contact is determined using the expression:

$$b_i = 1.522 \sqrt{\frac{Q}{BE} \frac{r_i r_r}{r_i + r_r}}; \quad (24)$$

on the outer ring

$$b_o = 1.522 \sqrt{\frac{Q}{BE} \frac{r_o r_r}{r_o + r_r}}. \quad (25)$$

The rolling friction coefficient is determined from the formula (1) with $\alpha = 1$ and will be $k_i = 0.0636$ mm, $k_o = 0.0876$ mm accordingly.

The rolling resistance of the rollers: on the outer cage is $W_o = 343.7$ N, on the inner one is $W_i = 249.6$ N.

The work of friction forces of the rolling and slipping

On the inner and outer cages

$$A_i = 2\pi r_i (W_i + W_o) = 75.4 \text{ N/m};$$

$$\begin{aligned} A_o &= 2\pi (r_i W_i + r_o W_o) + 2\pi Q (r_o - r_i) = \\ &= 98.1 + 135.8 = 233.9 \text{ N/m} \end{aligned}$$

with the coefficient of friction rolling of the rollers on the inner cage $f = 0.1$.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Coefficient of the motion resistance is:

– at the rolling of the inner cage
 $w_i = W_i/Q = 0.012$;

– at the rolling of the outer cage
 $w_o = W_o/Q = 0.017$ with the recommended value [12] for the wheels with diameter up to 700 mm
 $w = 0.020$.

Originality and practical value

Analytical dependences for determining the reduced coefficient of friction for steel wheels and pulleys efficiency coefficient of the groove pulleys were obtained.

These formulas make it possible for the designer to operate not only the design, but also the materials of units at the design stage of rolling units.

Conclusions

Analysis of the obtained formulas and calculation results makes it possible to make the following conclusions and recommendations:

– because of the different diameters of the bearing tracks of the inner and outer rings of the rolling bearings and, consequently, because of the different path of the balls or rollers during rotation of the outer ring (with fixed inner one) occurs balls or rollers slipping on the inner ring;

– value of sliding friction in rolling bearings is approximately 50% from the total in ball bearings and about 30% in roller bearings (as a result of different diameter of balls and rollers); consequently, the efficiency coefficient of the groove pulley decreases by about 2%, and the resistance coefficient of the crane wheels by about 15%;

– when constructing the rolling units of rolling bearings the preference should be given to the rotation of the inner cage, especially for machines with their serial connection (railway trains, belt conveyors, etc.).

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Астахов, В. Н. Оценка режимов трения и смазки в подшипниках осевого подвешивания локомотивов / В. Н. Астахов, Е. Н. Лысков, П. Е. Коновалов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 40. – С. 55–61.
2. Бондаренко, Л. М. Деформаційні опори в машинах / Л. М. Бондаренко, М. П. Довбня, В. С. Ловейкін. – Дніпропетровськ : Дніпро-VAL, 2003. – 200 с.
3. Бондаренко, Л. Н. Соотношения между работами сил трения качения и скольжения в парадоксе Герона / Л. Н. Бондаренко, Т. В. Матвиец, В. Д. Бондаренко // Efektivní nástroje moderních věd–2011 : materiály VI mezinárodní vědecko-praktická konference (27.05–05.06.2011). – Praha, 2011. – Р. 27–79.
4. Волков, Н. Н. Подшипники качения колесных пар вагонов и локомотивов. Исследование, расчет и конструирование / Н. Н. Волков, Н. В. Родзевич. – Москва : Машиностроение, 1972. – 167 с.
5. Гура, Г. С. Качение тел с трением. Фреттинг : монография / Г. С. Гура. – Сочи : Дория, 2009. – 295 с.
6. Джонсон, К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – Москва : Мир, 1989. – 510 с.
7. Дяченко, П. В. Моделювання впливу підшипників кочення на демпфування коливань у зачепленні зубчастих коліс / П. В. Дяченко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 36. – С. 16–24.
8. Иванов, М. Н. Детали машин / М. Н. Иванов. – Москва : Высш. шк., 1975. – 551 с.
9. Карпенко, В. А. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения : учеб. пособие для вузов / В. А. Карпенко. – Севастополь : Изд-во СевНТУ, 2007. – 372 с.
10. Кожевников, С. Н. Теория механизмов и машин / С. Н. Кожевников. – Москва : Машиностроение, 1969. – 584 с.
11. Писаренко, Г. С. Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев : Наук. думка, 1988. – 736 с.
12. Справочник по кранам. В 2 т. Т. 2 / М. П. Александров, М. М. Гохберг, А. А. Ковин [и др.]. – Ленинград : Машиностроение, 1988. – 559 с.
13. 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 (30.11–7.12.2014) : Materials of the X Intern. Sci. and Practical Conf. – Sheffield, 2014. – Т. 23. – Р. 12–17.
14. Multi-scale finite element modeling to describe rolling contact fatigue in a wheel–rail test rig / M. Pletz, W. Daves, W. Yao [et al.] // Tribology International. – 2014. – Vol. 80.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- P. 147–155. doi: 10.1016/j.triboint.-2014.07.005.
15. Reynolds, O. On rolling friction / O. Reynolds // Proc. of the Royal Society of London. – 1874. – Vol. 23. – Iss. 156-163. – P. 506–509. doi: 10.1098/rspl.1874.0080 .
16. Tabor, D. The mechanism of Rolling Friction. II. 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, Н. О. БАБЯК², С. О. ЯКОВЛЄВ^{3*}, С. О. ІСТІН⁴,
Г. Ю. МОСКАЛЬОВ⁵

¹Каф. «Прикладна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 19, ел. пошта admin_diit@inbox.ru, ORCID 0000-0000-0001-6602-2745

²Каф. «Транспортні технології», Львівська філія, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. І. Блажкевич, 12а, Львів, Україна, 79052, тел. +38 (097) 907 50 72, ел. пошта babjk@mail.ru, ORCID 0000-0001-5125-9133

^{3*}Каф. «Військова підготовка фахівців Державної спеціальної служби транспорту», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка 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

⁴Каф «Військова підготовка фахівців Державної спеціальної служби транспорту», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 19, ел. пошта admin_diit@inbox.ru, ORCID 0000-0002-8114-8722

⁵Каф. «Військова підготовка фахівців Державної спеціальної служби транспорту», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 19, ел. пошта admin_diit@inbox.ru, ORCID 0000-0002-9335-7716

СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ ОПОРОМ КОЧЕННЮ ТА КОВЗАННЮ В ПІДШИПНИКАХ КОЧЕННЯ

Мета. Про одну з причин ковзання при коченні відомо з другої половини XIX століття, тоді вважалося, що опір ковзанню з'являється в місці контакту внаслідок різних швидкостей на дузі контакту. Лише в середині XX століття було доведено, що цей опір складає незначну величину опору коченню. Проте (з невідомої причини) не враховується та обставина, що в підшипниках кочення на практиці майже в рівних відносинах може обернутися як внутрішнє кільце при нерухомому зовнішньому, так і навпаки. При цьому не враховувалася та обставина, що кулька або ролик у підшипниках кочення за один оборот проходить різний шлях по доріжці катання зовнішньої та внутрішньої обойм підшипника. Ця обставина не враховується й при визначенні розрахункової величини коефіцієнта тертя підшипників кочення, приведенного до валу. Тому метою роботи є необхідність встановлення впливу довжини шляху по доріжці катання зовнішньої і внутрішньої обойм підшипника на визначення розрахункової величини коефіцієнта тертя підшипників кочення, приведенного до валу. **Методика.** В основі методики рішення – теорія плоского руху твердого тіла, теорія контактних деформацій Герца та аналітичні залежності для визначення коефіцієнта тертя кочення. **Результати.** Отримані залежності по визначенню опору коченню кульок або роликів біговими доріжками внутрішньої та зовнішньої обойм, а також облік різниці шляху кочення по них дозволяє аналітично отримати опір кочення та ковзання для будь-якого розміру підшипників і різних пристроїв підшипникових вузлів. Також можливо на стадії проектування вузлів кочення оперувати не тільки конструкцією, але й матеріалами вузла. **Наукова новизна.** За допомогою аналітичних залежностей для визначення опору коченню тіл при точковому і лінійному контактах, а також обліку різниці шляху при коченні кульки або ролика по зовнішній і внутрішній обоймах підшипника можна більш точно знайти опору кочення в підшипниках. **Практична значимість.** Отримані залежності дозволять проектувати підшипникові вузли з мінімальною енергоємністю.

Ключові слова: підшипник; ковзання; кочення; контакт; напруга; опір

Л. Н. БОНДАРЕНКО¹, Н. А. БАБЯК², С. А. ЯКОВЛЕВ^{3*}, С. А. ИСТИН⁴,
Г. Ю. МОСКАЛЕВ⁵

¹Каф. «Прикладная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 793 19 19, эл. почта admin_diit@inbox.ru, ORCID 0000-0000-0001-6602-2745

²Каф. «Транспортные технологии», Львовский филиал, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. И. Блажкевич, 12а, Львов, Украина, 79052, тел. +38 (097) 907 50 72, эл. почта babjk@mail.ru, ORCID 0000-0001-5125-9133

^{3*}Каф. «Военная подготовка специалистов Государственной специальной службы транспорта», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика 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

⁴Каф. «Военная подготовка специалистов Государственной специальной службы транспорта», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 793 19 19, эл. почта admin_diit@inbox.ru, ORCID 0000-0002-8114-8722

⁵Каф. «Военная подготовка специалистов Государственной специальной службы транспорта», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 793 19 19, эл. почта admin_diit@inbox.ru, ORCID 0000-0002-9335-7716

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ СОПРОТИВЛЕНИЯМИ КАЧЕНИЮ И СКОЛЬЖЕНИЮ В ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ

Цель. Об одной из причин скольжения при качении известно со второй половины XIX века, тогда считалось, что сопротивление скольжению появляется в месте контакта вследствие разных скоростей на дуге контакта. Только в середине XX столетия было доказано, что это сопротивление составляет незначительную величину в сопротивлении качению. Однако (по неизвестной причине) не учитывается то обстоятельство, что в подшипниках качения на практике почти в равных отношениях может вращаться как внутреннее кольцо при неподвижном наружном, так и наоборот. При этом не учитывалось обстоятельство, что шарик или ролик в подшипниках качения за один оборот проходит разный путь по дорожке катания наружной и внутренней обойм подшипника. Это обстоятельство не учитывается и при определении расчетной величины коэффициента трения подшипников качения, приведенного к валу. Поэтому целью работы является установление влияния длины пути по дорожке катания наружной и внутренней обойм подшипника на определение расчетной величины коэффициента трения подшипников качения, приведенного к валу. **Методика.** В основе методики решения – теория плоского движения твердого тела, теория контактных деформаций Герца и аналитические зависимости для определения коэффициента трения качения. **Результаты.** Полученные зависимости по определению сопротивления качению шариков или роликов по беговым дорожкам внутренней и наружной обойм, а также учет разности пути качения по ним позволяют аналитически получить сопротивление качению и скольжению для любого размера подшипников и различных устройств подшипниковых узлов. Также возможно на стадии проектирования узлов качения оперировать не только конструкцией, но и материалами узла. **Научная новизна.** С помощью аналитических зависимостей для определения сопротивления качению тел при точечном и линейном контактах, а также учета разности пути при качении шарика или ролика по внешней и внутренней обоймам подшипника можно более точно найти сопротивление качению в подшипниках. **Практическая значимость.** Полученные зависимости позволяют проектировать подшипниковые узлы с минимальной энергоемкостью.

Ключевые слова: подшипник; скольжение; качение; контакт; напряжение; сопротивление

REFERENCES

1. Astakhov V.N., Lysikov Ye.N., Konovalov P.Ye. Otsenka rezhimov treniya i smazki v podshipnikakh oseвого podveshivaniya lokomotivov [Estimation of modes friction and greasing in bearing axial hanging of locomotives]. *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 40, pp. 55-61.
2. Bondarenko L.M., Dovbnia M.P., Loveikin V.S. *Deformatsiini opory v mashynakh* [Deformation supports in cars]. Dnipropetrovsk, Dnipro-VAL Publ., 2003. 200 p.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

3. Bondarenko L.N., Matviets T.V., Bondarenko V.D. Sootnosheniya mezhdu rabotami sil treniya kacheniya i skolzheniya v paradokse Gerona [Relations between operation of friction forces of rolling and sliding in the paradox of Heron]. *Materiály VI mezinárodní vědecko-praktická konference «Efektivní nástroje moderních věd–2011»*. Praha, 2011, pp. 27-29.
4. Volkov N.N., Rodzevich N.V. *Podshipniki kacheniya kolesnykh par vagonov i lokomotivov. Issledovaniye, raschet i konstruirovaniye* [Rolling bearings of the wheel sets of cars and locomotives. The study, calculation and design]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1972. 167 p.
5. Gura G.S. *Kachenije tel s treniyem. Fretting* [Rolling bodies with friction. Fretting]. Sochi, Doriya Publ., 2009. 295 p.
6. Dzhonson K. *Mekhanika kontaktного vzaimodeystviya* [Contact interaction mechanics]. Moscow, Mir Publ., 1989. 510 p.
7. Diachenko P.V. Modeliuvannia vplyvu pidshypnykiv kochennia na dempfuvannia kolyvan u zacheplenni zubchastykh kolis [Modeling influence of rolling bearings bush and vibrations damping in catching of toothed wheels]. *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 36, pp. 16-24.
8. Ivanov M.N. *Detali mashin* [Machine components]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1975. 551 p.
9. Karpenko V.A. *Vzaimozamenyayemost, standartizatsiya i tekhnicheskiye izmereniya* [Interchangeability, standardization and technical measurements]. Sevastopol, Izdatelstvo SevNTU Publ., 2007. 372 p.
10. Kozhevnikov S.N. *Teoriya mekhanizmov i mashin* [Theory of mechanisms and machines]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1969. 584 p.
11. Pisarenko G.S., Yakovlev A.P., Matveyev V.V. *Spravochnik po soprotivleniyu materialov* [Handbook of materials resistance]. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 1988. 736 p.
12. Aleksandrov M.P., Gokhberg M.M., Kovin A.A., Kulkova N.N., Mazover I.S., Nevzorov L.A., Orlov A.N., Plavnik B.I., Samoylovich P.A., Serlin L.G., Sokolov S.A. *Spravochnik po kranam. T. 2* [Guide on cranes. Vol. 2]. Leningrad, Mashinostroyeniye Publ., 1988. 559 p.
13. 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 bodies at various contact schemes]. Sheffield, Science and education LTD Publ., 2014. P. 12-17.
14. Pletz M., Daves W., Yao W., Kubin W., Scheriau S. Multi-scale finite element modeling to describe rolling contact fatigue in a wheel–rail test rig. *Tribology International*, 2014, vol. 80, pp. 147-155. doi: 10.1016/j.triboint.2014.07.005.
15. Reynolds O. On rolling friction. *Proc. of the Royal Society of London*, 1874, vol. 23, issue 156-163, pp. 506-509. doi: 10.1098/rspl.1874.0080.
16. Tabor D. The mechanism of Rolling Friction. II. 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.

Prof. S. V. Raksha, D. Sc. (Tech.), (Ukraine); Prof. B. I. Kindratskiy, D. Sc. (Tech.), (Ukraine) recommended this article to be published

Accessed: Jan., 19. 2016

Received: May, 05. 2016

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

UDC 624.19-022.53:621.643.2-034.14

K. GÓRSKI^{1*}, R. L. IGNATOWICZ^{2*}

^{1*}Institute of Civil and Geoingeenering, Poznan University of Life Sciences, ul. Piątkowska, 94, Poznan, Poland, 60-649,
email kgorski@up.poznan.pl

^{2*}Dep. «Metal Structures», Wrocław University of Technology, Pl. Grunwaldzki, 11, Wrocław, Poland, 50-377,
email rajmund.ignatowicz@pwr.edu.pl

EFFORT OF STEEL PIPE JACKING IN TERMS OF IMPERFECTION PIPES AND HETEROGENEITY OF GROUND

Purpose. The article presents problem of the influence of local inhomogeneities of ground on the internal forces in the steel pipe. **Methodology.** The authors presented the differences in the distributions of earth pressures for the pipes. One of the most common methods is the microtunneling technology. The examples of numerical analysis by finite element method (FEM) have been calculated. **Findings.** The results of numerical analysis are presented for selected ground conditions and the distribution of internal forces in the flexible section of the steel pipe is also shown. **Originality and Practical value.** The obtained results clearly show the influence of flexural rigidity of the pipe on the internal forces, the influence of flexural rigidity and the soil stiffness on the size of the bending moments in the steel of pipe jacking. They depend on the interaction of soil – steel pipe.

Keywords: steel pipe; finite element method; microtunneling; ground

Introduction

Modern technology construction method of underground pipelines enables building of sewer pipelines for lengths of over 500 m. It is possible to make this without disturbing the existing infrastructure. One of the most common methods is the microtunneling technology. This technology allows drilling the microtunnel hole by drilling machine where, after loosening the soil with high-pressure water, excavated material is transported to the surface of the ground. The pipe jacking is pressed in place of the removed soil. This technology and the various methods of calculation are given in the book [6] and in the article [10]. Microtunnel execution is preceded by the construction of the starting shaft and receiving shaft. Before the implementation of microtunnel the full recognition of geological and engineering on the planned route should be performed. Unfortunately even that it is not possible to provide

all the possible complications you may encounter during the implementation of the collector using microtunnelling. Commonly used methods of static analysis jacking pipes describe the most common situations without considering exceptional situations such as the heterogeneity of ground. Such situation is considered by the authors of the study. The analysis is made for partially realized microtunnel with a total length of 300 m. The steel pipe has a diameter of 2 000 mm and thickness of 12 mm. Steel pipe will be a protective tube for the pipeline made under the river leading to a large sewage-treatment plant.

Physical model. In this article an influence the heterogeneity of soil and a flexural rigidity of the pipe on the bending moments where presented. In order to solve this problem, it was divided into two stages. The first stage estimated the force on the pipe jacking and the second stage included the analysis the heterogeneity of soil on bending moments. The problem is shown in Fig. 1.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

The loads acting transversely to the axis of the pipe. Modern analysis of static tunnels needs to determine static scheme including the interactions between the soil and pipe jacking. It is important to choose the characteristics of elastic microtunnel structures and to determine geotechnical parameters of soil medium. Microtunnel in selected cross-sections is considered. In order to perform the analysis the following two distinctive sections were chosen (Fig. 2).

On the basis of guidelines [1], [5] the load diagram of the steel pipelines for a microtunnel was adopted which is illustrated in Fig. 3.

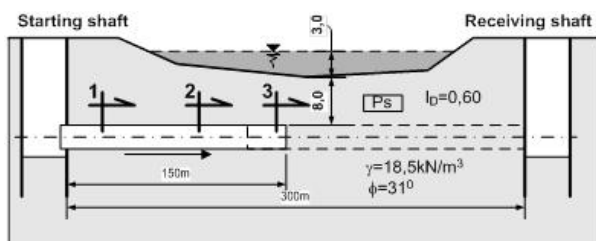


Fig. 1. Illustration showing the reported problem

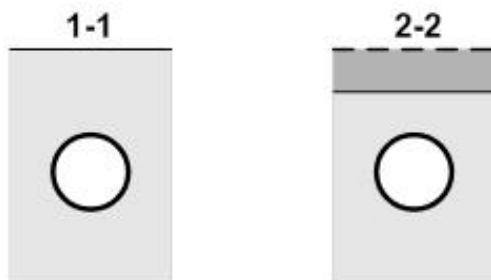


Fig. 2. The characteristic sections of computing

According to various proposals the width of the solid ground was determined. It was a load on the pipeline. The load induces a state of stress in the walls of the pipe. It should be noted that the drilling of microtunnel change the state of stress in the ground. This was confirmed by the research field and the numerical calculations. During the drill microtunnel occurs reduction of the load ground on the pipeline. This is a consequence of loosening the soil in the area of vaults and transfer loads to the ground on both sides of the pipe. This phenomenon was studied among others by Terzaghi and Houskawa based on the theory of the silo. The necessary condition to reduce the load is large vertical deformation in the key course. Using appropriate technological solutions in the

implementation of microtunneling seeks to reduce the vertical movements to a minimum, which results in that only a small portion of the angle of internal friction is mobilized in the plane of shear. It is known that already at 10% of the value of the vertical movement is mobilized half of the angle of friction. This phenomenon allowing appoint an increased load on the ground in areas of the lateral pipe. According to silo theory (Terzaghi) $\delta = \phi' \cdot 0,5$ was accepted. The results of calculating the width of the ground solids of different proposals was illustrated in Fig. 4. The values of the vertical and horizontal loads were calculated according to the following relationships.

Vertical load acting on the ground pipe

$$p_{Ev} = \kappa \cdot \gamma \cdot h + p_0 \quad (1)$$

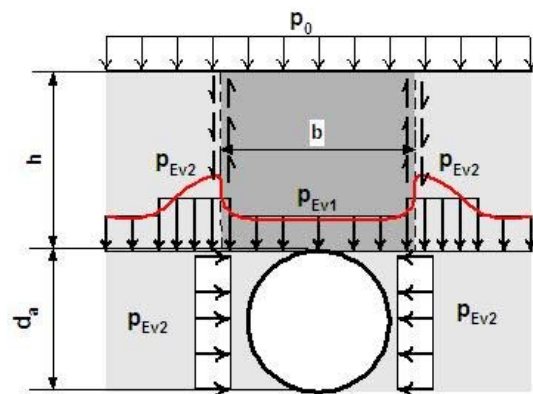


Fig. 3. The load diagram of the pipelines microtunnel by [5, 1]

Where: γ – volume weight of soil overburden conductor; κ – reduction factor taking into account the stress distribution after completing of microtunnel; h – thickness of the soil on the pipeline.

The reduction factor κ from the expression was determined:

$$\kappa = \frac{1 - e^{-2 \cdot K1 \cdot \tan(\phi/2) \cdot \frac{h}{b}}}{2 \cdot K1 \cdot \tan(\phi/2) \cdot \frac{h}{b}} \quad (2)$$

where $K1$ – coefficient of earth pressure on the wall of the silo, $K1 \approx 1,0$; $b = d_a \cdot \sqrt{3}$

The horizontal earth pressure at the height of the key course of the pipe was calculated by the following expression:

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

$$p_{Eh} = K2 \cdot (p_{Ev} + \frac{d_a}{2} \cdot \gamma) \quad (3)$$

Where

$$K2 = \frac{0.0833}{0.14 \cdot \frac{E_p}{E_s} \cdot \left(\frac{t}{r_m}\right)^3} \quad (4)$$

and t is the wall thickness of the pipe, r_m – radius in the middle of the wall thickness, E_p is the

modulus of elasticity of the pipe material, E_s – the modulus of elasticity of soil.

A common approach are the guidelines contained in the ATV 161 E [1], so for numerical analysis the width of the ground solid $b = (3)^{0.5} \times d_a$ was assumed. The load on the Terzaghi assumptions is shown below (Fig. 5). In the analysis the distributions of internal forces for the various static diagrams were compared. The loads for different schemes are shown below (Fig. 6, 7).

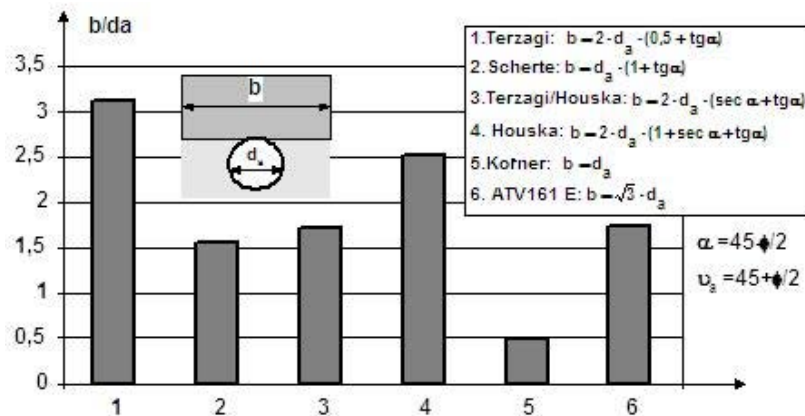


Fig. 4. Comparison of the calculated b by different authors

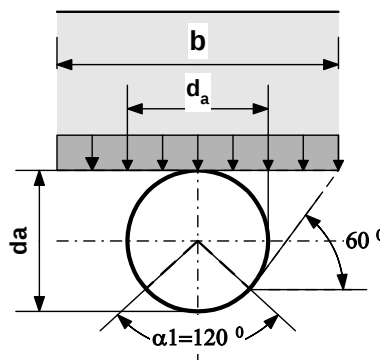


Fig. 5. The load a underground pipe with solid ground

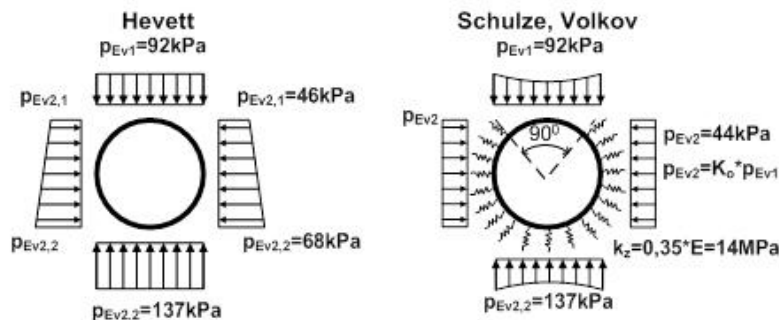


Fig. 6. The loads on a underground pipe by Hevett, Schultze, Volkov

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

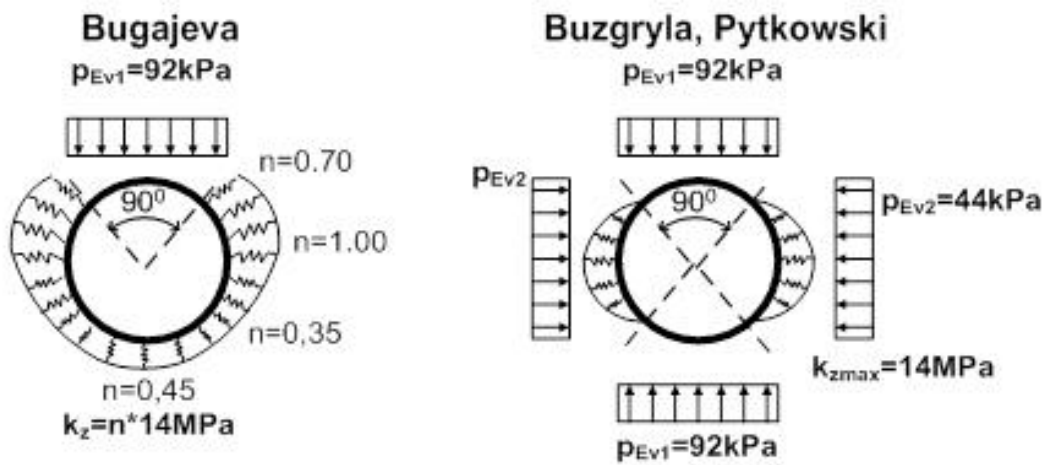
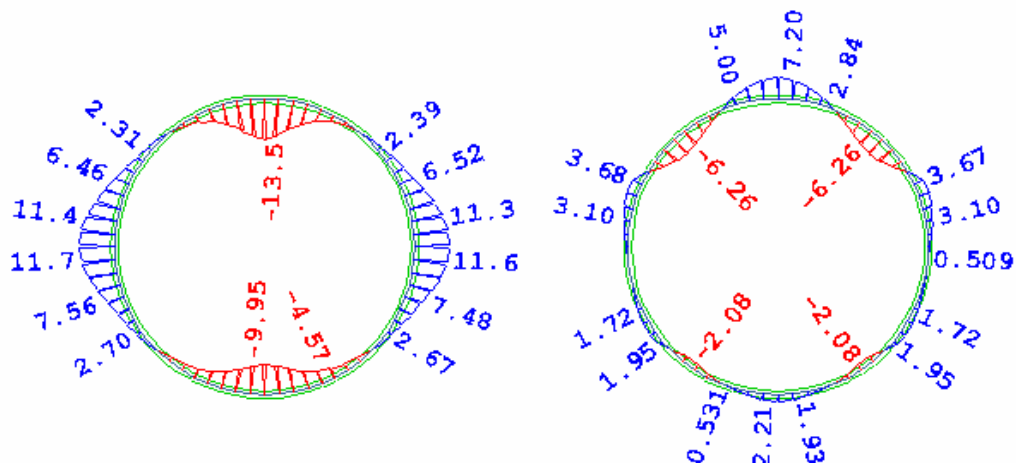


Fig. 7. The loads on a underground pipe by Bugajeva, Buzgryla, Pytkowski

a, b



c, d

Fig. 8. The bending moment in cross-section
from the ground pressure and weight of the pipe by:
a – Hevett, b – Schulze, Volkov, c – Bugajeva, d – Buzgryla, Pytkowski

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Findings

Internal force diagrams for different schemes are shown below (Fig.8). The results were compared to the values calculated according to [1], which is presented in Table 1.

The presented results of calculations have shown that there are large differences in the values of the internal forces determined on the basis of proposals from different authors and they cannot be directly compared. Differences result directly from the assumptions regarding the scope and distribution of elastic supports describing the interaction of soil – pipe. The consequence of these assumptions is the distribution of soil along the perimeter of the steel tube, which also generates different distributions of internal forces. In order to verify the above conclusions, numerical analysis using finite element modeling system and geotechnical calculations Sofistik -Talpa [16] were

performed. Numerical model was made in the plane strain. The calculations were made in several stages the state of stress and strain as the initial condition for the next stage of the calculation. The model of Coulomb – Mohr's with non-associated flow rule in plasticity was calculated. For the analysis, the following parameters were taken: angle of internal friction of soil $\phi = 31^\circ$, cohesion $c_u = 0$ kPa, the volume density of soil $\gamma = 18,5$ kN/m³. In the contact zone of the soil – pipe, special contact elements were used which were assigned a variable

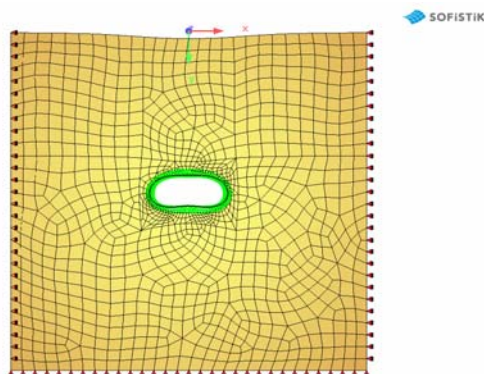
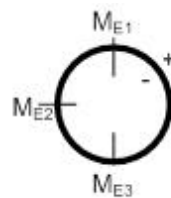
coefficient of friction. Contact elements do not carry the tensile forces. In order to take account of the effect of a breach in the soil zone drilling area, the model is divided into various material parameters. It allowed to map the loosening of the soil and its effect on the internal forces in the cross section of the pipe.

Table 1

The bending moments in the pipe jacking

Bending moments	ATV 161	Hevett	Schulze, Volkov	Bugajeva	Buzgryla, Pytkowski
	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm
M_{E1} - key course	-16,61	-13,50	7,20	-5,10	-10,30
M_{E2} - side wall	17,38	11,70	0	0	-12,20
M_{E3} - invert	-17,52	-9,95	2,21	-0,63	-2,37

Legend

Fig. 9. An example of a numerical (FEM) model
of the interaction of soil – pipe

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

In Fig. 10 one can see that the internal forces are significantly different from the values determined by guidelines [1]. We can conclude that the graph of internal forces has a similar distribution as in the proposal Hevetta. In the case of the analysis the flexural rigidity of the pipe is very important. In order to grasp this fact, numerical analysis controlling two parameters was made. First parameter

was the change of modulus of elasticity in the zone of potential loosening of the soil and second parameter was the change in the flexural rigidity of pipe. For the analysis of the interaction pipe – soil has been introduced a replacing flexural rigidity of the pipe as a function of strain. Vertical displacement of the pipe was calculated by the theory of second order. It was shown in the Fig. 13.

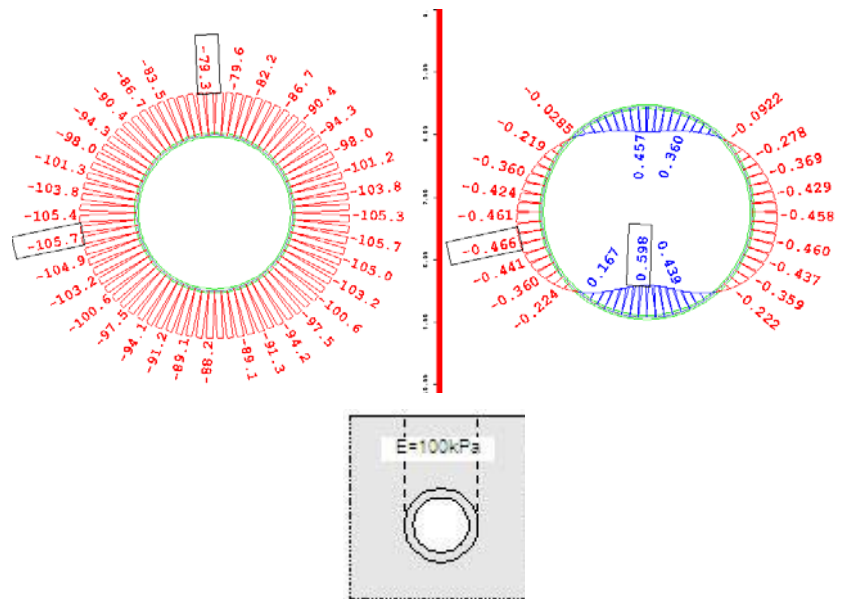


Fig. 10. Internal force diagrams without loosening of the soil in the area around the pipe, ($E = 100$ kPa). Steel pipe $D_z = 2500$ mm, $t = 25$ mm

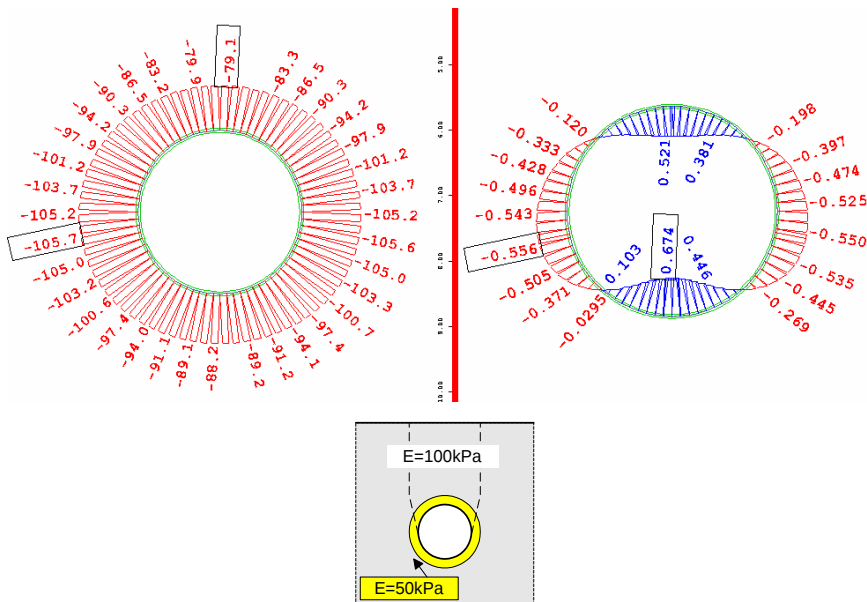


Fig. 11. Internal forces diagrams without loosening the soil in the area around the pipe, ($E = 50$ kPa). Steel pipe $D_z = 2500$ mm, $t = 25$ mm

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

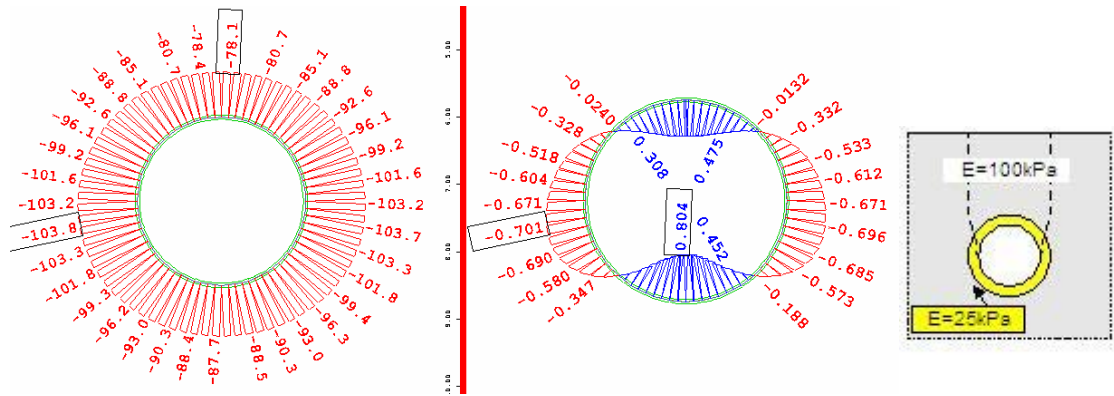


Fig. 12. Internal forces diagrams without loosening the soil in the area around the pipe, ($E = 25 \text{ kPa}$).
Steel pipe $D_z = 2500 \text{ mm}$, $t = 25 \text{ mm}$

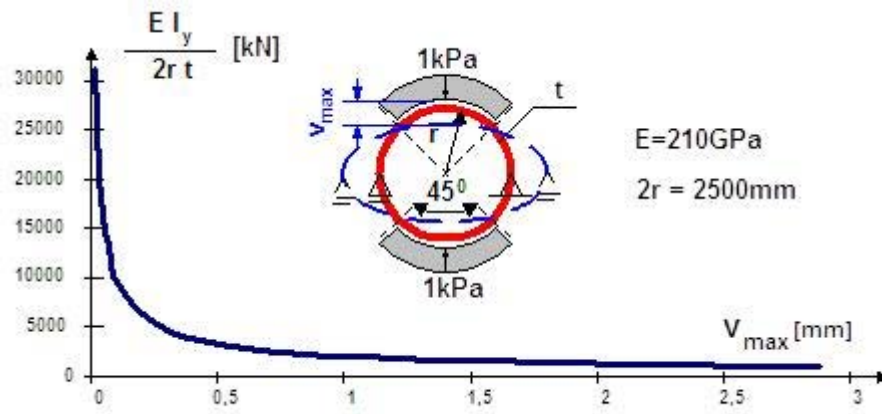


Fig. 13. The replacing flexural rigidity the pipe

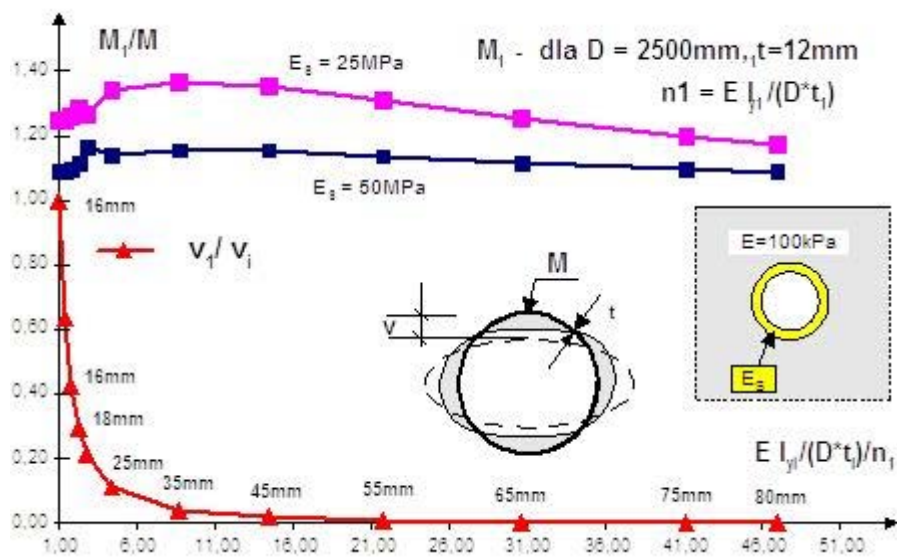


Fig. 14. The increment of the bending moment M in key course as a function
of a flexural rigidity the steel pipe and soil stiffness

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

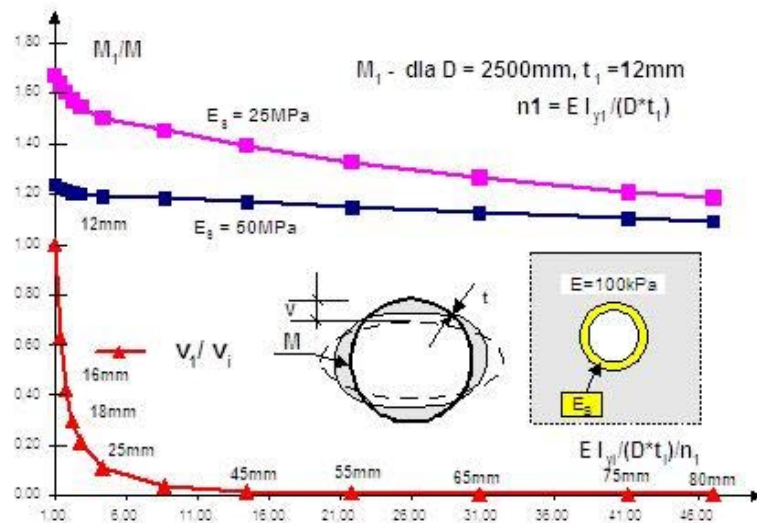


Fig. 15. The increment of the bending moment M in side wall as a function of a flexural rigidity the steel pipe and soil stiffness

The obtained results clearly show the influence of flexural rigidity of the pipe on the internal forces. The bending moments in the steel pipe with the wall thickness between 12 mm – 35 mm are quite different. They are much smaller than the value calculated on the basis of the guidelines [1]. The formulas for the bending moments in [1] are independent of the deformability pipe.

Conclusions

The obtained results showed the influence of flexural rigidity and the soil stiffness on the size of the bending moments in the steel of pipe jacking. They depend on the interaction of soil – steel pipe. On the basis of Fig.14 with the modulus of elasticity of the soil $E_s = 50$ MPa, the increase of the bending moment in the key course of the pipe is practically not variable independently of the wall thickness of the steel pipe. A similar example was found for bending moments in the side wall tunnel (Fig. 15). The construction steel pipe jacking behaves quite different, when the modulus of soil E_s is smaller ($E_s = 25$ MPa). The increase of the bending moment in the key course according to the rigidity of the tube can be up to 15% (Fig. 14). In the case of the increase of the bending moment side wall, it may be as high as 41.5% (Fig. 15).

LIST OF REFERENCE LINKS

1. ATV 161 E. Structural calculation driven pipes : German ATV Standards Wastewater-Waste. – Hefen : GFA, 1990.

2. Brzoska, Z. Statyka i stateczność konstrukcji prętowych i cienkościennych / Z. Brzoska. – Warszawa : PWN, 1961.
3. Buckling of steel shells – European Design Recommendations / Edited by J. Michael Rotter and Herbert Schmidt. – 2013. – 408 p.
4. Hornung, K. Statik eruberdeckter Rohde / K. Hornung, D. Kitel. – Berlin : Bauverlag GMBH, 1989.
5. Glinicki, S. Budownictwo podziemne / S. Glinicki. – Politechnika Białostocka, 1994.
6. Madryas, C. Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych / C. Madryas, A. Kolonko, L. Wysocki. – Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2002. – 377 p.
7. Mendera, Z., Interakcyjne kryteria stateczności płyt i powłok metalowych w złożonych stanach naprężenia / Z. Mendera // Inżynieria i Budownictwo. – 1993. – №. 2. – P. 50–53.
8. Mendera, Z. Stateczność stalowych powłok walcowych ściskanych podłużnie / Z. Mendera // Inżynieria i Budownictwo. – 2000. – №. 4/5. – P. 240–243.
9. Murzewski, J. Stalowe belki powłokowe / J. Murzewski, J. Siepak. – Kraków : Politechnika Krakowska, 1978.
10. Kuliczowski, A. Projektowanie konstrukcji przewodów kanalizacyjnych. – Kielce : Politechnika Świętokrzyska, 1993. – W. I, №. 222. – 290 p.
11. PN-EN 1991-1-3:2005. Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1–3 : Oddziaływania ogólne. Obciążenie śniegiem.
12. PN-EN 1993-1-5. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-5 : Blachownice, PKN. – Warszawa, 2008.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

13. PN-EN 1993-1-1. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1 : Reguły ogólne i reguły dla budynków, PKN. – Warszawa, 2008.
14. PN-EN 1993-1-6. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-6 : Wytrzymałość i stateczność konstrukcji powłokowych, PKN. – Warszawa, 2008.
15. Samuelson, L. A. Shell stability handbook / L. A. Samuelson, S. F. Eggwertz. – London ; New York : Elsevier, 1992. – 303 p.
16. Sofistik v 2014, Licencja: Rajmund Ignatowicz.
17. Timoszenko, S. P. Ustojcziwost' uprugich system / S. P. Timoszenko. – Moskwa : GITTL, 1955. – 568 p.

К. ГОРСКИ^{1*}, Р. Л. ИГНАТОВИЧ^{2*}

^{1*}Каф. «Цивільна та інженерна геологія», Познанський університет природничих наук, вул. Піатковська, 94, Познань, Польща, 60-649, ел. пошта kgorski@up.poznan.pl

^{2*}Каф. «Металеві конструкції», Вроцлавський технологічний університет, Грюнвальдська пл., 11, Вроцлав, Польща, 50-377, ел. пошта rajmund.ignatowicz@pwr.edu.pl

НАПРУГА СТАЛЕВОЇ ТРУБИ, ПРОКЛАДЕНОЇ В УМОВАХ НЕДОСКОНАЛОСТІ ТРУБ ТА НЕОДНОРІДНОСТІ ҐРУНТУ

Мета. У дослідженні необхідно вивчити питання впливу локальних неоднорідностей ґрунту на внутрішні сили в сталевій трубі. **Методика.** Автори представили відмінності в розподілі ґрунтового тиску на трубі. Одним із найбільш поширених методів є технологія мікротунелювання. Приклади чисельного аналізу були розраховані методом скінченних елементів (МСЕ). **Результати.** Встановлені дані чисельного аналізу представлені для обраних ґрунтових умов. Був також показаний розподіл внутрішніх сил у гнучкій секції сталеві труби. **Наукова новизна та практична значимість.** Отримані результати чітко показують вплив згинальної жорсткості труби на внутрішні сили, на величину згинальних моментів у сталі вдавнених труб. Вони залежать від взаємодії ґрунт–сталева труба.

Ключові слова: сталеві труби; метод кінцевих елементів; мікротунелювання; ґрунт

К. ГОРСКИ^{1*}, Р. Л. ИГНАТОВИЧ^{2*}

^{1*}Каф. «Гражданская и инженерная геология», Познанський університет естественних наук, ул. Пиатковска, 94, Познань, Польща, 60-649, эл. почта kgorski@up.poznan.pl

^{2*}Каф. «Металлические конструкции», Вроцлавський технологічний університет, Грюнвальдська пл., 11, Вроцлав, Польща, 50-377, эл. почта rajmund.ignatowicz@pwr.edu.pl

НАПРЯЖЕНИЕ СТАЛЬНОЙ ТРУБЫ, ПРОЛОЖЕННОЙ В УСЛОВИЯХ НЕСОВЕРШЕНСТВА ТРУБ И НЕОДНОРОДНОСТИ ГРУНТА

Цель. В исследовании необходимо изучить вопросы влияния локальных неоднородностей грунта на внутренние силы в стальной трубе. **Методика.** Авторы представили различия в распределении ґрунтового давления на трубу. Одним из наиболее распространенных методов является технология микротоннелирования. Примеры численного анализа были рассчитаны методом конечных элементов (МКЭ). **Результаты.** Установленные данные численного анализа представлены для выбранных ґрунтовых условий. Также показано распределение внутренних сил в гибкой секции стальной трубы. **Научная новизна и практическое значение.** Полученные результаты четко показывают влияние изгибающей жесткости трубы на внутренние силы, на величину изгибающих моментов в стали вдавненных труб. Они зависят от взаимодействия почва–стальная труба.

Ключевые слова: стальные трубы; метод конечных элементов; микротоннелирование; ґрунт

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

Accessed: Feb., 29. 2016

Received: May, 31. 2016

UDC 514.181.2

A. D. MALYI¹, T. V. ULCHENKO², A. S. SHCHERBAK^{3*}, YU. YA. POPUDNIAK⁴,
T. V. STAROSOLSKAYA⁵¹Dep. «Grafics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 713 56 49, e-mail malyjanatolij@gmail.com, ORCID 0000-0002-2710-7532²Dep. «Grafics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 724 47 22, e-mail ulchenkotv@ya.ru, ORCID 0000-0003-2354-7765^{3*}Dep. «Grafics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 586 45 74, e-mail pro-f@ukr.net, ORCID 0000-0003-1340-0284⁴Dep. «Grafics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 774 17 47, e-mail 19brit18@ukr.net, ORCID 0000-0002-1383-9863⁵Dep. «Grafics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 791 35 94, e-mail simatn@rambler.ru, ORCID 0000-0002-3851-9612ONE-TO-ONE NONLINEAR TRANSFORMATION
OF THE SPACE WITH IDENTITY PLANE

Purpose. Study of geometric transformations. We will consider the so-called point transformations of space. **Methodology.** The most important are one-to-one transformations. They allow exploring and studying the properties of the transformed object using the properties of the original object (line, surface and figure) and the properties of the transformation. Cremona transformations occupy a special place in the set of one-to-one nonlinear transformations. Construction of one-parameter (stratifiable) transformations is carried out as one-parameter set of plane transformations, both linear and non-linear ones. The plane, in which the specific transformation is prescribed, moves in space by a certain law forming a one-parameter set of planes. The set of such plane transformations makes up the space transformation. **Findings.** The designed graphics algorithms and the established transformation equations allow building the visual images of transformed surfaces and conducting their research by analytical geometry methods. **Originality.** By completing elementary algebraic transformations of this equation, we obtain the cissoids equation. If the plane ϕ is continuously moved parallel to itself, it results in occurrence of surface, whose carcass will be the set of cissoids and the set of front-projecting lines. **Practical value.** The considered set of stratifiable algebraic transformations gives an effective means for exploring new curves and surfaces obtained by transforming the known algebraic lines and surfaces. These graphic algorithms allow graphically depicting the transformed lines and surfaces. The considered procedure of drawing up analytical formulas of specific transformations allows us to study the transformed surfaces and lines using the methods of analytic geometry. The above transformations can be of arbitrary high order, which is especially important during the design of complex technical surfaces such as aircraft components, parts of water and gas turbines, supports of the structures subject to strong flow of liquid, etc. Space modelling issues, including the building of graphic plane models of space, are relevant both in theoretical terms and in terms of application of the non-linear surfaces investigated on their basis for constructing the technical forms of parts and aggregates of construction machine movable elements, the middle surfaces of shells, the surfaces of turbulent blade, etc.

Keywords: space modelling; quasi-linear model; space transformation; non-linear surface; graphic design; axiomatic design

*Extremely important and characteristic ability
of our mind is the process which consists in the
fact that we relate things to things.
R.Y. Dedekind*

Introduction

The idea of relating two objects provides a powerful tool for learning new objects and their properties, as soon as the rules are set – the law of correspondence between these two objects. Regarding the geometry this law is determined by

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

specifying a definite geometric transformation that transforms one object into another.

Geometric transformations are very diverse. We consider the so-called point transformations of space. In this case, each point in space is assigned with another definite point in the same space, and vice versa. This transformation is called one-to-one.

Analytically the point transformation is determined by formulas.

$$X = F_1(X', Y', Z'),$$

$$Y = F_2(X', Y', Z'),$$

$$Z = F_3(X', Y', Z'),$$

where: (X, Y, Z) – coordinates of the initial point of the pre-image, and (X', Y', Z') – coordinates of the transformed point-image. Functions F_1, F_2, F_3 can be linear or nonlinear. In the first case, the transformation will be one-to-one, in the second case, as a rule, multi-value.

Methodology

The most important, in our view, are one-to-one transformations. They allow exploring and studying the properties of the transformed object using the properties of the original object (line, surface, figure) and the properties of the transformation.

Cremona transformations occupy a special place in the set of one-to-one nonlinear transformations; they are named after L. Cremona, who presented a coherent theory of plane non-linear transformations. The fundamental theorem of Cremona plane transformations about the ability to factorize any transformation into quadratic product was proven in the late XIX century. An attempt to prove a similar theorem for Cremona space transformations have been to date unsuccessful. In this regard, we study only some groups of transformations and their particular types. Without going deeply into the theory of Cremona transformations we refer the interested reader to the sources [6], [11], [12].

At present, much attention is paid to the study and construction of the so-called stratifiable transformations. [2], [4], [5], [13]. Construction of one-parameter (stratifiable) transformations is carried

out as one-parameter set of plane transformations, both linear and non-linear ones. The plane, in which the specific transformation is prescribed, moves in space by a certain law forming a one-parameter set of planes. The set of such plane transformations makes up the space transformation.

The problem of studying such transformations is relevant both in theoretical terms and in terms of application for constructing the technical forms of parts and aggregates, construction machines running in the flow of liquid or gas (bridge supports, the surface of the turbulent blades of water and gas turbines, surfaces of shells) etc.

The purpose of this work is to design and study the space transformations on the basis of plane transformations that transform straight lines into algebraic curves of any order with $(n-1)$ multiple singular point and vice versa.

Before proceeding to the design of space transformations we give some information from the theory of algebraic curves [1], [10].

1. Plane algebraic line is a line defined by an algebraic function of the coordinates of its points in the form of:

$$F(X, Z) = 0, \text{ or } Z = f(X), \quad (1)$$

Another way to define the curve is a parametric representation for which its current coordinates are set individually as a function of some parameter:

$$X = X(t), Z = Z(t). \quad (2)$$

Excluding the parameter t from the equations (2), we obtain the equation of the same curve in the form (1) and vice versa. From equations (1) we can obtain the parametric representation of curve.

2. The highest degree of the polynomial $F(X, Z)$ is called the curve order (1). The curve order is determined by the number of curve intersection points with an arbitrary line.

3. The algebraic curve of m -th order, is generally determined by $\frac{n(n+3)}{2}$ points.

4. Two algebraic curves d and h of the order m and n meet at the points M, N respectively.

5. The multiple point (irregularity) of curve is called the point, where several curve branches meet: forming double, triple, etc. points according

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

to the order n of the curve. Indecomposable curve of n order cannot have points of multiplicity higher $n-1$ and more than $\frac{(n-1)(n-2)}{2}$ of double points.

An algebraic curve may not have multiple points at all, or have less than the specified limits.

Curve genus or genre is the number p that is the difference between the largest number of double points, which may belong to the curve of this order, and their actual number on a given curve. This definition is equally valid if the curve has the points of higher multiplicity, providing that k is for $\frac{k(k-1)}{2}$

of double points. If the curve is of zero genre (i.e., it has the maximum possible number of double points), it has an important property: the coordinates of its points can be expressed as rational functions of some parameter.

These curves are called unicursal. Every curve having a point of the highest possible multiplicity $(n-1)$ is a unicursal curve. Any line passing through this point intersects the curve only in one more point. Consequently, between the points of this curve and any line we can establish one-to-one correspondence with central projection, if the point $(n-1)$ of multiplicity is taken as the projection centre.

6. If the multiple point $(n-1)$ is taken as the origin of coordinates, then the curve equation can be written in the following form

$$f_n(X, Y) + f_{n-1}(X, Y) = 0, \quad (3)$$

where F_n and $F_{(n-1)}$ – homogeneous polynomials in relation to X and Y to n and $n-1$ power respectively.

Let us now construct a stratifiable space transformation generated by the curves of the type (3). In the space rectangular coordinate system O_{xyz} (Fig. 1) we plot the curve s in the frontal plane ϕ . In this system, the curve s will have the equation

$$f_n(X', Z') - f_{n-1}(X', Z') = 0 \quad (4)$$

Let us plot $(n-1)$ – the multiple point on the Y -axis at the point O' , and through the point of its intersection with the axis $X - A_1$ draw the horizontal projecting line t .

Any line d , passing through the origin of coordinates will intersect the curve s at a single point A' (s - unicursal curve), and the straight t at the point A . Thus, all the points of the curve s can be projected at the point of the line t and vice versa, i.e. one-to-one transformation is recognized. In this transformation the straight line t will correspond to the curve s , and vice versa. The curve s will correspond to the straight line t .

The equation of the line d :

$$Z' = KX', \quad (5)$$

where K – slope of the straight line.

Solving the combination of equations (4) and (5) we obtain the coordinates of the point A' .

$$X' = \frac{f_{n-1}(1, K)}{f_n(1, K)},$$

$$Z' = \frac{Kf_{n-1}(1, K)}{f_n(1, K)}.$$

These coordinates will correspond to the coordinates of the point $A(X, Y)$.

Since the coordinate X of the point A on the line t equals the coordinate X' of the point A' on the curve s , then the first of them can be determined as the coordinate of the intersection point of the curve s with the axis X . It has to be done in each case of the transformation, having the defined curve s .

For example, the representative of the set of curves s (see Fig.1) is Maclaurin trisector, third-order curve with a double point $((n-1)$ -fold O' :

$$a(Z^2 - 3X^2) + X(X^2 + Z^2) = 0.$$

To determine the point of intersection of this curve with the axis X we suppose $Z = 0$, and then we have:

$-3aX^2 + X^3 = 0$, $X^2 = 0$ – coordinate of the point of intersection A_1 with its axis X .

Thus, in each particular case we can determine the transformation formulas in the plane ϕ .

Moving the straight line t together with the point A_1 of the curve s_1 along the axis X we obtain a set of horizontally projecting straight lines

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

∞^2 and the corresponding bundle of curves s . Moving the plane ϕ with the transformation set on it, parallel to itself so that the multiplicity point $(n-1)$ of the curve s would move along the axis Y , we obtain a space transformation, in which ∞^2 of the projecting lines will match the ∞^2 of the curves s .

The set of projecting straight lines and curves ϕ are perspective regarding the horizontal projection plane, so this plane in the transformation remains fixed and standard.

Findings

In each of the planes ϕ there is the same plane transformation, that is why the space transformation is stratifiable, and the coordinates Y of the corresponding points remain unchanged.

Any curve s when moving circumscribes the cylinder with a cross-section s . This cylinder within the space transformation corresponds to the profile plane β .

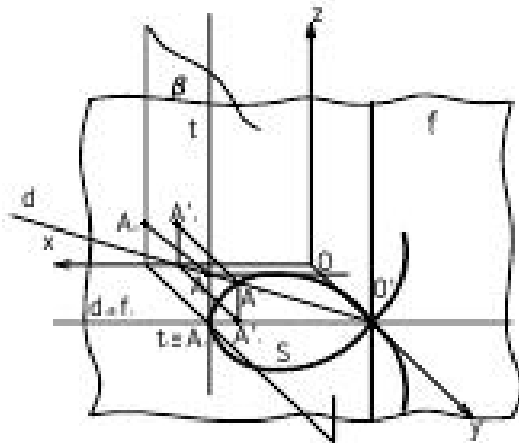


Fig. 1

Let us construct, first geometrically, a particular form of space transformation. The circumference will act as a unicursal curve. In the space rectangular coordinate system O_{xyz} (Fig. 2) we define an arbitrary point $A(A_1, A_2)$. The coordinate planes O_{xy} and O_{xz} are taken as the horizontal and frontal planes of the projections, respectively. Let us plot the frontal plane $\phi(\phi_1, \phi_3)$ through the point A .

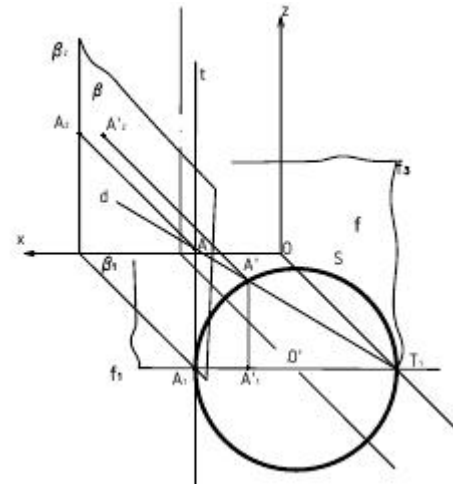


Fig. 2

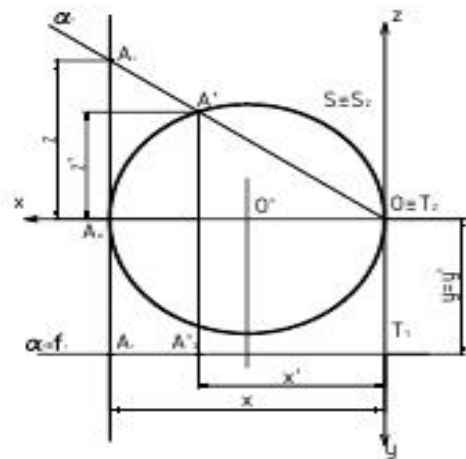


Fig. 3

In this plane, on the segment A_1T_2 , as on diameter, we draw a circumference f . It is tangent to the lines t and ϕ_3 . We plot the half ray T_1A_1 through the point $T_1 \in s$. It crosses the circumference f at the point A' . In other words, we have built a central projection of the point A from the centre T_1 to the circumference f . Thus, one-to-one transformation between the points t and the circumference s was found. Each point A of the straight line t corresponds on the circumference f a single point A' and vice versa. The point T_1 corresponds to the infinite point A_1^∞ . The whole circumference f corresponds to the straight line t . Each frontal plane has a similar correspondence, and their set makes a

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

space point transformation in which the circumferences s_i form the cylinder; the projecting straight lines t_i appear on the normal cross-section s_i of the cylinder f_i . Frontal projecting lines AA_1 are transformed into the cylinder elements.

The algorithm for building the corresponding points on the complex drawing:

1. Produce the frontal plane ϕ through the set point $A(A_1, A_2)$ (Fig. 3);
2. Draw a circumference at x coordinates of this point, as on diameter;
3. Through the point $T(T_1, T_2)$ belonging to ϕ , draw the straight line $d(d_1, d_2)$ in the plane ϕ ;
4. The line d passes through the point A and crosses the circumference s at the point A' ;
5. Points A and A' correspond to each other in this transformation [8].

Now we form the equation of this transformation.

The circle $f(f_1, f_2)$ is written as the equation $X^2 + Z^2 = r^2$, $r = 0'0 \equiv T_2$

We transfer the origin of coordinates to the point T .

$$(X - r)^2 + Z^2 = r^2$$

Let us transform this expression

$$\begin{aligned} X^2 - 2rX + r^2 + Z^2 &= r^2, \\ X^2 - 2rX + Z^2 &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Equation (1) is the equation of the circle $S(S_1, S_2)$ relative to the point $S(S_1, S_2)$ as the origin of coordinates:

The equation of the line d relative to the same origin

$$Z = KX, \text{ where } K = \frac{Z}{X} = \frac{Z'}{X'} \text{ or } \frac{Z}{Z'} = \frac{X}{X'} \quad (2)$$

We solve together the equations (1), (2) and get

$$X'^2 - 2rX' + K^2 X'^2 = 0;$$

$$X'(X' - 2r + K^2 X') = 0;$$

$$X' = 0 - \text{point } 0 \equiv T_2; \quad X' - 2r + K^2 X' = 0;$$

$$X'(1 + K^2) = 2r;$$

$$X' = \frac{2r}{1 + K^2} = \frac{2r}{1 + \frac{Z^2}{X^2}} = \frac{2rX^2}{X^2 + Z^2},$$

but since $2r = X$ (Fig.2), we have:

$X' = \frac{X^3}{X^2 + Z^2}$. This formula makes it possible to determine the coordinate X' of the transformed point A' by the coordinates X, Z of the initial point A .

Substituting into the equation (1) instead of the variable X its value from (2) and producing a transformation similar to the above, we obtain:

$$Z' = \frac{X^2 Z}{X^2 + Z^2}.$$

Let us write the formulas of direct space transformation:

$$\begin{aligned} X' &= \frac{X^3}{X^2 + Z^2}; \\ Y' &= Y; \end{aligned} \quad (3)$$

$$Z' = \frac{X^2 Z}{X^2 + Z^2}$$

The same procedure is for the formulas of inversion transformation:

$$\begin{aligned} X &= \frac{X'^2 + Z'^2}{X'}; \\ Y &= Y'; \\ Z &= \frac{Z'(X'^2 + Z'^2)}{X'^2} \end{aligned} \quad (4)$$

Originality and practical value

The transformation formulas (3) and (4) show that the third order (cubic) transformation transforms the profile plane $X = 2r$ into the frontal projecting cylinder. This is easily seen by substituting x in its equation with its expression from the first transformation formula (4):

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

$$\frac{X'^2 + Z'^2}{X'} = 2r, \quad X'^2 - 2rX' + Z'^2 = 0.$$

The set of front-projecting lines of this plane is transformed into the set of cylinder elements, and the set of horizontally-projecting straight lines – into the set of cylinder circumferences.

The horizontal plane is transformed into the surface of the third order. The complex figure (Fig. 4) shows a horizontal plane γ . Let us consider the transformation in the plane $\phi(\phi_1) \parallel \Pi_2$. We take an arbitrary point $A(A_1, A_2)$ on the plane γ in the plane ϕ . And according to the known algorithm we graphically build its image $A'(A'_1, A'_2)$. To do this, we draw through the origin of coordinates the line $O'A(O'A_1, O'A_2)$. Front projection $O'_2 A_2$ will pass through the origin $O \equiv O'_2$. On the segment OA_x , as on diameter, we build a circumference $S'(S'_1, S'_2)$. The point $A'(A'_1, A'_2)$ of intersection of the circumference with the line $O'A$ will correspond to the point $A(A_1, A_2)$ in the transformation. The set of points A' will make up the curve of the third order – cissoid of Diocles.

Using the transformation formulas (4) we write its equation as an image of the straight line $Z = 2a$. In the equation of the line we substitute the coordinate Z with its value from the third formula (4):

$$\frac{Z'(X'^2 + Z'^2)}{X'^2} = 2a$$

After completing elementary algebraic transformations of this equation, we obtain the following cissoid equation:

$$X'^2 = \frac{Z'^3}{2a - Z'}$$

This equation shows that the cissoid is an algebraic curve of the 3rd order. It is symmetrically relative to the axis Z , and the line $Z = 2a$ is its asymptote, and the origin of coordinates is a cusp of the 1st kind [3].

If the plane ϕ is continuously moved parallel to itself, it results in occurrence of the surface, whose carcass is the set of cissoids and the set of front-projecting straight lines (Figure 5) [9], [7].

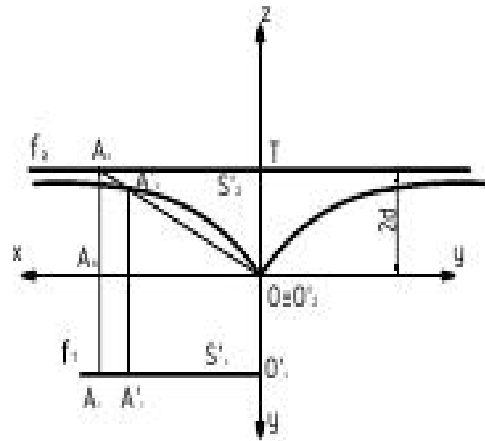


Fig. 4

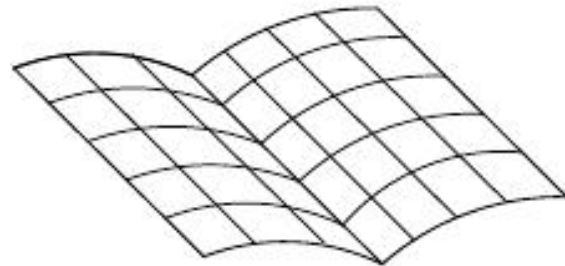


Fig. 5

Conclusions

1. The considered set of stratifiable algebraic transformations gives an effective means for exploring new curves and surfaces obtained by transforming the known algebraic lines and surfaces.
2. These graphic algorithms allow graphically depicting the transformed lines and surfaces.
3. The considered procedure of drawing up analytical formulas of specific transformations allows us to study the transformed surfaces and lines using the methods of analytic geometry.
4. The above transformations can be of arbitrary high order, which is especially important during the design of complex technical surfaces such as aircraft components, parts of water and gas turbines, supports of the structures subject to strong flow of liquid, etc.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Бюшгенс, С. С. Дифференциальная геометрия / С. С. Бюшгенс. – Москва ; Ленинград : Гос. изд-во технико-теоретич. лит-ры, 1940. – 300 с.
2. Джапаридзе, И. С. Преобразование пространства на базе однопараметрических семейств плоскостных преобразований / И. С. Джапаридзе, Г. С. Саакян // Начертательная геометрия : науч. тр. / Грузин. политехн. ин-т. – Тбилиси, 1974. – № 6. – С. 12–15.
3. Ермаков, А. В. Расслаиваемые кубические инволюции пространства с инвариантной квадрикой / А. В. Ермаков // Взаимно однозначные соответствия в проектировании машин лесной промышленности : науч. тр. / Моск. лесотехн. ин-т. – Москва, 1973. – № 54. – С. 51–57.
4. Иванов, Г. С. К вопросу моделирования алгебраических поверхностей центральными кремоновыми преобразованиями / Г. С. Иванов // Взаимно однозначные соответствия в проектировании машин лесной промышленности : науч. тр. / Моск. лесотехн. ин-т. – Москва, 1973. – № 54. – С. 80–92.
5. Иванов, Г. С. Кремоновы преобразования плоскости и пространства / Г. С. Иванов // Кремоновы преобразования и их приложения : науч. тр. / Моск. лесотехн. ин-т. – Москва, 1971. – № 39. – С. 85–119.
6. Квазилинейные графические модели пространства / А. Д. Малый, Ю. Я. Попудняк, Т. В. Ульченко, Т. В. Старосольская // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2014. – Вип. 5. – С. 51–56.
7. Плоский, В. А. Разработка инвариантной подсистемы геометрического моделирования объектов сложной формы / В. А. Плоский, В. М. Гурак // Автометрия. – 1990. – № 4. – С. 47–50.
8. Плоский, В. О. Апроксимація алгоритмів геометричного моделювання в задачах перезадання поверхонь / В. О. Плоский // Інженерна геодезія. – 1998. – № 40. – С. 161–164.
9. Попудняк, Ю. Я. Наближені розгортки сфери / Ю. Я. Попудняк, Т. В. Ульченко, А. С. Щербак // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 38. – С. 162–164.
10. Савелов, А. А. Плоские кривые : справ. рук-во / А. А. Савелов. – Москва : Гос. изд-во физико-матем. лит-ры, 1960. – 293 с.
11. Hadson, H. P. Cremona Transformations in Plane and Space. – Cambridge : Cambridge University Press, 1927. – 454 p.
12. Hassanzadeh, F. F. An Axiomatic Approach to Constructing Distances for Rank Comparison and Aggregation / F. F. Hassanzadeh, O. Milenkovic // IEEE Transactions on Information Theory. – 2014. – Vol. 60. – Iss. 10. – P. 6417–6439. doi: 10.1109/TIT.2014.2345760.
13. Xu, X. A spatial autoregressive model with a nonlinear transformation of the dependent variable / X. Xu, L. Lee // J. of Econometrics. – 2015. – Vol. 186. – Iss. 1. – P. 1–18. doi:10.1016/j.jeconom. 2014.12.005.

А. Д. МАЛИЙ¹, Т. В. УЛЬЧЕНКО², А. С. ЩЕРБАК^{3*}, Ю. Я. ПОПУДНЯК⁴,
Т. В. СТАРОСОЛЬСЬКА⁵

¹Каф. «Графіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 713 56 49, ел. пошта malyjanatolij@gmail.com, ORCID 0000-0002-2710-7532

²Каф. «Графіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (067) 724 47 22, ел. пошта ulchenkotv@ua.ru, ORCID 0000-0003-2354-7765

^{3*}Каф. «Графіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (067) 586 45 74, ел. пошта pro-f@ukr.net, ORCID 0000-0003-1340-0284

⁴Каф. «Графіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (067) 774 17 47, ел. пошта 19brit18@ukr.net, ORCID 0000-0002-1383-9863

⁵Каф. «Графіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (066) 791 35 94, ел. пошта simatn@rambler.ru, ORCID 0000-0002-3851-9612

ВЗАЄМНО ОДНОЗНАЧНІ НЕЛІНІЙНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРОСТОРУ З ТОТОЖНОЮ ПЛОЩИНОЮ

Мета. Робота спрямована на дослідження геометричних перетворень. Ми будемо розглядати так звані «точкові» перетворення простору. **Методика.** Найбільш важливим є взаємно однозначні перетворення. Вони дозволяють за властивостями вихідного об'єкта (лінії, поверхні, фігури) і властивостями перетворення досліджувати та вивчати властивості перетвореного об'єкта. У безлічі взаємно однозначних нелінійних перетворень особливе місце займають Кремонови перетворення. Конструювання однопараметричних (розшарованих) перетворень здійснюється як безліч однопараметричних плоских перетворень (лінійних і нелінійних). Площина, в якій задано конкретне перетворення, переміщується в просторі по визначеному закону, утворюючи безліч однопараметричних площин. Сукупність таких плоских перетворень становить просторове перетворення. **Результати.** Авторами сконструйовані графічні алгоритми і виведені рівняння перетворення, що дозволяють будувати наочні зображення перетворених поверхонь та здійснювати їх дослідження методами аналітичної геометрії. **Наукова новизна.** Виконавши елементарні алгебраїчні перетворення цього рівняння, отримаємо рівняння цисоїд. Якщо площину ϕ безперервно переміщувати паралельно самій собі, то утворюється поверхня, каркасом якої буде безліч цисоїд і безліч фронтально-проекційних прямих. **Практична значимість.** Розглянута безліч розшарованих алгебраїчних перетворень дає ефективний засіб вивчення нових кривих і поверхонь, одержуваних перетворенням відомих алгебраїчних ліній та поверхонь. Наведені графічні алгоритми дозволяють наочно зобразити перетворені лінії та поверхні. Досліджена методика складання аналітичних формул конкретних перетворень дозволяє вивчати перетворені лінії та поверхні методами аналітичної геометрії. Розглянуті перетворення можуть бути як завгодно високого порядку, що особливо важливо при конструюванні складних технічних поверхонь типу агрегатів літальних апаратів, деталей водяних і газових турбін, опор споруд, що знаходяться в сильному потоці рідини, та ін. Питання моделювання простору, в тому числі побудова графічних площинних моделей простору, актуальні як у теоретичному плані, так і в плані застосування досліджених на їх основі нелінійних поверхонь для конструювання технічних форм деталей та агрегатів робочих органів будівельних машин, серединних поверхонь оболонок, поверхонь турбулентних лопаток та ін.

Ключові слова: моделювання простору; квазілінійні моделі; перетворення простору; нелінійні поверхні; графічна конструкція; аксіоматична конструкція

А. Д. МАЛЫЙ¹, Т. В. УЛЬЧЕНКО², А. С. ЩЕРБАК^{3*}, Ю. Я. ПОПУДНЯК⁴,
Т. В. СТАРОСОЛЬСКАЯ⁵

¹Каф. «Графика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 713 56 49, эл. почта malyjanatolij@gmail.com, ORCID 0000-0002-2710-7532

²Каф. «Графика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (067) 724 47 22, эл. почта ulchenkotv@ua.ru, ORCID 0000-0003-2354-7765

^{3*}Каф. «Графика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010 Днепропетровск, Украина, тел. +38 (067) 586 45 74, эл. почта pro-f@ukr.net, ORCID 0000-0003-1340-0284

⁴Каф. «Графика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (067) 774 17 47, эл. почта 19brit18@ukr.net, ORCID 0000-0002-1383-9863

⁵Каф. «Графика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (066) 791 35 94, эл. почта simatn@rambler.ru, ORCID 0000-0002-3851-9612

ВЗАИМНО ОДНОЗНАЧНЫЕ НЕЛИНЕЙНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВА С ТОЖДЕСТВЕННОЙ ПЛОСКОСТЬЮ

Цель. Работа направлена на исследование геометрических преобразований. Мы будем рассматривать так называемые «точечные» преобразования пространства. **Методика.** Наиболее важными являются взаимно однозначные преобразования. Они позволяют по свойствам исходного объекта (линии, поверхности, фигуры) и свойствам преобразования исследовать и изучать свойства преобразованного объекта. Во множестве взаимно однозначных нелинейных преобразований особое место занимают Кремоновы преобразования. Конструирование однопараметрических (расслаемых) преобразований осуществляется как однопараметрическое множество плоских преобразований (линейных и нелинейных). Плоскость, в которой задано конкретное преобразование, перемещается (преобразуется) в пространстве по определенному закону, образуя однопараметрическое множество плоскостей. Совокупность таких плоских преобразований составляет пространственное преобразование. **Результаты.** Авторами сконструированы графические алгоритмы и выведены уравнения преобразования, позволяющие строить наглядные изображения преобразованных поверхностей и осуществлять их исследование методами аналитической геометрии. **Научная новизна.** Выполнив элементарные алгебраические преобразования этого уравнения, получим уравнение циссоиды. Если плоскость ϕ непрерывно перемещать параллельно самой себе, то образуется поверхность, каркасом которой будет множество циссоид и множество фронтально-проецирующих прямых. **Практическая значимость.** Рассмотренное множество расслаемых алгебраических преобразований дает эффективное средство изучения новых кривых и поверхностей, получаемых преобразованием известных алгебраических линий и поверхностей. Приведенные графические алгоритмы позволяют наглядно изобразить преобразованные линии и поверхности. Рассмотренная методика составления аналитических формул конкретных преобразований позволяет изучать преобразованные линии и поверхности методами аналитической геометрии. Исследованные преобразования могут быть как угодно высокого порядка, что особенно важно при конструировании сложных технических поверхностей типа агрегатов летательных аппаратов, деталей водяных и газовых турбин, опор сооружений, находящихся в сильном потоке жидкости, и др. Вопросы моделирования пространства, в том числе построение графических плоскостных моделей пространства, актуальны как в теоретическом плане, так и в плане применения исследованных на их основе нелинейных поверхностей для конструирования технических форм деталей и агрегатов рабочих органов строительных машин, срединных поверхностей оболочек, поверхностей турбулентных лопаток и др.

Ключевые слова: моделирование пространства; квазилинейные модели; преобразование пространства; нелинейные поверхности; графическая конструкция; аксиоматическая конструкция

REFERENCES

1. Byushgens S.S. *Differentsialnaya geometriya* [Differential geometry]. Moscow; Leningrad, Gosudarstvennoye izdatelstvo tekhniko-teoreticheskoy literatury Publ., 1940. 300 p.
2. Dzhaparidze I.S., Saakyan G.S. Preobrazovaniye prostranstva na baze odnparametricheskikh semeystv ploskostnykh preobrazovaniy [Transformation of the space on the basis of one-parameter families of the plane transformations]. *Nachertatel'naya geometriya – Descriptive Geometry*, 1974, no. 6, pp. 12-15.
3. Yermakov A.V. Rasslaivayemyye kubicheskiye involyutsii prostranstva s invariantnoy kvadrikoy [Stratified cubic involutions of the space with invariant quadric]. *Vzaimnoodnoznachnyye sootvetstviya v proyektirovanii mashin lesnoy promyshlennosti* [One-to-one correspondence in the design of machines for wood industry], 1973, issue 54, pp. 51-57.
4. Ivanov G.S. K voprosu modelirovaniya algebraicheskikh poverkhnostey tsentralnymi kremonovymi preobrazovaniyami [On the issue of modeling of algebraic surfaces using the central Cremona transformations]. *Vzaimnoodnoznachnyye sootvetstviya v proyektirovanii mashin lesnoy promyshlennosti* [One-to-one correspondence in the design of machines for wood industry], 1973, issue 54, pp. 80-92.
5. Ivanov G.S. Kremonovy preobrazovaniya ploskosti i prostranstva [Cremona transformations of the plane and space]. *Kremonovy preobrazovaniya i ikh prilozheniya* [Cremona transformations and their applications], 1971, issue 39, pp. 85-119.
6. Malyy A.D., Popudnyak Yu.Ya., Ulchenko T.V., Starosolskaya T.V. Kvazilineynyye graficheskiye modeli prostranstva [Quasi-linear graphical model of space]. *Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhennia, praktyka* [Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice], 2014, issue 5, pp. 51-56.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

7. Ploskiy V.A., Gurak V.M. Razrabotka invariantnoy podsystemy geometricheskogo modelirovaniya obyektov slozhnoy formy [Development of invariant subsystem for geometric modeling of complex form objects]. *Avtometriya – Autometering*, 1990, no. 4, pp. 47-50.
8. Ploskiy V.O. Aproksymatsiia alhorytmiv heometrychnoho modeliuvannia v zadachakh perezhadannia poverkhon [Approximation of algorithms for geometric modeling in problems of surfaces resetting]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering Geodesy*, 1998, no. 40, pp. 161-164.
9. Popudniak Yu.Ya., Ulchenko T.V., Shcherbak A.S. Nablyzheni rozghortky sfery [Reamers of sphere are closed]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National Univesity of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 38, pp. 162-164.
10. Savelov A.A. *Ploskiye krivyye* [Plane curves]. Moskow, Gosudarstvennoye izdatelstvo fiziko-matematicheskoy literatury Publ., 1960, 293 p.
11. Hadson H.P. Cremona transformations in plane and space. Cambridge University Press Publ., 1927. 454 p.
12. Hassanzadeh F.F., Milenkovic O. An Axiomatic Approach to Constructing Distances for Rank Comparison and Aggregation. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2014, vol. 60, issue 10, pp. 6417-6439. doi: 10.1109/TIT.2014.2345760.
13. Xu X., Lee L. A spatial autoregressive model with a nonlinear transformation of the dependent variable. *Journal of Econometrics*, 2015, vol. 186, issue 1, pp. 1-18. doi:10.1016/j.jeconom. 2014.12.005.

Prof. S. S. Tyshchenko, Sc. Tech. (Ukraine); Prof. V. D. Petrenko, Sc. Tech. (Ukraine) recommended this article to be published

Accessed: Feb., 2. 2016

Received: May, 11. 2016

ЗМІСТ

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

Т. О. КОЛЕСНИКОВА, О. В. ПОМІНОВА, С. Р. КОЛЕСНИКОВ

РОЗВИТОК НАПРЯМУ «КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ» НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ:

НАУКОМЕТРИЧНИЙ АСПЕКТ7

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

А. БЯЛОНЬ, Д. АДАМСКІ, Ю. ФУРМАН

УНІФІКОВАНИЙ МЕТОД ПЕРЕВІРКИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ

МІЖ РУХОМИМ СКЛАДОМ ТА СИСТЕМОЮ ВИЯВЛЕННЯ ПОЇЗДА.....20

Д. М. КОЗАЧЕНКО, В. І. БОБРОВСЬКИЙ, С. В. ГРЕВЦОВ, М. І. БЕРЕЗОВИЙ

УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПІВ

ПРИ ЗМЕНШЕННІ ГАЛЬМІВНОЇ ПОТУЖНОСТІ УПОВІЛЬНЮВАЧІВ28

М. КІЦКО

УПРАВЛІННЯ, КОНТРОЛЬ, ДОКУМЕНТАЦІЯ СИСТЕМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ЇЇ БЕЗПЕКА41

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Л. Ф. ДОЛИНА, В. П. КІЛЬОВИЙ, Д. В. АСТАХОВ, М. В. КАЛИМБЕТ

МОНІТОРИНГ РАДІОАКТИВНОСТІ СТУДЕНТСЬКОГО МІСТЕЧКА ДНУЗТ48

Ю. В. ЗЕЛЕНЬКО, Л. О. НЕДУЖА, А. О. ШВЕЦЬ

ВПЛИВ ВІБРОАКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РУХОМОГО СКЛАДУ

НА ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ ЛОКОМОТИВА59

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

А. Ф. ГОЛОВЧУК

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ СТУДМІСТЕЧКА

УМАНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ САДІВНИЦТВА.....75

О. М. ПШІНЬКО, В. Г. КУЗНЄЦОВ, Д. К. ЯЦЕНКО, В. О. ГАБРИНЕЦЬ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

ІНФРАСТРУКТУРИ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ НА ПРИКЛАДІ ДНУЗТ96

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

А. В. ДОНЧЕНКО, А. О. СУЛИМ, О. С. СІОРА, О. О. МЕЛЬНИК, В. В. ФЕДОРОВ

АНАЛІЗ ПИТАНЬ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ МЕТРОПОЛІТЕНУ107

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Л. В. ТРИКОЗ, І. В. БАГІЯНЦ

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МОДЕЛІ ЗМІНИ

ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НЕСУЦІЛЬНИХ СИСТЕМ119

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Ю. Д. ПОЛІСЬКИЙ

ПРО ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЧИСЕЛ У ЗАЛИШКАХ

ІЗ ОДНІЄЇ СИСТЕМИ МОДУЛІВ В ІНШУ129

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

В. В. НЕТРЕБКО

ДО ПИТАННЯ УТВОРЕННЯ КАРБІДІВ Fe_3C ТА Fe_7C_3 У ВИСОКОХРОМИСТИХ ЧАВУНАХ137

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

В. Г. АНОФРІСВ, О. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР, В. О. КАЛАШНИК, В. П. КУЛЄШОВ

ДО ПИТАННЯ ПРОДОВЖЕННЯ КОРИСНОГО ТЕРМІНУ

СЛУЖБИ ВАГОНІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ОКАТИШІВ147

Л. М. БОНДАРЕНКО, М. О. БАБЯК, С. О. ЯКОВЛЄВ, С. О. ІСТІН, Г. Ю. МОСКАЛЬОВ

СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ ОПОРОМ КОЧЕННЮ ТА КОВЗАННЮ

В ПІДШИПНИКАХ КОЧЕННЯ.....160

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

К. ГОРСЬКИЙ, Р. Л. ІГНАТОВИЧ

НАПРУГА СТАЛЕВОЇ ТРУБИ, ПРОКЛАДЕНОЇ В УМОВАХ

НЕДОСКОНАЛОСТІ ТРУБ ТА НЕОДНОРІДНОСТІ ҐРУНТУ.....170

А. Д. МАЛИЙ, Т. В. УЛЬЧЕНКО, А. С. ЩЕРБАК, Ю. Я. ПОПУДНЯК, Т. В. СТАРОСОЛЬСЬКА

ВЗАЄМНО ОДНОЗНАЧНІ НЕЛІНІЙНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ

ПРОСТОРУ З ТОТОЖНОЮ ПЛОЩИННОЮ.....179

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА

Т. А. КОЛЕСНИКОВА, О. В. ПОМИНОВА, С. Р. КОЛЕСНИКОВ РАЗВИТИЕ НАПРАВЛЕНИЯ «КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА» НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ: НАУКОМЕТРИЧЕСКИЙ АСПЕКТ	7
--	---

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

А. БЯЛОНЬ, Д. АДАМСКИ, Ю. ФУРМАН УНИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ПРОВЕРКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ МЕЖДУ ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ И СИСТЕМОЙ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЕЗДА	20
Д. Н. КОЗАЧЕНКО, В. И. БОБРОВСКИЙ, С. В. ГРЕВЦОВ, Н. И. БЕРЕЗОВЫЙ УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТЬЮ СКАТЫВАНИЯ ОТЦЕПОВ ПРИ УМЕНЬШЕНИИ ТОРМОЗНОЙ МОЩНОСТИ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ	28
М. КИЦКО УПРАВЛЕНИЕ, КОНТРОЛЬ, ДОКУМЕНТАЦИЯ СИСТЕМЫ СИГНАЛИЗАЦИИ И ЕЕ БЕЗОПАСНОСТЬ	41

ЭКОЛОГИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

Л. Ф. ДОЛИНА, В. П. КИЛЕВОЙ, Д. В. АСТАХОВ, Н. В. КАЛИМБЕТ МОНИТОРИНГ РАДИОАКТИВНОСТИ СТУДЕНЧЕСКОГО ГОРОДКА ДНУЖТ	48
Ю. В. ЗЕЛЕНЬКО, Л. А. НЕДУЖАЯ, А. А. ШВЕЦ ВЛИЯНИЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ХОДОВОЙ ЧАСТИ ЛОКОМОТИВА	59

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

А. Ф. ГОЛОВЧУК УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СТУДГОРОДКА УМАНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА САДОВОДСТВА	75
А. Н. ПШИНЬКО, В. Г. КУЗНЕЦОВ, Д. К. ЯЦЕНКО, В. А. ГАБРИНЕЦ ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ НА ПРИМЕРЕ ДНУЖТ	96

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

А. В. ДОНЧЕНКО, А. А. СУЛИМ, А. С. СИОРА, А. А. МЕЛЬНИК, В. В. ФЕДОРОВ АНАЛИЗ ВОПРОСОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА МЕТРОПОЛИТЕНА	107
--	-----

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ

Л. В. ТРИКОЗ, И. В. БАГИЯНЦ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МОДЕЛИ ИЗМЕНЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕСПЛОШНЫХ СИСТЕМ	119
--	-----

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Ю. Д. ПОЛИССКИЙ О ПРЕОБРАЗОВАНИИ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ЧИСЕЛ В ОСТАТКАХ ИЗ ОДНОЙ СИСТЕМЫ МОДУЛЕЙ В ДРУГУЮ	129
--	-----

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

В. В. НЕТРЕБКО К ВОПРОСУ ОБРАЗОВАНИЯ КАРБИДОВ Fe_3C И Fe_7C_3 В ВЫСОКОХРОМИСТЫХ ЧУГУНАХ	137
---	-----

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ТЯГА ПОЕЗДОВ

В. Г. АНОФРИЕВ, А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР, В. А. КАЛАШНИК, В. П. КУЛЕШОВ К ВОПРОСУ ПРОДЛЕНИЯ ПОЛЕЗНОГО СРОКА СЛУЖБЫ ВАГОНОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ОКАТЫШЕЙ	147
--	-----

Л. Н. БОНДАРЕНКО, Н. А. БАБЯК, С. А. ЯКОВЛЕВ, С. А. ИСТИН, Г. Ю. МОСКАЛЕВ СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ СОПРОТИВЛЕНИЯМИ КАЧЕНИЮ И СКОЛЬЖЕНИЮ В ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ	160
 ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО	
К. ГОРСКИ, Р. Л. ИГНАТОВИЧ НАПРЯЖЕНИЕ СТАЛЬНОЙ ТРУБЫ, ПРОЛОЖЕННОЙ В УСЛОВИЯХ НЕСОВЕРШЕНСТВА ТРУБ И НЕОДНОРОДНОСТИ ГРУНТА	170
А. Д. МАЛЫЙ, Т. В. УЛЬЧЕНКО, А. С. ЩЕРБАК, Ю. Я. ПОПУДНЯК, Т. В. СТАРОСОЛЬСКАЯ ВЗАИМНО ОДНОЗНАЧНЫЕ НЕЛИНЕЙНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВА С ТОЖДЕСТВЕННОЙ ПЛОСКОСТЬЮ	179

CONTENTS

SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS

T. O. KOLESNYKOVA, O. V. POMINOVA, S. R. KOLESNYKOV

OBTAINING OF NEW KNOWLEDGE IN CONCERNING «AIR CONDITIONING»

AT THE RAILWAY TRANSPORT: SCIENTOMETRIC ASPECT.....7

TRANSPORT AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

A. BIAŁOŃ, D. ADAMSKI, JU. FURMAN

UNIFIED VERIFICATION METHOD OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY

BETWEEN ROLLING STOCK AND TRAIN DETECTION SYSTEMS20

D. M. KOZACHENKO, V. I. BOBROVSKYI, S. V. GREVTSOV, M. I. BEREZOVYI

CONTROLLING THE SPEED OF ROLLING CUTS IN CONDITIONS

OF REDUCTION OF BRAKE POWER OF CAR RETARDERS28

M. KYCKO

COMMAND – CONTROL AND SIGNALING SYSTEM DOCUMENTATION AND ITS SAFETY41

TRANSPORT ECOLOGY

L. F. DOLINA, V. P. KILOVYI, D. V. ASTAKHOV, M. V. KALIMBET

MONITORING OF RADIOACTIVITY AT DNURT CAMPUS.....48

YU. V. ZELENKO, L. O. NEDUZHA, A. O. SHVETS

INFLUENCE OF ROLLING STOCK VIBROACOUSTICAL PARAMETERS

ON THE CHOICE OF RATIONAL VALUES OF LOCOMOTIVE RUNNING GEAR.....59

ECONOMICS AND MANAGEMENT

A. F. GOLOVCHUK

HEAT SUPPLY SYSTEM IMPROVEMENT OF CAMPUS

AT UMAN NATIONAL UNIVERSITY OF HORTICULTURE.....75

M. PSYHNKO, V. H. KUZNETSOV, D. C. YATSENKO, V. O. GABRINET

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE HEATING SYSTEM

FOR PUBLIC BUILDINGS INFRASTRUCTURE IN THE CONTEXT OF DNURT96

ELECTRIC TRANSPORT

A. V. DONCHENKO, A. O. SULYM, A. S. SIORA, A. A. MELNYK, V. V. FEDOROV

ANALYSIS OF ENERGY SAVING AND ENERGY EFFICIENCY ISSUES

DURING OPERATION OF THE METRO ROLLING STOCK.....107

RAILWAY TRACK

L. V. TRYKOZ, I. V. BAHIIANTS

RATIONALE FOR CHOOSING THE CHANGE MODEL

OF THE DIELECTRIC PROPERTIES OF DISCONTINUOUS SYSTEMS.....119

INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES AND MATHEMATICAL MODELING

YU. D. POLISSKY

ON THE TRANSFORMATION OF REPRESENTATION OF NUMBERS

IN THE RESIDUO FROM ONE MODULE SYSTEM TO ANOTHER.....129

MATERIAL SCIENCE

V. V. NETREBKO

ABOUT THE ISSUE OF CARBIDES Fe_3C AND Fe_7C_3 FORMATION

IN HIGH-CHROMIUM CAST IRONS137

ROLLING STOCK AND TRAIN TRACTION

V. G. ANOFRIEV, O. H. REIDEMEISTER, V. A. KALASHNYK, V. P. KULIESHOV

TO THE ISSUE OF EXTENDING THE SERVICE LIFE

OF CARS FOR TRANSPORTATION OF PELLETS147

L. M. BONDARENKO, N. A. BABIAK, S. A. YAKOVLEV, S. A. ISTIN, H. YU. MOSKALEV

RELATIONSHIP BETWEEN ROLLING AND SLIP RESISTANCE IN ROLLING BEARINGS160

TRANSPORT CONSTRUCTION

K. GÓRSKI, R. L. IGNATOWICZ

EFFORT OF STEEL PIPE JACKING IN TERMS

OF IMPERFECTION PIPES AND HETEROGENEITY OF GROUND170

A. D. MALYI, T. V. ULCHENKO, A. S. SHCHERBAK, YU. YA. POPUDNIAK, T. V. STAROSOLSKAYA

ONE-TO-ONE NONLINEAR TRANSFORMATION OF THE SPACE WITH IDENTITY PLANE.....179

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

До публікації в журналі приймаються статті українською, російською або англійською мовами проблемного, узагальнюючого, методичного характеру, оригінальні наукові, практичні дослідження, які раніше ніде не видавалися.

Матеріали необхідно надавати в друкованому та електронному вигляді у програмі Microsoft Word 2003 або більш ранній версії – файли *.doc (файли *.docx, *.docm не приймаються). Для набору формул використовується MathType 5.

Наукова стаття повинна відповідати вимогам п. 3 Постанови ВАК України № 7-05/1 від 15.01.2003 року.

Матеріали рецензуються членами редакційної колегії журналу та сторонніми незалежними експертами, виходячи з принципу об'єктивності та з позицій вищих міжнародних академічних стандартів якості, та редагуються. Редакція залишає за собою право на стилістичну правку рукопису.

Вимоги щодо обсягу наукових статей, повідомлень, відгуків та рецензій:

- оглядові та проблемні статті – до 45 000 знаків з пробілами (7–10 с.);
- загальні статті за рубриками видання – до 30 000 знаків з пробілами (5–7 с.);
- наукове повідомлення – до 8 000 знаків з пробілами (до 2,5 с.);
- відгук або рецензія – до 6 000 знаків з пробілами (до 2 с.).

Матеріал надається у форматі А4, враховуючи таблиці, ілюстрації, список використаних джерел. Статті, більші за обсягом, можуть бути прийняті до розгляду на підставі рішення редколегії.

Увага! Згідно з міжнародними стандартами якості наукових публікацій необхідним є: наявність авторських розширених і структурованих резюме (рефератів – abstracts), у т.ч. англійською мовою, рецензій, пристатейних списків літератури в романському алфавіті тощо.

Рекомендуємо скористатися правилами до оформлення статей журналу: <http://library.diit.edu.ua/HTMLs/scientists/Vumogu/Vumogu.pdf>.

Для здачі статті до друку автору/авторам необхідно:

1. Для електронної інформації сформувати всі матеріали в п'яти файлах:

- **Перший** – із текстом статті та анотацій з ключовими словами. Назва файлу – прізвище та ініціали автора (першого співавтора) латинськими літерами, наприклад: *Ivanov_II_stattia.doc*.
- **Другий** – з розширеними відомостями про автора/авторів (прізвище, ім'я, по батькові; посада; науковий ступінь; учене звання; місце роботи або навчання; адреса електронної пошти; номери контактних телефонів). Назва файлу – *Ivanov_II_vidomosti.doc*.
- **Третій** – рецензія (відсканована). Назва файлу – *Ivanov_II_recenziia.jpg*.
- **Четвертий** – Експертний висновок (відсканований, складається у вільній формі). Назва файлу – *Ivanov_II_vysnovok.jpg*.
- **П'ятий** – Ліцензійний договір (відсканований). Назва файлу – *Ivanov_II_dogovir.jpg*. Текст договору: <http://library.diit.edu.ua/HTMLs/scientists/Vumogu/license.doc>.

2. Для друкованої інформації. До редакції надаються особисто або надсилаються поштою такі матеріали: 1) два друкованих примірники рукопису з підписами всіх співавторів на останньому аркуші роботи; 2) оригінал Ліцензійного договору з підписами всіх співавторів; 3) оригінал експертного висновку; 4) рекомендація до друку за підписом відповідального редактора розділу (для співробітників ДНУЗТ).

Відповідальність за зміст статті, правильність, точність і коректність цитування, посилань та перекладу покладається на авторів.

Остаточне рішення щодо публікації ухвалює редакційна колегія журналу.

Статті, відхилені редакційною колегією, повертаються авторам для доопрацювання.

Шановні автори, запрошуємо до співробітництва!

З питань опублікування звертайтеся до редакції журналу за адресою:

Науково-технічна бібліотека (ауд. 166),
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
вул. Лазаряна, 2,
м. Дніпропетровськ,
Україна,
49010
e-mail: visnik@diit.edu.ua
Адреса сайту журналу: <http://stp.diit.edu.ua/>

З питань придбання примірників журналу телефонуйте за номером (056) 776 90 59 Грідасова А. В.

події

ШАНОВНІ КОЛЕГИ!

В журналі розпочато публікацію статей, рекомендованих до друку науковими комітетами міжнародних наукових конференцій за такими напрямками:

- Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту.
- Проблеми механіки залізничного транспорту.
- Проблеми економіки транспорту.
- Екологічний інтелект.
- Безпека руху і наукові засади експертних досліджень транспортних пригод та інженерних споруд.

Запрошуємо організаторів міжнародних наукових заходів до співпраці з метою оприлюднення найбільш вагомих наукових результатів.

Так, 9–11 вересня 2015 р. у місті Львові відбулася Міжнародна науково-практична конференція «Безпека руху і наукові засади експертних досліджень транспортних пригод та інженерних споруд», присвячена доктору технічних наук Соколу Едуарду Миколайовичу і організована Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Укрзалізницею, Львівською філією ДІІТу та Львівським науково-дослідним інститутом судових експертиз.

У конференції взяло участь 125 науковців та спеціалістів з 26 організацій, у тому числі: 18 докторів наук, представники Міністерства інфраструктури, Міністерства юстиції, Укрзалізниці, вищих навчальних закладів, наукових та науково-дослідних установ і підприємств України, Німеччини, Литви, Вірменії та Польщі.

На пленарних та секційних засіданнях заслухано 70 доповідей з питань підвищення безпеки руху, методики та методології експертних досліджень рухомого складу залізниць, автотранспортних засобів, інженерних споруд, під-

вищення їх експлуатаційної надійності та безпечності, оцінки економічної ефективності запропонованих заходів.

На конференції відмічено, що пріоритетним напрямом розвитку транспортної галузі є забезпечення безпеки. У даному аспекті важливим є профілактична роль експертних досліджень випадків транспортних пригод. Ретельний науковий аналіз причин, що призводять до транспортних пригод, дозволяє розробити рекомендації з недопущення їх у майбутньому, вносити зміни у нормативні документи, удосконалювати конструкцію транспортних засобів та інженерних споруд.

25–27 травня 2016 р. у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна відбудеться XIV Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми механіки залізничного транспорту. Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження». Конференція проводиться кожні 4 роки за участю представників вищих навчальних закладів і науково-дослідних інститутів, залізниць, локомотивної вагонобудівних заводів багатьох країн світу. Це підтверджує зацікавленість виробників у нових технологіях і наукових розробках, пов'язаних з роботою залізничного транспорту. Обмін знаннями і досвідом вчених та інженерів, які представляють наукові школи різних країн, особливо важливі в умовах інтеграції економіки, глобалізації економіки і поглиблення інтеграційних процесів.

На конференції будуть працювати секції:

- безпека руху поїздів, перехідні режими, енергозбереження;
- взаємодія рухомого складу та колії, знос коліс і рейок;
- міцність, надійність.

Для нотаток

.



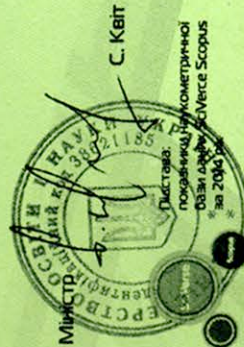
СУЧАСНІ ЗАКЛАДИ ОСВІТИ - 2015
Шоста Міжнародна виставка

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»

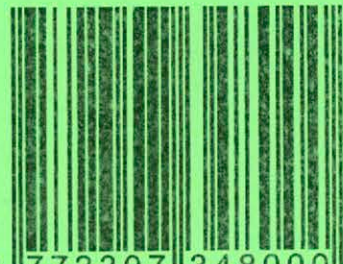
Голова Ради



Ю. Якименко

200-00

9 772307 348000



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

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2016. 3(63). 1-198